# III SEMINÁRIO DE PESQUISA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO UBM

## ÁREA DE ENGENHARIA



PUBL!T SOLUÇÕES EDITORIAIS

UBM

# III SEMINÁRIO DE PESQUISA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA UBM

# ENGENHARIAS

S188 Seminário de Pesquisa e Iniciação Científica do UBM (3. : 2021 : Barra Mansa, RJ)
III Seminário de Pesquisa e Iniciação Científica do UBM: Área de Engenharia / UBM. Rio de Janeiro : Publit, 2021.

845 p. ; 28 cm.

ISBN 978-85-525-0150-3

1. Engenharia – Congressos. I. Centro Universitário de Barra Mansa. II. Título.

.

CDU 82
CDD 620

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Amanda Moura de Sousa CRB-7/5992

**Associação Barramansense de Ensino Superior – SOBEU**

**Leandro Álvaro Chaves**
Reitor

**Haroldo de Carvalho Cruz Júnior**
Pró-reitor Acadêmico

**Carlos Frederico Theodoro Nader**
Pró-reitor Administrativo

**Maria Apparecida de Athayde Cruz**
Pró-reitora Comunitária

**Sheila Rodrigues Dias Filgueiras**
Diretora Acadêmica

**Rosali Gomes Araújo Maciel**
Coordenadora de Graduação

**Rosa Maria Maia Gouvêa Esteves**
Coordenadora de Pesquisa

**Suzylene Jacot Santiago**
Coordenadora do Sistema de Bibliotecas UBM

**Comissão Cientifica do Seminário de Pesquisa e Iniciação Científica**

Profa. Dr.ª Adriana Carvalho Nascimento
Prof. Dr. André Luiz Faria Couto
Profa. Dr.ª Bárbara Louise Lemos Drumond
Profa. Dr.ª Carla Gorni
Prof. Dr. Dener Martins dos Santos
Profa. Dr.ª Geise Ferreira Mariné Oliveira
Prof. Dr. Igor Cunha Cardoso
Prof. Dr. Jaci Almeida

Profa. Dr.ª Janaína da Soledad Rodrigues
Profa. Dr.ª Laura Iglesias de Oliveira
Profa. Dr.ª Luciana de França Oliveira
Profa. Dr.ª Marcela Dupont Soares
Prof. Dr. Marcelo Salvador Gomes
Prof. Dr. Marcos Fernando da Silva
Prof. Dr. Pedro Luís Millen Penedo
Profa. Dr.ª Regina Célia Pereira Werneck de Freitas
Prof. Dr. Roberto Alves Garcia
Prof. Dr. Ronaldo Câmara Cavalcanti
Prof.ª Dr.ª Rosa Maria Maia Gouvêa Esteves
Prof.ª Dr.ª Simone Pontes Xavier Salles
Prof. Dr. Tiago Brandão Costa
Prof. Dr. Victor Maximiliano Reis Tebaldi

**COMISSÃO ORGANIZADORA DO III SEMINÁRIO DE PESQUISA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA – 2020**

Profa MSc. Ana Maria Dinardi Barros
Prof.ª MSc. Priscila de Oliveira Januário
Prof.ª MSc. Maricineia Pereira Meireles da Silva
Prof.ª Dra. Rosa Maria Maia Gouvêa Esteves

**Secretária do III Seminário de Pesquisa e Iniciação Científica**
Edelquim Maria de Lassalete Faria Gavião

**Suporte Tecnológico**
Núcleo da Tecnologia da Informação

**Responsável pelo Open Journal Systems**
Sérgio Luís de Aguiar

**Projeto Gráfico e Transmissão nas Redes Sociais**
Assessoria de Marketing e Comunicação

# APRESENTAÇÃO

A ideia deste ebook nasceu da necessidade de abrir espaço para a publicação das pesquisas e de relatos das práticas do cotidiano das formações oferecidas pelo UBM.

A partir desse desejo de divulgar os resultados de iniciação científica e das pesquisas existentes nos cursos de graduação e nos Núcleos de Pesquisa é que o Centro Universitário de Barra Mansa, desde 2018, oferece à comunidade interna o primeiro Seminário de Pesquisa e Iniciação Científica.

Como resultado desse evento tem-se aqui produções científicas, de nossos jovens graduandos, organizadas por área de conhecimento: Ciências Sociais/Artes, Engenharia e Saúde.

Este ebook trata-se da compilação de artigos, resumos expandidos e relatos de experiência da área de Engenharia .

Em relação aos textos publicados aqui, optamos pela manutenção de estilo de escrita dos acadêmicos em função de termos como principal objetivo o fomento a essas produções e, como incentivo, a sua publicação.

Esperamos contribuir significativamente para o processo de sistematização e produção de conhecimento em cada leitor, pois entendemos que os diferentes textos apresentados podem trazer diversas linhas de pensamento e pareceres a respeito de assuntos variados.

Coordenação de Pesquisa

# SUMÁRIO

**ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO..... 7**

Viabilidade de automação da área comum em condomínios ..... 8

Simulação computacional do controlador pid com preditor smith no fluxo de transporte em processo industrial..... 26

Estudo da automação de um sistema de controle para a queima de gás glp em forno industrial..... 49

Desenvolvimento de filtro adaptativo para equipamentos remotamente operados..... 63

Medidas de contenção da interferência eletromagnética nas redes profibus – PA..... 81

Automação industrial do gerenciamento da demanda de energia elétrica na indústria..... 119

**ENGENHARIA DE PRODUÇÃO..... 157**

A gamificação como agente influenciador do comportamento em organizações..... 158

Aplicação de ferramentas da qualidade para otimização e gerenciamento de estoque de uma beneficiadora de aço.... 182

Manufatura enxuta aplicada no processo operacional do departamento de compras em uma multinacional de segmento em construção civil e mineração..... 204

Detecção do estilo de aprendizagem preferencial de um grupo de estudantes de engenharia pelo método “index of learning styles – ils”..... 220

Análise de perdas no processo de produção de embalagens metalicas..... 236

**ENGENHARIA ELÉTRICA..... 254**

Complementariedade de geração de energia elétrica híbrida com fontes sustentáveis: solar e eólica..... 255

Estudo da importância do sistema terra-isolado (it) em equipamentos hospitalares..... 280

Princípio de conexão para central de geração hidrelétrica em concessionária de energia ..... 296
Modelagem matemática da tecnologia aplicável em aterramento de subestações de potência ..... 319
Proteção catódica por corrente impressa ..... 343
Viabilidade econômica da modernização tecnológica de uma ponte rolante de siderurgia ..... 358
Análise de repotenciação de unidade geradora hidrelétrica ... 383
Estudo de eficiência energética pelo emprego de inversor de frequência em sistemas de ventilação industrial ..... 403
Projeto elétrico residencial de baixa tensão: procedimentos, normas e desenvolvimento ..... 425
Redimensionamento e cálculo de cargas: caso prático em uma empresa de locação de máquinas industriais ..... 452
Plano de manutenção preventiva em sistemas de instrumentação ..... 496
Análise de distúrbios em redes de distribuição de energia elétrica com cargas especiais ..... 518
Linhas de transmissão – fundamentação técnica: um estudo de caso ..... 543
Estudo da microgeração de energia pelo uso de transdutores piezoelétricos ..... 566
Estudo de caso sobre a viabilidade econômica em geração fotovoltaica ..... 588
EAD: a nova onda da educação – virtudes e desafios ..... 615
Caracterização e princípio de dimensionamento de relés de proteção para transformadores ..... 632
Estudo de viabilidade de implementação de unidade geradora fotovoltaica para carregadores de ônibus elétricos de volta redonda ..... 655
**ENGENHARIA MECÂNICA ..... 697**
Estudo do uso bagaço de cana de açúcar como revestimento acústico ..... 698

Projeto de um sistema hidráulico para um laminador de encruamento de uma linha de zincagem ..... 719
Otimização de uma torre de resfriamento com dois ventiladores ..... 738
Eficiência do mecanismo biela manivela em motores automotivos de quatro tempos ..... 744
**SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ..... 750**
O ganho das organizações com a adoção de devops ..... 751
Ética e segurança digital: uma abordagem conceitual ..... 775
Programação estruturada x programação orientada a objetos ..... 794
Desenvolvimento web moderno ..... 813
Disponibilidade de sistemas de controle e automação em ambientes de missão crítica ..... 825

## NOTA DE RETIFICAÇÃO

O artigo abaixo relacionado se encontra no final do e-book.

**Título:** Produção de cristais piezoelétricos em laboratório e Testagem da condutividade elétrica

Autoria: Silva, I. J.; Souza, p. H. S.; Silva, r. P.S.; Santos, d. M.S.; Souza, c. C. (Curso de engenharia elétrica)

Barra mansa, 11 de janeiro de 2022.
Coordenação de pesquisa

# APRESENTAÇÃO

A ideia deste ebook nasceu da necessidade de abrir espaço para a publicação das pesquisas e de relatos das práticas do cotidiano das formações oferecidas pelo UBM.

A partir desse desejo de divulgar os resultados de iniciação científica e das pesquisas existentes nos cursos de graduação e nos Núcleos de Pesquisa é que o Centro Universitário de Barra Mansa, desde 2018, oferece à comunidade interna o primeiro Seminário de Pesquisa e Iniciação Científica.

Como resultado desse evento tem-se aqui produções científicas, de nossos jovens graduandos, organizadas por área de conhecimento: Ciências Sociais/Artes, Engenharia e Saúde.

Este ebook trata-se da compilação de artigos, resumos expandidos e relatos de experiência da área de Engenharia .

Em relação aos textos publicados aqui, optamos pela manutenção de estilo de escrita dos acadêmicos em função de termos como principal objetivo o fomento a essas produções e, como incentivo, a sua publicação.

Esperamos contribuir significativamente para o processo de sistematização e produção de conhecimento em cada leitor, pois entendemos que os diferentes textos apresentados podem trazer diversas linhas de pensamento e pareceres a respeito de assuntos variados.

Coordenação de Pesquisa

# ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

# VIABILIDADE DE AUTOMAÇÃO DA ÁREA COMUM EM CONDOMÍNIOS

## COMMON AREA AUTOMATION VIABILITY IN CONDOMINIUMS

Guilherme da Silva Ribeiro[1]
Larissa de Melo Aguiar[1]
Dener Martins dos Santos[2]
Marco Antônio Gabriel[3]

**RESUMO:** A automação deixou de ser um privilégio industrial, passando a ser aplicada nos dias de hoje em diversos lugares, como residências, comércios, prédios, entre outros e torna-se evidente a quantidade de benefícios que traz. O presente trabalho principal objetivo a análise de viabilidade de automação da área comum em condomínios sob o comando de um único controlador. Isso foi feito através da criação de uma central inteligente programada para controlar o fluxo de operacionalidade de todos os equipamentos envolvidos. Os resultados indicaram que o controlador estabeleceu comunicação com o sistema de controle e supervisão desenvolvido e possibilitou ao porteiro, sem que o mesmo se ausente da guarita, pudesse acompanhar todas as atividades pertinentes.

**Palavras-chave:** Automação. Condomínio. Microcontrolador. Supervisório.

1 Discente do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Docente Doutor Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Docente Mestre do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**ABSTRACT:** Automation is no longer na industrial privilege, but is now being applied in various places, such as homes, businesses, buildings, among others, and the amount of benefits it brings is evident. The present main work aims to analyze the feasibility of automation of the common área in condominiums. Therefore, it was projected to integrate all activities under the commnad of a single controller. This was done through the creation of na intelligent central programmed to control the operational flow of all the equipament involved. The results indicated thar the controller establisched communication with the developed control and supervision system and enabled the gatekeeper, without leaving the guardhouse,could track all relevant activities.

**Keywords:** Automation. Condominium. Microcontroller. Supervisory.

## 1 INTRODUÇÃO

A partir do surgimento da tecnologia moderna, o homem começou a criar e desenvolver novas ferramentas que lhe proporcionassem melhor qualidade de vida. A automação ganhou cada vez mais espaço dentro da sociedade, por substituir as ações que antes eram realizadas pelos homens, por métodos e mecanismos automatizados. Hoje em dia isso não é apenas um privilegio industrial, pois fica cada vez mais evidente o crescimento do número de unidades habitacionais com algum tipo de automação instalada. Isto se deve ao crescimento da oferta de soluções e a redução do custo da tecnologia.

No caso específico dos condomínios residenciais é indispensável o controle da iluminação para que as luzes sejam acessas/apagadas somente quando necessário ou então controlar o sistema de irrigação para que funcione em tempo pré-programado, são alguns exemplos. A partir da automação de áreas comuns dos condomínios ter-se-iam ambientes mais práticos, o qual não necessitaria de contratação de profissionais res-

ponsáveis por serviços tais rotinas. Esse procedimento geraria economia de energia e uso consciente da água.

### 1.1 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho consiste em desenvolver uma análise tecnológica sobre a viabilidade de automatizar as atividades das áreas comuns em condomínios residenciais. Essa automação teve como ponto de partida a integração de serviços e equipamentos de uma forma que eles se interligassem em um sistema microprocessado passível de controlar e supervisionar das múltiplas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

### 2.1 SISTEMA DE SUPERVISÃO – ELIPSE SCADA

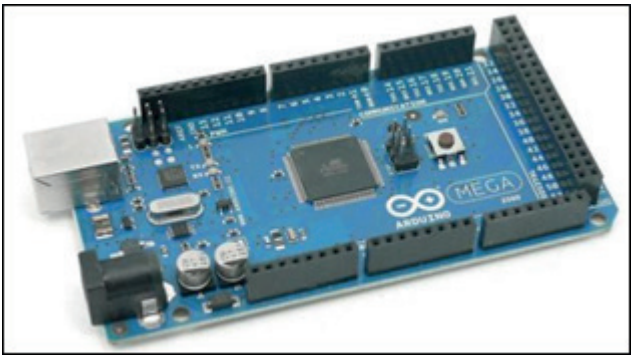
O desenvolvimento das telas gráficas desse projeto usou–se o *software* de supervisório Elipse Scada. Ele é *software* livre que pode baixado do site do próprio fabricante; contudo se necessita de uma *hardkey* acoplada ao computador para sua execução; no qual se permitiu salvar aplicações com até 20 *tags* e também se executou aplicação e comunicação com equipamentos de aquisição de dados. Além disso, para a operacionalidade também se utilizou o software *driver* Modicon Modbus Master necessário para a comunicação entre o supervisório e o Arduino pelo protocolo Modbus RTU.

### 2.2 ARDUÍNO MEGA 2560

O microcontrolador que controlou todas as atividades foi o Arduino MEGA 2560, conforme visto na Figura 1 e sua especificação é apresentada no quadro 1. Esse Arduino possui grande quantidade de portas digitais e analógicas, o que permitiu usar um maior número de entradas e saídas além de ter uma memória de programa com maior capacidade se comparada com outros existentes. A alimentação do Arduino pode ser feita tanto pela porta USB, como por uma alimentação externa. É recomendado que o valor tensão da alimentação externa se

encontre entre 7V a 12V. A placa conta com um circuito para comutar a alimentação automaticamente entre a tensão da USB e a tensão da fonte externa. Quando há uma tensão no conector DC e a USB é conectada, a tensão de 5V será proveniente da fonte externa e USB servirá apenas para comunicação com o computador (SOUZA, 2014).

Figura 1: Arduino MEGA 2560




Fonte: SOUZA (2014)

## 2.3 MÓDULO RTC DS1307

A sigla RTC significa *Real Time Clock*, ou seja, um Relógio de Tempo Real. O módulo RTC DS1307, conforme exposto na Figura 2, possui 56 bytes de memória não – volátil e é capaz de armazenar e fornecer informações completas de data (dia, mês, ano e dia da semana) e funções de horas, minutos e segundos, nos formatos de 12 ou 24 horas. A correção dos meses com menos de 31 dias e dos anos bissextos é ajustada de forma automática. A bateria de lítio instalada no módulo garante que os dados sejam preservados mesmo sem alimentação externa, sendo acionada automaticamente em caso de detecção de falha de energia. Os endereço e informações são transferidos via protocolo I2C (2 fios) (THOMSEN, 2014). A comunicação do módulo com o Arduino será feita através dos pinos SCL e SDA. Com a utilização do o módulo RTC DS1307 que será possível

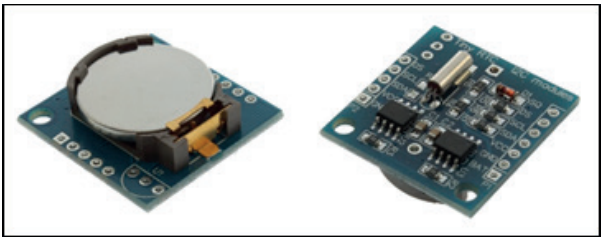
no projeto a execuções de ações em horários e dias da semana predeterminados.

Quadro 1: Especificações do arduino MEGA 2560.

| | |
|---|---|
| Microcontrolador: | ATmega2560 |
| Tensão de Operação: | 5V |
| Tensão de Entrada: | 7-12V |
| Portas Digitais: | 54 (15 podem ser usadas como PWM) |
| Portas Analógicas: | 16 |
| Corrente Pinos I/O: | 40mA |
| Corrente Pinos 3,3V: | 50mA |
| Memória Flash: | 256KB (8KB usado no bootloader) |
| SRAM: | 8KB |
| EEPROM: | 4KB |
| Velocidade do Clock: | 16MHz |

Fonte: Autores

Figura 2: Módulo RTC DS1307

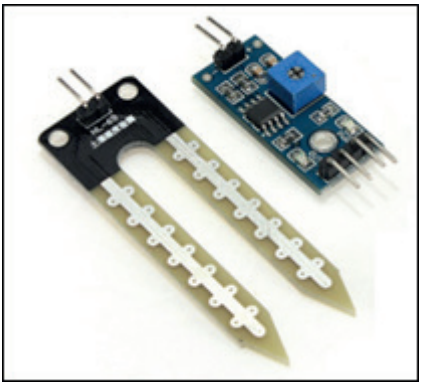


Fonte: THOMSEN (2014)

## 2.4 SENSOR DE UMIDADE

O módulo sensor de umidade do solo é capaz de medir a umidade do solo em determinado local, atuando em conjunto com placas microcontroladoras, entre elas: arduino, PIC, AVR, ARM, etc. O sensor de umidade é dividido em duas partes, conforme demonstrado na Figura 3: sondas que entram em contato com o solo e um pequeno módulo contendo um chip comparador LM393, que ler os dados que vêm do sensor e envia–os para o microcontrolador, que no caso deste projeto, o arduíno (THOMSEN, 2016). A medição da umidade é feita por meio da aferição da corrente entre as sondas que possuem o comprimento de 6x2 cm. Mais água torna o solo mais condutor de eletricidade (resistência menor), enquanto que o solo seco conduz menos eletricidade (resistência maior).

Figura 3: Sensor de umidade do solo



Fonte: THOMSEN (2016)

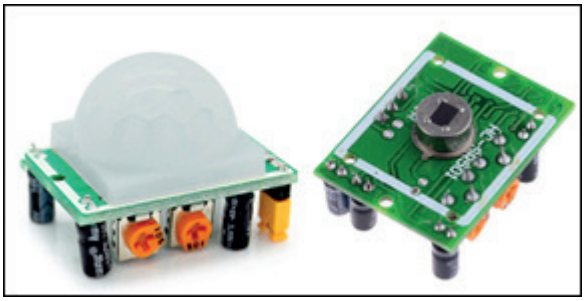
O sensor tem como saída um pino digital e um analógico. O pino de saída digital (D0) fica em nível lógico 0 ou 1 dependendo da umidade, sendo que o limite entre seco e úmido pode ser ajustado através do potenciômetro presente na placa. Com o pino de saída analógica (A0) é possível monitorar com maior precisão a umidade, quando conectado a uma porta analógica do arduino. O módulo possui um *led* que indica quando a placa

está sendo alimentada corretamente e outro que acende quando a saída digital for acionada (THOMSEN, 2016).

## 2.5 SENSOR DE MOVIMENTO PIR

O sensor de movimento PIR DYP-ME003, conforme visto na figura 4, é um módulo compacto com sensor infravermelho que permite detecção de movimentos a uma distância de 3 á 7 metros, distância essa que deve ser ajustada no sensor. O sensor aceita uma alimentação de 4,5V à 20V, e a conexão com o arduíno utiliza apenas um pino de saída digital, que apresenta o estado *HIGH* (alto) ao detectar um movimento, e *LOW* (baixo) quando não há movimentação perto do sensor (THOMSEN, 2013B).

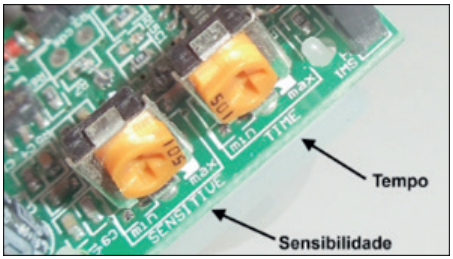
Figura 4: Sensor de movimento PIR DYP-ME003



Fonte: THOMSEN (2013B)

É possível também o ajuste do tempo do *delay*, que é o tempo em que a saída permanece acionada quando não é mais detectado nenhum movimento. Esse tempo pode variar entre 5 à 200 segundos. Os ajustes são feitos nos 2 potenciômetros soldados à placa (THOMSEN, 2013). Na figura 5 se observa que os potenciômetros onde é feito o ajuste da sensibilidade e do tempo.

Figura 5: Potenciômetros de ajuste do sensor de movimento PIR.

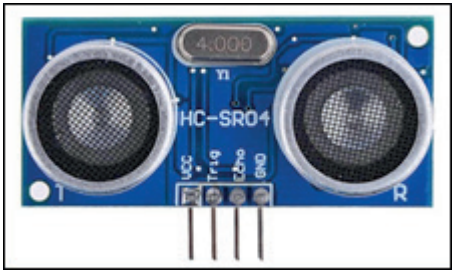



Fonte: THOMSEN (2013B)

## 2.6 SENSOR ULTRASSÔNICO

A figura 6 apresenta o sensor ultrassônico HC-SR04 nele é possível medir distâncias entre 2cm à 4m, com precisão de 3 mm. A medição para se iniciar é necessária alimentar o módulo e colocar o pino *trigger* em nível alto por mais de 10 microssegundos. O sensor emitirá uma onda sonora que ao encontrar um obstáculo rebaterá de volta em direção ao módulo. Neste tempo de emissão e recebimento do sinal, o pino *echo* ficará em nível alto juntamente com o pino *trigger* também em nível alto, é possível calcular a distância entre o sensor e o objeto (THOMSEN, 2011).

Figura 6: Sensor ultrassônico HC-SR04




Fonte: THOMSEN (2011)

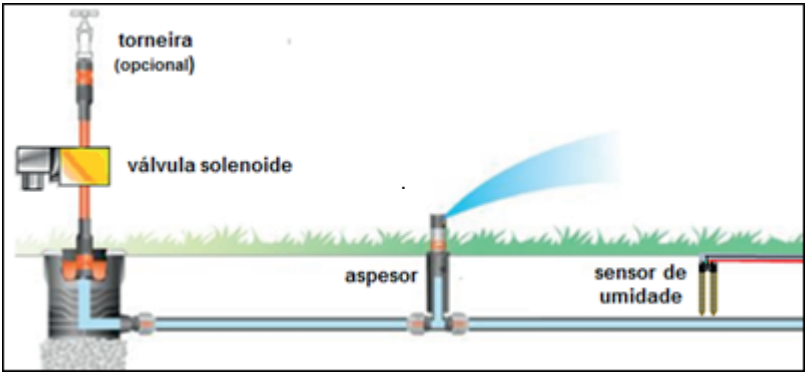
## 2.7 FILTRAGEM DA ÁGUA DA PISCINA

O sistema de filtragem da água da piscina é considerado o coração da piscina, pois tem a função de manter a piscina livre de impurezas insolúveis na água. Foi usado como estudo de caso o processo de filtragem da água das piscinas do Condomínio Recanto do Bosque II, situado na cidade de Volta Redonda. O acionamento da motobomba é feita de através de temporizadores ou de forma manual. O motor acoplado ao pré-filtro da piscina é o motor de modelo W48J da WEG. De forma geral, filtrando–se a água da piscina nos dias da semana e horários determinados é possível mantê-la limpa com grande economia de energia elétrica e tornando o processo mais prático, uma vez que a bomba estará funcionando por um período de horas necessárias sem necessidade de liga-la e desliga-la manualmente. O motor será acionado automaticamente pelo contato NA do relé 1 que se encontra no painel de automação. A bobina do relé por sua vez é acionada pela saída digital do arduino MEGA de acordo com a programação. O contato NA do relé1 deverá ser ligado de forma paralela ao disjuntor responsável por ligar o motor de forma manual. Através do sistema de controle e supervisão é possível acompanhar esse acionamento, definir os dias e horários de acionamento da motobomba ou acioná-la de forma manual.

## 2.8 IRRIGAÇÃO DO JARDIM

Na automação da irrigação do jardim, além do controlador principal, é necessário a utilização de uma válvula solenoide, micro aspersores e um sensor de umidade conforme visto na Figura 7. O contato NA do relé 2 que se encontra no painel de automação será responsável por energizar a válvula solenoide. A bobina do relé 2 está ligada na saída digital do arduino MEGA e será acionada de acordo com a programação.

Figura 7: Sistema de irrigação




Fonte: Autores

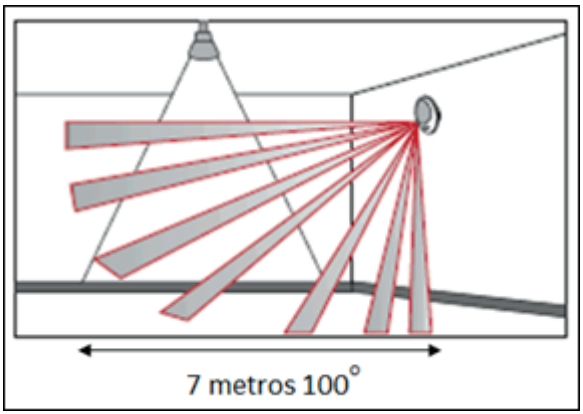
A irrigação do jardim deve acontecer nos dias e horário programado, durante o tempo definido. Outra condição a ser avaliada foi o valor da umidade do solo medida por um sensor colocado no mesmo. A utilização do sensor de umidade é extremamente necessária para o jardim não seja irrigado quando o solo estiver úmido, principalmente em dias de chuva. Isso evita o desperdício de água e também ajuda na preservação do jardim. O pino de saída analógica do sensor foi conectado na entrada analógica do arduino MEGA 2560. A partir do sistema de supervisão e controle foi possível acompanhar o acionamento da válvula solenoide ou acioná-la de forma manual.

## 2.9 ILUMINAÇÃO DA SALA DE JOGOS

Outra proposta do projeto foi à automação da iluminação da sala de jogos. A definição da quantidade de sensores ocorreu através da avaliação do campo de acionamento e o local de posicionamento destes, conforme exposto na figura 8. Assim foi possível estabelecer quantos sensores de movimento seriam necessários para cobrir todo o espaço da sala.

As lâmpadas da sala só seriam acesas quando algum movimento fosse detectado pelo sensor PIR DYP-ME003. Quando o movimento é detectado, o arduino permite a energização da bobina do relé 3 que se encontra no painel de automação. O contato NA do relé se fecha e permite que as lâmpadas sejam energizadas. Caso se deseje ainda manter um interruptor, o mesmo deveria estar em paralelo com o contato NA do relé 3.

Figura 8: Campo de acionamento do sensor de movimento PIR na sala de jogos.

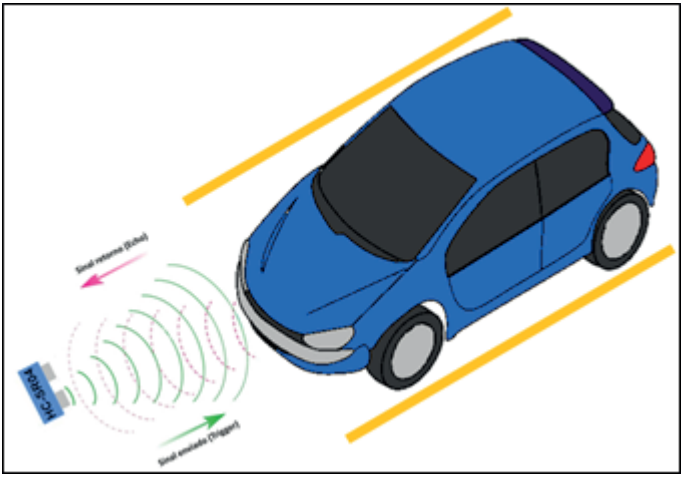



Fonte: Autores

## 2.10 CONTROLE DE VAGA DE VISITANTES NA GARAGEM

O sensor ultrassônico HC–SR04, através da análise pelo arduino MEGA da distância entre o sensor e o carro, possibilita monitorar a quantidade de vagas de visitantes na garagem através do supervisório desenvolvido. Na programação do arduino foi estabelecida uma distância e quando o carro estiver a uma distância igual ou menor, será indicado que a vaga está ocupada. Em cada vaga deverá ter um sensor ultrassônico. Na Figura 9 está representado o funcionamento do sensor na vaga de visitantes.

Figura 10: Esquema de funcionamento do sensor HC-SR04 na vaga de visitantes




Fonte: Autores

## 3. DESENVOLVIMENTO

Na elaboração e execução do projeto proposto se avaliou e escolheu componentes que melhor permitissem funcionalidade e aplicação no sistema de automação da área comum em condomínio. O controle das atividades nas áreas comuns foi efetuado por uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre e de placa única, denominada arduino. O sistema de controle e supervisório desenvolvido no *software* Elipse Scada proporcionaria ao porteiro uma visualização de todos os equipamentos que estivessem sendo acionados e possibilitaria o acionamento manual através da própria tela gráfica.

O propósito desse trabalho foi integrar todas as atividades em um único controlador, criando uma central inteligente programável para gerenciar todas as atividades. Entre as diversas as atividades que foram automatizadas consistiram: na automação da filtragem da água da piscina, sistema de irrigação dos jardins, controle da iluminação na sala de jogos e controle

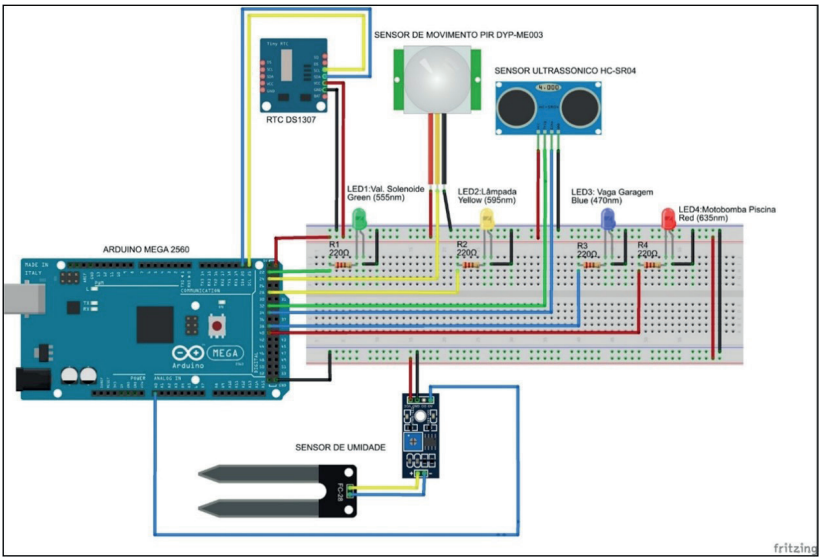
das vagas de visitantes na garagem. O arduino MEGA comunicou com o sistema de controle e supervisão desenvolvido no software Elipse Scada através do protocolo de comunicação Modbus. O objetivo foi controlar e monitorar todas as atividades pela portaria do edifício, sem a necessidade de o porteiro se ausentar da guarita.

## 4. RESULTADOS

A figura 10 mostra a representação esquemática do protótipo desenvolvido para a simulação da automação desenvolvida para o condomínio. Os testes realizados em laboratório foram realizados para se avaliar a eficácia do processo de automação nas áreas comuns em condomínios. O protótipo do projeto foi desenvolvido em três etapas. Na primeira etapa montou-se a parte física do protótipo no protoboard, de acordo com a Figura 10. Na segunda etapa desenvolveu-se a programação no arduino MEGA 2560. Na terceira etapa projeto foi estabelecida a comunicação entre o supervisório e o arduino e desenvolvidas as telas no supervisório Elipse Scada.

A simulação do sistema de automação do condomínio foi realizada pelo emprego do teste de eficácia para parametrizar a comunicação entre os diferentes componentes atuadores. O teste de eficácia do projeto desenvolveu–se um circuito no *protoboard* contendo o arduino MEGA, sensores e os *leds* substituíram os componentes atuadores. Diante disso criou–se a programação no arduino de forma em o *led* amarelo representasse a lâmpada só acendesse quando detectado o movimento pelo sensor PIR, o *led* verde representou a válvula solenoide que somente acenderia quando se detectasse baixa umidade no solo, o *led* vermelho representaria a motabomba e somente acenderia no horário programado e por fim, quando fosse detectado um objeto pelo sensor ultrassônico, o *led* azul acenderia indicando que a vaga destinada a visitante na garagem estaria ocupada. Os resultados indicaram haver satisfatório gerenciamento das atividades no sistema desenvolvido conforme o arranjo demonstrado na figura 10.

Figura 10: Protótipo do projeto de automação da área comum em condomínios.




Fonte: Autores

A figura 11 apresenta a imagem da página inicial ao sistema de acesso ao controle automatizado desenvolvido para o condomínio. Na figura 11A pode–se perceber que somente o funcionário para acessar o sistema teria que digitar *login* e senha, com isso automaticamente se registraria quem estaria realiza o monitoramento em um dado instante no condomínio. Na própria guarita o funcionário poderia acionar o sistema que estivesse ligado ou desligar outro, de acordo com a necessidade ora vigente, conforme demonstrado na figura 11B.

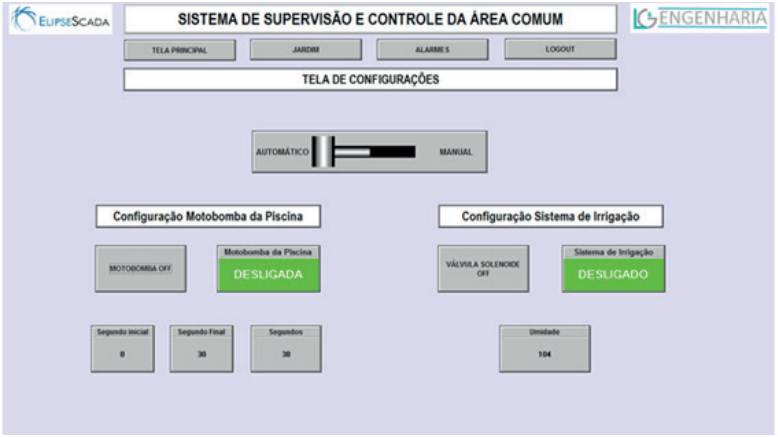
Figura 11: Tela principal do sistema de controle de automação desenvolvido.




Fonte: Autores

Mediante a simulação desenvolvida percebeu–se que a comunicação entre o circuito e o sistema de controle e supervisão pelo software Elipse Scada, tornou–se possível através da tela principal desenvolvida acompanhar a indicação do momento em que as lâmpadas eram acessas, ou a motobomba e o sistema de irrigação eram acionados ou ainda se a vaga da garagem para visitante estava ocupada. Esses acionamentos também foram indicados na tela de alarmes, permitindo verificar a data e hora de cada evento. A figura 12 apresenta a tela do sistema de supervisão desenvolvido.

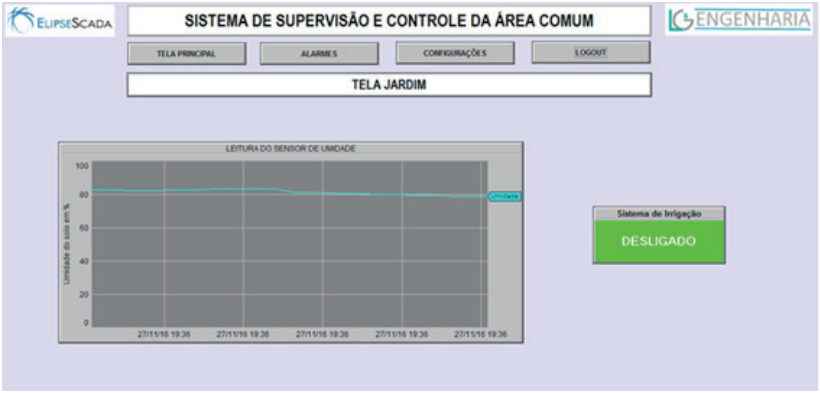
Figura 12: Tela de alarmes desenvolvida para o sistema de supervisão.




Fonte: Autores.

Na tela do supervisório indicada como jardim, acompanhou-se o acionamento da válvula solenoide e pode-se analisar através do gráfico a umidade do solo em percentagem. A configuração do sistema em manual/automático e do horário de programação foi feita através da tela de configurações. Assim tornou–se possível visualizar a atividade programada, o tempo programado descrito em segundos. Nessa tela, ao colocar o sistema para manual, era acionado por meio de botões a motobomba e ligava–se o sistema de irrigação. Este sistema é demonstrado através da figura 13.

Figura 13: Acompanhamento da umidade do solo.




Fonte: Autores.

## 5. CONCLUSÕES

Através dos resultados apresentados foi possível observar que a automação cada vez mais proporcionou maior conforto, comodidade e, principalmente, maior interação com seus usuários. Outra característica constatada ocorreu no gerenciamento racional com melhor aproveitamento no consumo de água de modo mais eficaz. Esse procedimento resultou em uma redução significativa do consumo de energia elétrica, recursos estes que cada vez mais caros e escassos.

A partir da automação da área comum em condomínios foi possível reduzir a mão–de–obra de funcionários de manutenção predial. Contudo outra frente de funcionário se fez necessário, que é o profissional de Tecnologia de Informação para fornecer serviço de prestação de manutenção, otimização e atualização do sistema desenvolvido. Também se geral a necessidade de treinamento periódico para o funcionário da guarita mediante as novas atribuições. Uma vez que o porteiro pode acompanhar a realização das atividades e tomar decisões da própria portaria quando necessárias.

Este foi um trabalho que se abre para outros tipos de automações, pois este é um assunto dinâmico e possui necessidade de atualização tecnológica constante, além de ser mutável e moldável de acordo com as diferentes necessidades que o condomínio pode precisar. Além de se almejar sempre o conforto dos condôminos e economia nos serviços.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos condôminos do Condomínio Recanto do Bosque II na cidade de Volta Redonda, por viabilizar o acesso e os testes para a realização desta pesquisa científica.

## REFERÊNCIAS

SOUZA, Fábio. **Arduino MEGA 2560.** 2014. Disponível em: https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/. Acesso em: 09 out. 2016.

THOMSEN, Adilson. **Como conectar o sensor ultrassônico HC-SR04 ao arduino.** 2011. Disponível em: http://blog.filipeflop.com/sensores/sensor-ultrassonico-hc-sr04-ao-arduino.html. Acesso em: 09 out. 2016

THOMSEN, Adilson. **Acendendo uma lâmpada com sensor de presença.** Dez. de 2013. Disponível em: http://blog.filipeflop.com/sensores/acendendo-uma-lampada-com-sensor-de-presenca.html. Acesso em: 09 out. 2016

THOMSEN, Adilson. **Relógio com o módulo RTC DS1307.** 2014. Disponível em: http://blog.filipeflop.com/modulos/relogio-rtc-ds1307-arduino.html. Acesso em: 09 out. 2016.

THOMSEN, Adilson. **Monitore sua planta usando arduino.** 2016. Disponível em: http://blog.filipeflop.com/sensores/monitore-sua-planta-usando-arduino.html. Acesso em: 09 out. 2016..

# SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO CONTROLADOR PID COM PREDITOR SMITH NO FLUXO DE TRANSPORTE EM PROCESSO INDUSTRIAL

## COMPUTATIONAL SIMULATION OF THE PID CONTROLLER WITH SMITH PREDICTOR IN THE TRANSPORT FLOW IN INSDUSTRIAL PROCESS

Ana Caroline Izoldi Leme[1]
Renan Fernandes[1]
Dener Martins dos Santos[2]
Samuel Justino da Silva[3]

**RESUMO:** O presente trabalho tem como objetivo demonstrar a eficácia do controle de processo de transporte através de um controlador PID com o Preditor Smith para sistemas incertos através do software Simulink. A escolha do controlador PID residiu no fato de sua adaptabilidade a diferentes processos industriais. O desenvolvimento se deu por implementar e simular um sistema de malha aberta e posteriormente o controlador PID e o Preditor Smith em sistemas por um estimulador de malha fechada para compensar as incertezas do modelo. A estrutura que aqui foi proposta leva em consideração apenas o valor nominal constante do retardo, representando uma estimativa do retardo incerto ou a média do retardo variante no tempo. Também se criou uma interface em Matlab para ajustar o controle PID por meio de arduino através da linguagem C/C++. Os resultados indicaram que em todos os casos simulados o pico de instabilidade teve uma amplitude média de 10s. Quando o valor do atraso foi +10% e +20% o sistema tornou–se sensível e ele ficou totalmente instável.

1 Discente do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Docente Doutor Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Docente Mestre do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**Palavras-chave:** Controlador PID. Preditor Smith. Modelagem e simulação computacional.

**ABSTRACT:** This work aims to demonstrate the effectiveness of the transport process control through a PID controller with Predictor Smith for uncertain systems using the Simulink software. The choice of the PID controller was due to its adaptability to different industrial processes. The development took place by implementing and simulating an open–loop system and then the PID controller and the Predictor Smith in systems by a closed–loop stimulator to compensate for the model's uncertainties. The structure proposed her take into account only the nominal value of the delay, representing an estimulate of the uncertain delay or the mean of the time–varying delay. A Matlab interface was also created to adjust the PID control by means of arduino using the C/C++ language. The results indicated that in all simulated cases the peak of instability had an average amplitude of 10s. When the delay value was +10% and +20% the system became sensitive and it was totally unstable.

**Keywords:** PID Controller. Predictor Smith. Computer and simulation modeling

## 1 INTRODUÇÃO

A automação vem a cada dia mais conquistando seu espaço na engenharia e na ciência. Através dela é possível aperfeiçoar processos industriais e de produção. Automação nada mais é que um sistema automático de controle pelo qual os mecanismos verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e introduzindo correções, sem a necessidade da interferência humana. Pode ser definida como tecnologia que utiliza comandos programados para operar um dado processo, combinados com retroação de informações para determinar que os comandos sejam executados corretamente, vem sendo muito utilizada em processos antes operados

por seres humanos, é a aplicação de técnicas computadorizadas ou mecânicas para diminuição do uso da mão de obra humana em qualquer processo automatizado. (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

Um dos controladores mais utilizados em processos industriais é o controlador PID (Proporcional–Integral–Derivativo). A popularidade de controladores PID pode ser atribuída em parte ao seu desempenho robusto em uma ampla gama de condições de funcionamento e em parte à sua simplicidade funcional. Uma das características de alguns processos industriais é o atraso de transportes. Além de exigir um bom entendimento das dinâmicas do processo, o projeto de controle abrange se não todas, as mais importantes e distintas perturbações envolvidas. O atraso de transporte pode ser entendido como a existência de um intervalo de tempo entre uma atuação sobre um dado sistema e a manifestação de seus efeitos sobre o comportamento deste. E esse atraso pode comprometer além da eficiência do sistema como também a segurança do mesmo. (NATIONAL INTRUMENTS, 2011).

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi elaborar um controlador PID com preditor de Smith para através de simulação computacional realizar análise compensatória do atraso de transporte presente em processos industriais. Ele é razoavelmente robusto e pode ser utilizado, principalmente, quando não se é conhecido precisamente o modelo da planta industrial.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

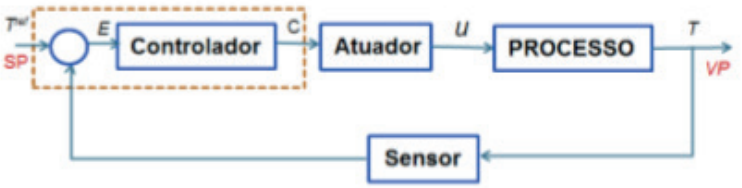
O controlador PID é uma estratégia de controle amplamente utilizado no controle de processos e com desempenho comprovado, no entanto vários processos industriais, e possuem a versatilidade de se adaptativos e de fácil manuseio em diferentes ramos de atividade. Ao se aliar o conceito do preditor Smith torna–o mais ágil ao controle de processos. O controlador PID com preditor Smith é indicado quando se deseja corrigir ou minimizar o efeito de atraso de transporte no fluxo de operações

industriais que podem gerar efeito de degradar o desempenho dos controladores de processo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A automação industrial pode ser usada para criar mecanismos que sejam capazes de produzir o melhor produto com o menor custo e tempo. Ela se divide em três níveis: o primeiro denominado de campo na qual se constitui pelos equipamentos a controlar; o segundo de controle, no qual consiste no local onde se encontram os elementos que vão controlar o processo e por fim o nível de supervisão, que é composto pelos programas de interface homem–máquina e aquisição de dados (FRANCHI, 2011). Na automação industrial os controladores de processo são responsáveis pelo gerenciamento das atividades e são compostos por algoritmos de controle específico. Segundo Groover (2010) dentre os controladores mais utilizados na indústria se destacam: PID, Lógica Fuzzy e Redes Neurais. No caso deste trabalho, se é dado enfoque somente em PID. O objetivo do emprego do controlador é manter variáveis do processo em valores pré-determinados (*setpoints*). De acordo com Bojorge (2017) um algoritmo de controle recebe medida do sensor; compara com a referência; calcula sinal de correção, com base em algoritmo pré-definido; e por fim, envia sinal de ajuste para o atuador. A figura 1 apresenta uma representação de um controlador.

Figura 1: Representação esquemática de um controlador.

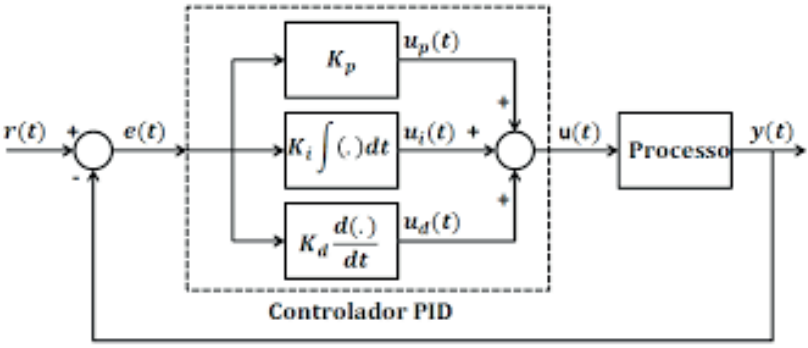



Fonte: Bojorge (2017).

## 2.1 CONTROLADOR PID

O controlador PID é composto de três coeficientes: proporcional, integral e derivativo. Quando o sistema de controle e/ou o processo fornece resposta transitória ou em regime insatisfatório o PID é o controle mais indicado. No controle PID a principal ideia é ler um sensor, calcular a resposta de saída atuador através do cálculo proporcional, integral e derivativo e então somar os três componentes para calcular a saída (OGATA, 2010). Atualmente na indústria os controladores mais utilizados empregam esquemas de controle PID ou PID modificado. Quando o modelo da planta não é conhecido, o controlador PID é mais útil. O controle PID utiliza o controle proporcional para minimizar a característica de oscilação de algum processo; reduz erros e fornece precisão e estabilidade em um processo, usando a ação integral e ações derivativas. Dessa forma elimina erros de desvio de controle e controla movimentos rápidos do processo onde é aplicado (NISE, 2017). A figura 2 apresenta um diagrama em blocos PID.

Figura 2: Representação esquemática de um diagrama em blocos PID.




Fonte: National Instruments. (2011).

O controlador PID gera a sua saída proporcionalmente ao erro, proporcionalmente à integral do erro e proporcionalmente à derivada do erro. A equação 01 apresenta as características desse processo.

$$u(t) = u_0 + K_c e(t) + K_c \frac{1}{T_I} \int e(t).dt + K_c.K_D \frac{d\,e(t)}{dt} \quad \textbf{(01)}$$

Onde:

u(t) = ação corretiva ou sinal de controle;

$u_0$ = constante que representa o valor do sinal de controle quando o desvio é nulo;

$K_C$ = ganho proporcional do controlador (pode ser escrito $K_P$ ganho proporcional; $K_I$ ganho integral; $K_D$ ganho derivado; de acordo com cada item da equação 01; parâmetro de sintonia a ser selecionado);

e(t) = erro ou desvio, ou seja, a diferença entre o *setpoint* e o valor medido de variável de controle (VC);

$T_I$ = tempo integral, intervalo de tempo onde, a ação integral é incrementada do valor do desvio (repetições por segundo), reset–time = 1/Ti (repetições por segundo ou min.);

$T_D$ = tempo derivativo.

Segundo Saito e Campos (2004), em malha aberta o objetivo desse método é a determinação dos valores $K_P$, $T_I$ e $T_D$, a partir das características da resposta transitória da plana do sistema. O método de sintonização de Ziegler Nichols em malha aberta só pode ser aplicado a plantas que não envolvam nem integradores, nem pólos complexos conjugados. Segundo Palhares (2017) a equação 01 pode ser escrita na seguinte forma:

$$u(t) = K_p e(t) + K_D \dot{e}(t) + K_I \int e(t).dt \quad \textbf{(02)}$$

Um projeto PID completo envolve um compromisso entre os três parâmetros a serem sintonizados: $K_P$, $K_D$ e $K_I$. Devido a natural dificuldade de se obter os valores dos ganhos do con-

trolador, se realizar a divisão da função corretiva u(t) pela função erro e(t), se obtém a função de transferência $G_C(s)$ em um plano de referência s.

$$G_C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P + K_D.s + \frac{K_I}{s} \quad \textbf{(03)}$$

Fazendo o mmc do lado esquerdo da equação 3 e posteriormente dividindo por $K_D$ tem–se a equação 4:

$$G_C(s) = K_D \frac{s^2 + \frac{K_P}{K_D}s + \frac{K_I}{K_D}}{s} \quad \textbf{( 0 4 )}$$

Na equação 4 o termo $[s^2 + (K_P/K_D)s + (K_I/K_D)]$ corresponde ao resultado de um produto notável que pode ser simplificado conforme demonstrado na equação 5.

$$G_C(s) = K_D \frac{(s+a)(s+b)}{s} \quad \textbf{( 0 5 )}$$

Onde:

$K = K_D$; logo K é o ganho;

$a + b = K_P/K_D$;

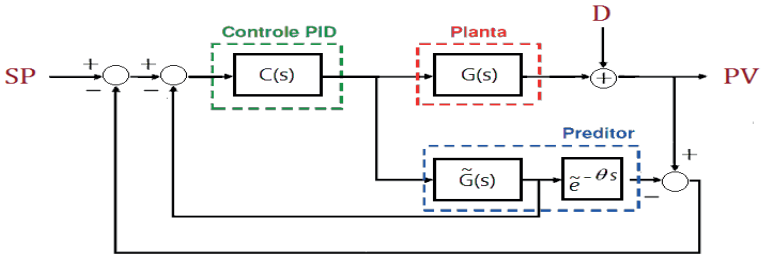
$a.b = K_I/K_D$.

## 2.2 PREDITOR DE SMITH

O controle preditivo é largamente empregado na indústria para lidar com problemas complexos que envolvem múltiplas variáveis. A principal ideia desse controle consiste em minimizar em tempo real um possível erro devido ao tempo morto ou atraso de transporte, existentes em alguns sistemas de controle. O Preditor de Smith é um modelo matemático da planta no *sof-*

*tware* que tem a função de prever o valor da variável de saída do processo antes que a mesma seja medida na saída da planta. Ele possui a função de minimizar efeitos indesejados devido ao tempo morto comum na planta. Uma característica do preditor Smith corresponde ao controle empregado para minimizar as limitações causadas pelo atraso de transporte a uma estrutura de controle com realimentação (GARCIA, 2020). A figura 3 apresenta a representação do diagrama de bloco de um controle PID com o uso do Preditor de Smith.

Figura 3: Diagrama em blocos de um controle PID com Preditor de Smith.

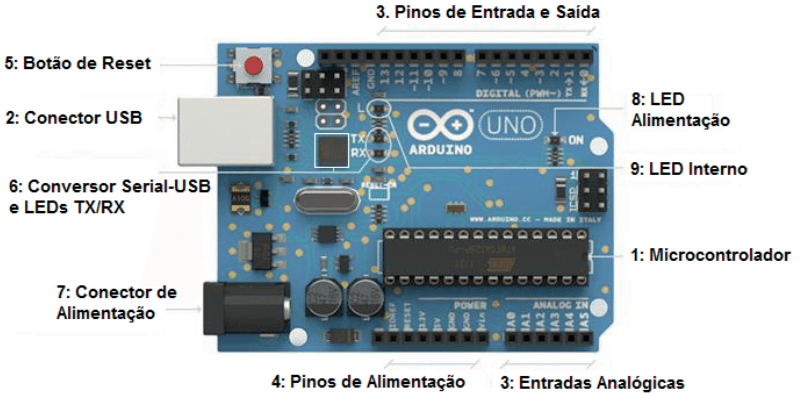



Fonte: Garcia (2020).

## 2.3 ARDUINO

Segundo Thomsen (2018) o arduino é uma placa composta por um microcontrolador Atmel, circuitos de entrada/saída e pode ser facilmente conectada a um computador. Utilizando uma linguagem baseada em C/C++, pode–se programá–lo por meio de IDE (*Integrated Development Environment*, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado), sem a necessidade de equipamentos extras além de um cabo USB. Dentre os tipos de Arduino, o UNO costuma ser a primeira opção para quem vai utilizar um Arduino, pois possui um bom número de portas disponíveis, e grande compatibilidade com os shields disponíveis no mercado. A figura 4 apresenta a vista superior de um arduino comercialmente encontrado no mercado com seus principais componentes.

Figura 4: Alimentação da placa Arduino UNO.




Fonte: Souza, 2014.

## 3 DESENVOLVIMENTO

No desenvolvimento e execução deste trabalho as simulações foram realizadas com o auxílio do programa *simulink*, Matlab, em ambiente *Windows*. As simulações em tempo real foram realizadas com o emprego do *hardware* embarcado Arduino. Na execução deste trabalho foram utilizadas as seguintes:

1) Projeto controlador PID via Lugar Geométrico para Raízes (LGR) para planta 2ª ordem com atraso;

2) Simulação da planta em Malha Aberta (MA) e Malha Fechada (MF) com e sem atrasos de variáveis;

3) Implementação do preditor de Smith;

4) Simulação da planta+controlador+preditor em MF variando o valor do atraso de transporte do sistema;

5) Implementar o sistema em hardware embarcado Arduino;

O modelo do controlador PID com controlador Smith utilizou os seguintes parâmetros, para realizar a simulação:

Característica da planta a ser simulada, considerando T→ 0; a função transferência foi a seguinte:

$$G(s) = \frac{0,1}{(s+0,2)(s+0,6)} \quad \textbf{(06)}$$

Especificações:

Sobrepasso percentual ao degrau de referência, Mp <20%;

Fator de amortecimento, ξ ≈ 0,5;

$S_T$ < 7 segundos → wn ≈ 1,2 segundos;

$E_{SS}$ = 0 → ação integral.

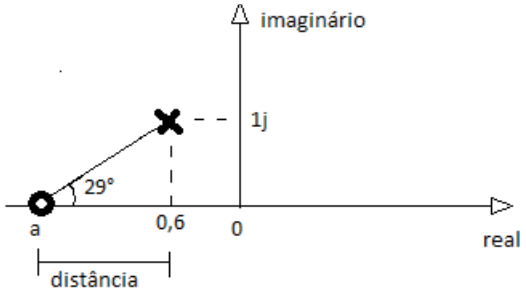
Pólos: Sd = –0,6 ±1,0j

$LG_{(s)}|s=180°$;assim:$LG(s)=\frac{0,1}{(s+2)(s+0,6)}\Big|_{s=-0,6+1,0j}$ = –208,8° ≈ 209°

Deficiência angular: Ø = 209 – 180 = 29°;

Adicionado o zero com ação PD → s + a; conforme demonstrado na figura 5.

Figura 5: Representação gráfica do zero adicionado.




Fonte: Autores.

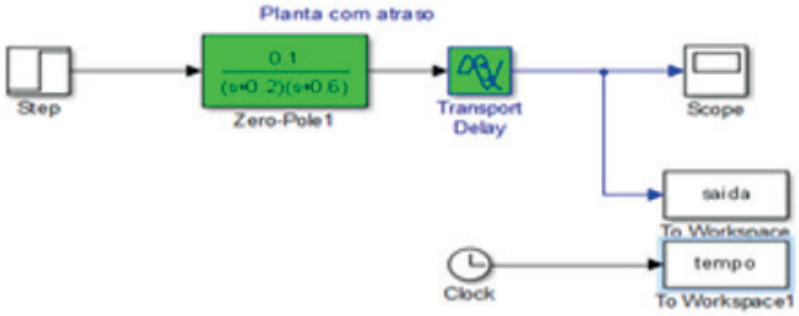
Como tg 29º = 1/distância; temos: distância = 1 x tg 29º ≈ 0,6.
Zero (PD) = distância + 0,6 = 1,2 ↔ a = 1,2 (equação 5).

Adicionou–se polo na origem e o 2° zero com ação PD $\rightarrow \frac{s+b}{s}$ colocando b próximo da origem para reduzir seu efeito. Logo b = 0,5. Substituindo os valores de a e b na equação 5, obteve–se os valores dos ganhos: $K_P$ = 18,7; $K_D$ = 11 e $K_I$ = 6,6.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

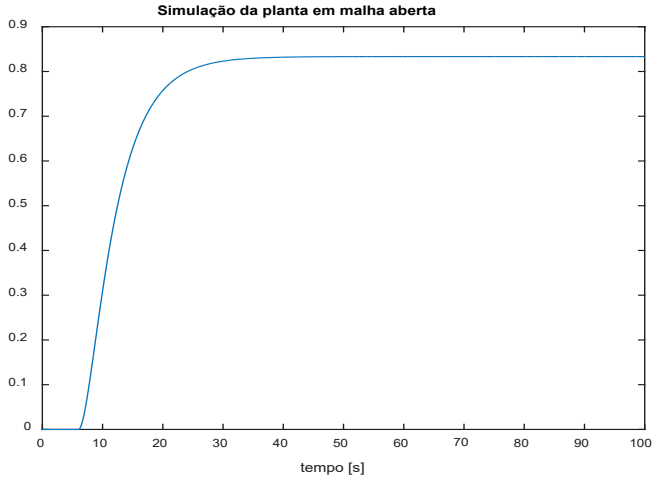
A planta em malha aberta (MA) foi simulada através do *simulink* conforme mostrado na figura 6. O resultado obtido dessa simulação é mostrada na figura 7. Observou–se que houve a estabilização da saída a 0,8 de distância que ocorreu ao redor de 20 segundos simulados.

Figura 6: Representação em blocos da planta em MA com atraso de tempo.




Fonte:Autores.

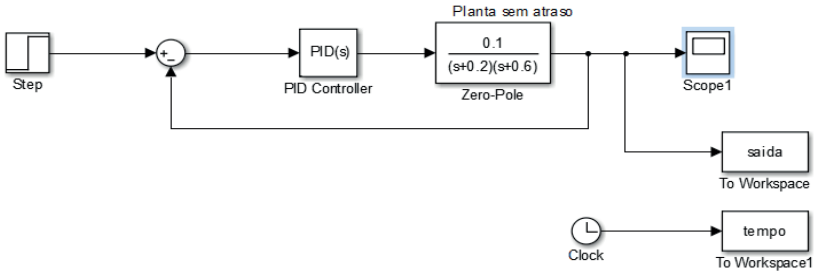
Figura 7: Estabilização do sistema de malha aberta em função do tempo.




Fonte:Autores.

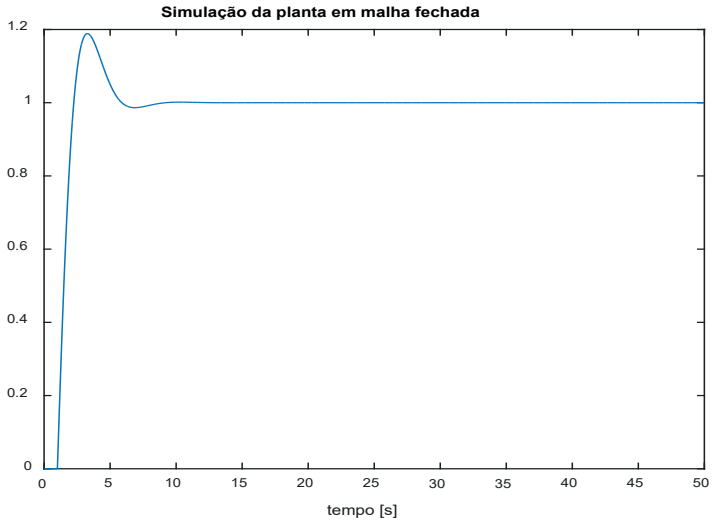
O mesmo procedimento anterior foi efetuado ao se realizar a simulação do sistema no *simulink*. Contudo, neste caso, se utilizou o conceito de uma planta em malha fechada (MF) sem atraso de tempo. Neste caso usou–se o controlador PID projetado. A figura 8 apresenta o resultado por meio de diagrama de blocos obtido no software *Simulink* e a figura 9 os resultados encontrados ao se utilizar as especificações descritas no capítulo 3 a partir daqueles descritos na figura 8.

Figura 8: Representação em blocos de uma planta em MF sem atraso de tempo com o controle PID.




Fonte: Autores.

**Figura 9: Estabilização do sistema de malha fechada em função do tempo com PID sem atraso**.



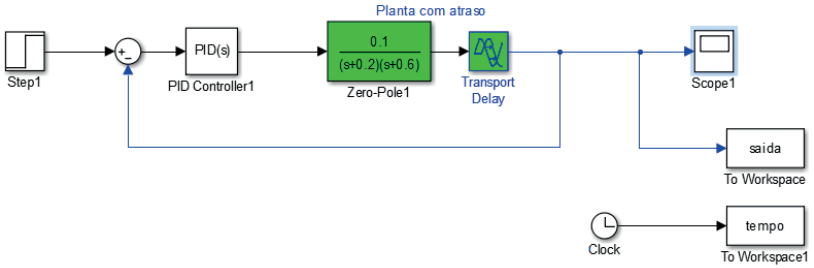

Fonte:Autores.

Ao se comparar os resultados descritos pelas figuras 7 e 9, respectivamente; se observa como o efeito da aplicação do sistema PID gera um tempo de resposta mais rápido com maior estabildade no sistema de malha fechada do que naquele de

malha aberta sem o seu uso. A estabilização ocorreu no sistema de malha fechada aproximadamente três vezes mais rápida do que naquele de malha aberta.

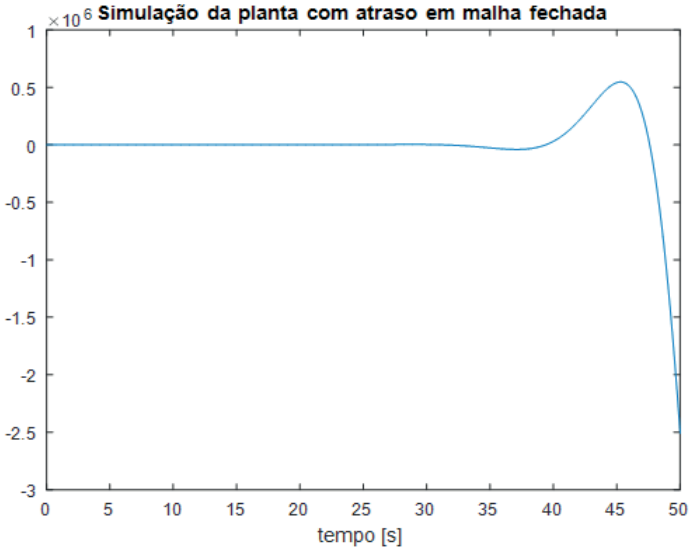
A figura 10 apresenta o resultado da simulação no *simulink* em uma planta em malha fechada com o controlador PID, porém com um atraso. A figura 11 apresenta como se comportou o sistema ao longo da aplicação. Nesta figura 11 se observou uma instabilidade leve a partir dos 32s e abrupta a partir dos 37s.

Figura 10: Digrama de blocos de um sistema em malha fechada com controle PID com atraso de tempo.




Fonte: Autores.

Figura 11: Pseudo estabilização de um sistema em malha fechada com controle PID com atraso de tempo.



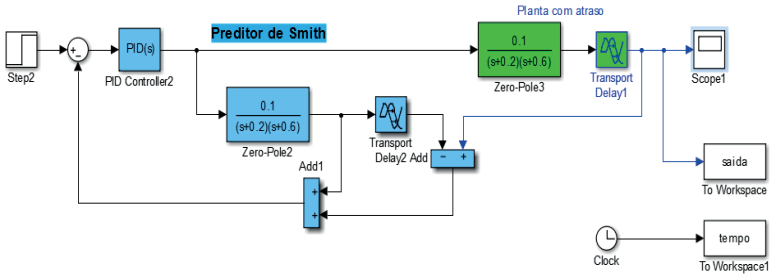

Fonte: Autores.

Ao se comparar os resultados apresentados nas figuras 9 e 11 se observou que na aplicação do PID com e sem atraso de resposta, eles foram antagônicos entre si. Ou seja, naquele mostrado na figura 9 a instabilidade se deu no ínicio da simulação (até aproximadamente 8s) depois estabilizou rapidamente e seguiu estável ao longo do tempo. Na figura 11 ocorreu o oposto após os 37 segundos este se desestabilizou; no que gerou 13s instáveis até o final da simulação. Contudo cabe ressaltar que em ambos os casos se observou uma média de 10s de instabilidade, quando se aplicou o controle de processo com o PID.

A figura 12 apresenta o resultado quando se adicionou o Preditor Smith ao controlador PID, conforme descrito na forma de digarama de bloco. Neste caso, se utilizou uma planta com atraso de resposta. O *overshoot* realizado na malha fechada

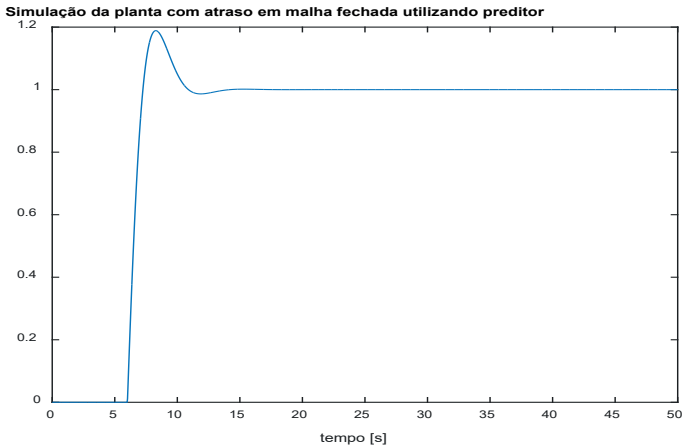
(MF) do sistema não foi alterado. Na figura 13 é apresentado o resultado da simulação. Através do resultado descrito na figura 13 se observou que variou o tempo para estabilizar o processo. Contudo foi possível se manter um controle e desempenho satisfatório do processo, porque o Preditor não eliminou o atraso. Mas sim, possibilitou que o sistema se estabilizasse; uma vez que o Preditor Smith compensou o atraso.

Figura 12: Diagrama de blocos de um sistema em malha fechada com controle PID com atraso e Preditor de Smith.




Fonte: Autores.

Figura 13: Característica da resposta de um sistema em malha fechada com controle PID com atraso e Preditor de Smith.

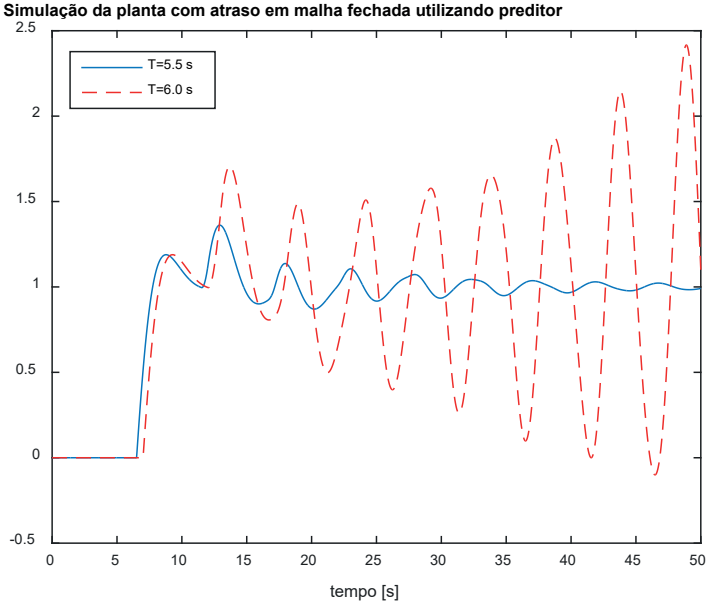



Fonte: Autores.

Na figura 13 observou–se que a acoplagem do Preditor Smith gerou uma pequena estabilidade inicial e depois dos 15s de processamento, até o final da simulação. Novamente o tempo de instabilidade demonstrado na figura 13 ficou ao redor dos 10s de simulados. Esta característica corrobora com os resultados apresentados e discutidos nas figuras 9 e 11, respectivamente.

A partir dos resultados anteriormente descritos, se realizou outras simulações na planta industrial com o controlador PID e o Preditor Smith em malha fechada com valores diferentes do atraso de transporte. Diante disso, se utilizou um atraso com variação de +10% e +20%. Através dos resultados descritos na figura 14, se percebeu que o sistema foi sensível à variação de atraso T, e o desempenho constatado foi degradado.

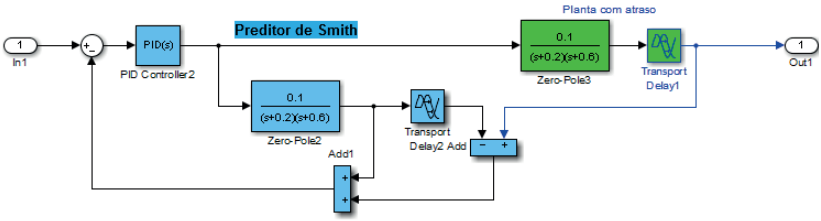
Figura 14: Comportamento do controlador PID com Preditor Smith com variação do atraso T.




Fonte: Autores.

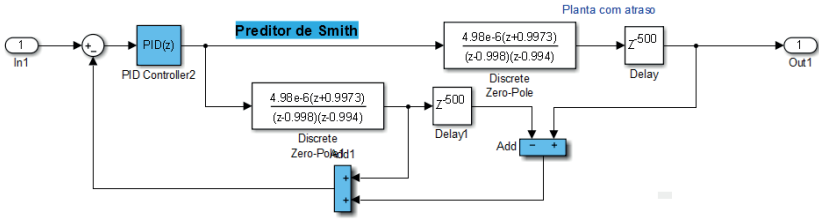
As figuras 15 e 16 mostram, respectivamente, a implementação do sistema em *hardware* embarcado Arduino, com controlador PID e Preditor Smith; sendo na figura 15 para um modelo contínuo e a figura 16 para um modelo discreto.

Figura 15: Representação do diagrama de bloco para um controlador PID com Preditor Smith para um modelo Contínuo com Arduino.




Fonte: Autores.

Figura 16: Representação do diagrama de bloco para um controlador PID com Preditor Smith para um modelo Discretizado com Arduino.

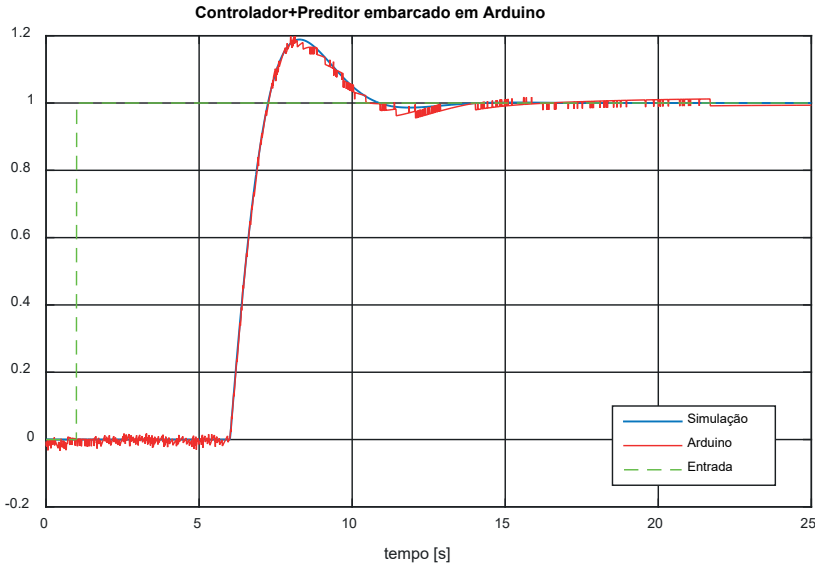



Fonte: Autores.

A figura 17 apresenta a simulação a partir da implementação para criar uma interface com o arduino. Esta simulação se realizou a simulação injetando um sinal de 1V na entrada analógica (A0) do arduino o qual leu a saída analógica (PWM pino 9), conforme mostrado na figura 4. Nesta figura 17 é apresentado o resultado conjuntamente daquele obtido no programa *Simu-*

*link* com aquele obtido através do emprego do arduino quando se utilizou o controlador PID com Preditor Smith com atraso.

Figura 17: Comparação entre os resultados obtidos através do simulador *Simulink* e do Arduino, para um controlador PID com Preditor Smith com atraso.




Fonte: Autores.

Através do resultado demonstrado na figura 17 para um controlador PID com Preditor Smith com atraso percebeu–se que nas condições parametrizadas ambos geraram idênticas respostas simuladas. Caber ressaltar a excelente adaptabilidade e confiabilidade que gerada pelo processador PID, no qual se compensou o atraso e atendeu as especificações de desempenho. A tabela 1 apresenta uma síntese dos resultados da simulação, na qual se avaliou o desempenho do controlador PID submetido a diferentes condições de controle de processo.

Tabela 1: Resultado das simulações realizadas no projeto.

| PLANTA | OVERSHOOT | SETTLING TIME |
|---|---|---|
| Malha Aberta | 0.8 | 25s |
| Malha Fechada s/ atraso | 1.2 | 13s |
| Malha fechada c/ atraso | Sistema instável | Sistema instável |
| Malha fechada c/ atraso e c/ preditor | 1.2 | 15s |
| Variando o atraso para +10% | Sistema instável | Sistema instável |
| Variando o atraso para +20% | Sistema instável | Sistema instável |
| Preditor embarcado com Arduino | 1.2 | 13s |

Fonte:Autores.

## 5 CONCLUSÕES

1) Os softwares *Simulink* e Matlab, quando se utilizou a programação em C/C++ para o arduino, demonstraram-se robustos para a realização das simulações realizadas para o controle de processo para o controlador PID com e sem atraso;

2) Observou–se através dos resultados obtidos que no sistema de malha aberta com o controlador PID e sem o Preditor Smith apresentou um longo tempo para se estabilizar, > 30s;

3) Todos os casos simulados o pico de instabilidade teve

uma amplitude média de 10s;

4) O emprego do Preditor Smith estabilizou a planta de transporte mais rapidamente;

5) O sistema perdeu totalmente sua estabilidade quando apresentou um atraso em malha fechada, tornando–o um sistema totalmente instável. Quando se variou o valor do atraso para +10% e +20% resultou que o sistema de controle de processo foi sensível a atrasos e ao aumentar o valor do atraso de transporte este tornou–se totalmente instável;

A implementação do controle embarcado no Arduino com o preditor Smith ocasionou que o sistema teve ótimo desempenho, pois se observou que foi possível compensar o atraso e assim o sistema atendeu as especificações de desempenho.

## REFERÊNCIAS


BOJORGE, Ninoska. **Sintonia de malhas de controle**. Niterói: Ed. UFF, 2017.

FRANCHI, Claiton M. **Controle de Processos Industriais – princípios e aplicações**. São Paulo: Érica, 2011.

GARCIA, Cláudio. **Controle de Processos Industriais – estratégias modernas**. São Paulo: Edgard Blücher, 2020. v.2, 418p.

GROOVER, Mikell P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 2.ed. São Paulo: Pearson Brasil, 2010.

MORAES, Cícero C.; CASTRUCCI, Plínio Lauro. **Engenharia de automação industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

NATIONAL INTRUMENTS. **Explicando a teoria PID**. Disponível em: http://www.ni.com/white-paper/3782/pt/#toc6. 2011. Acesso em: 16 nov. 2018.

NISE, NORMAN S. **Engenharia de sistemas de controle**. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC., 2017.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 5.ed. São Paulo: Pearson, 2010.

PALHARES, Reinaldo M. **Controle de sistemas lineares**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 1ª ed., 2017.

SAITO, Kaku; CAMPOS, Mário M. **Sistemas inteligentes em controle e automação de processos**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2004.

SOUZA, Fábio. **Arduino MEGA 2560.** 2014. Disponível em: https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/. Acesso em: 09 out. 2018.

THOMSEN, Adilson. **Monitore sua planta usando arduino.** 2018. Disponível em: http://blog.filipeflop.com/sensores/monitore-sua-planta-usando-arduino.html. Acesso em: 09 out. 2019.

# ESTUDO DA AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE PARA A QUEIMA DE GÁS GLP EM FORNO INDUSTRIAL

## AUTOMATION STUDY OF CONTROL SYSTEM FOR THE BURNING OF LPG GAS IN INDUSTRIAL FURNACE

Aroldo Carlos da Silva Júnior[1]
Lucas Alves Antônio[1]
Dener Martins dos Santos[2]
Miguel Alexandre Vieira Fusco[3]

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo da automação empregada no processo de injeção de gás GLP para a queima dentro de forno industrial. A metodologia empregada foi a utilização dos softwares SCADA e Indusoft a realização da simulação. O emprego do sistema proposto cancelaria as manobras operacionais erradas e ineficientes. Além disso, o sistema garantiu a redução nos tempos de manobra e evitou gastos operacionais desnecessários.

**Palavras-chave**: Automação industrial. Simulação. Controle lógico programável.

1 Discente do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Docente Doutor Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Docente Mestre do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**ABSTRACT:** This work aimed to carry out a study of the automation used in the LPG gas injection process for burning inside an industrial furnace. The methodology used was the use of SCADA and Indusoft software to perform the simulation. The use of the proposed system would cancel the wrong and inefficient operational maneuvers. In addition, the system guaranteed a reduction in maneuver times and avoided unnecessary operation spending.

**Keywords:** Industrial Automation. Simulation. Programmable Logic Control.

## 1 INTRODUÇÃO

Um processo convencional consiste naquele no qual as variáveis do sistema como, temperatura, pressão, vazão, nível do tanque e a válvulas são apenas verificadas através da aferição manual. Diante disso, todo o controle do processo perpassa pelas “mãos” do operador. Logo não há nenhum sistema de supervisão, controle e aquisição de dados. A automação de sistema se evita o desperdício de mão de obra uma vez que traz consigo maior segurança para os colaboradores e se diminui os índices de falha, principalmente humanas, que possam prejudicar o processo. No caso dos processos que utilizam o Gás Natural (GN) na falta deste, o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) tem se demonstrado ser uma boa opção pelo fato que é menos poluente, não agride o ambiente e anula a degradação ambiental. O mesmo ficará armazenado em tanques de aço carbono, em forma de líquido e gás aguardando uma possível falha do gás natural. A proposta deste artigo é demonstrar o princípio de automação para a modernização de sistema de combustão de fornos industriais alimentados por GN tendo como suporte o GLP.

### 1.1 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi consistiu em apresentar sistema de supervisisão, controle e monitoramento dos principais fa-

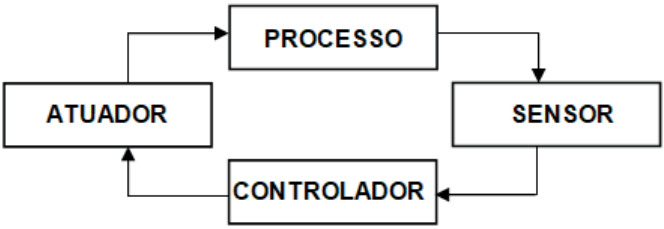
tores que influenciam na execução da manobra de abastecimento GLP, em caso de emergência com o GN empregado na queima para produção de calor em forno industrial.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

A automação teve seu ponto de partida na indústria na década de 1960 com o desenvolvimento da eletrônica. Teoricamente ela se apoia através de um sistema de computadores que substitui tarefas de trabalho humano; que emite soluções rápidas e econômicas para as indústrias e serviços tecnológicos, (AGUIRRE, 2007).

O avanço da automação está ligado à microeletrônica, à pneumática e à hidráulica, junto com o aparecimento dos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs). Estes dispositivos substituíram aqueles mecânicos e contatores, ao diminuírem o consumo de energia, por facilitar a manutenção e instalação nos painéis de comando. A automação ocorre quando um conjunto de técnicas é unido para construir sistemas ativos que possam ser capazes de atuar com eficiência ótima em determinados processos. Nestes processos, as informações provenientes do próprio sistema servem como parâmetros para efetuar o controle. (SILVEIRA; SANTOS, 2009). A figura 1 mostra o diagrama em bloco de um processo automatizado.

Figura 1: Diagrama de Blocos de um sistema de Automação

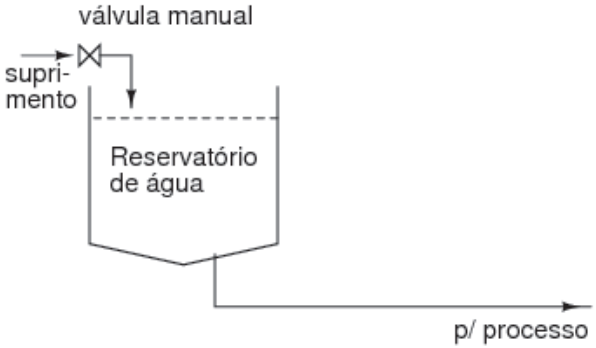



Fonte: SILVEIRA; SANTOS, 2009.

Segundo Ribeiro (2003) a instrumentação auxilia no controle de qualquer planta com sensores por detectar a variável medida, com indicações do valor instantâneo da variável, com registros em histórico ou em tempo real, alarmes e intertravamentos. Ainda, os instrumentos podem ser associados e aplicados a alguns equipamentos como caldeiras, reatores, compressores, bombas, fornos e muitos outros.

Todos os processos podem ser descritos por dois tipos de malha de controle: sistemas de controle em malha aberta e sistemas de controle em malha fechada. Segundo (BEGA; DELMEÉ; CONH *et. al*., 2003) o sistema de malha aberta como demonstrado na figura 2, ilustra como este tipo de sistema, que corresponde àquele o qual a informação sobre a variável controlada não é utilizada para ajustar nenhuma variável de entrada. Ele possui como finalidade compensar as variações que ocorrem nos parâmetros do processo e como a influenciam.

Figura 2: Processo típico de Nível em malha aberta.

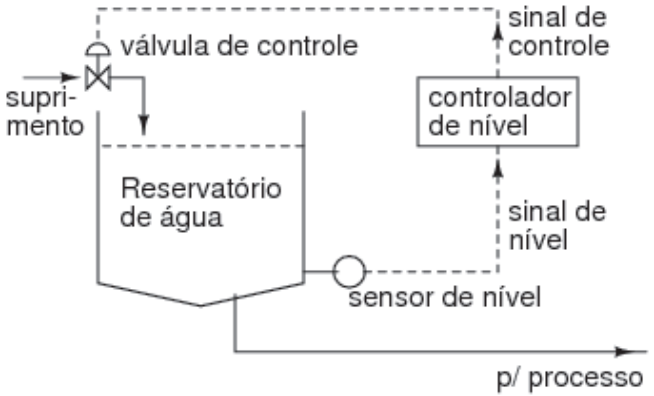



Fonte: MSPC INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Conforme demonstrado na figura 2 à malha aberta é utilizada quando se investiga a dinâmica do processo em uma condição não controlada, ou seja, analisa–se apenas a dinâmica do processo. No caso do sistema em malha fechada, conforme a figura 3, ilustra a principal função é manipular a relação entrada/

saída de energia ou material, de modo que a variável controlada do processo seja mantida dentro dos limites estabelecidos. O controle em malha fechada pode ser feito de forma manual ou automática dependendo do processo.

Figura 3: Processo de Nível utilizando controle automático.




Fonte:MSPC INFORMAÇÕES TÉCNICAS

Na figura 3 o controlador está de forma automática, tendo como função controlar o nível de fluido no reservatório (variável controlada) e corrigir o nível e assim ter a (variável manipulada), de forma a manter abertura da válvula e o fluxo da variável controlada no valor desejado.

## 2.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Segundo Silveira e Santos (2009) a primeira experiência de um controle de lógica que se permite a programação por recurso de software foi realizada em 1968 na divisão de hidramáticos da *General Motors Corporation*. Aliado ao uso de componentes e dispositivos periféricos, capazes de realizar operações de entrada e saída, o minicomputador com a sua capacidade de computação obteve–se vantagens técnicas de controle que suplementaram o custo que tal implementação apresentado à na época. Assim iniciou a era dos controladores lógicos pro-

gramáveis. Essa primeira geração de Controlador Lógico Programável (CLP) recebeu possíveis melhorias com advento de microprocessadores ocorridos durante os anos de 1970. CLP é um equipamento projetado para comandar e monitorar máquinas ou processos. Tem o conceito de uma arquitetura de um computador especializado, baseado em microprocessador que vai desempenhar funções de controle através de softwares. (SILVEIRA; SANTOS, 2009). Definição segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): "Equipamento eletrônico digital com hardware e software compatíveis com aplicações industriais". A definição segundo a NEMA: (*National Electrical Manufacturers Association*): "Aparelho eletrônico digital" que utiliza memória programável para o armazenamento interno de instruções para implementações específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos. O ciclo de funcionamento do CLP conhecido como SCAN pode ser dividido em três partes após a inicialização: Leitura de entradas, programa e atualização das saídas, conforme a figura 4.

Figura 4: Ciclo de processamento




Fonte: (PETRUZELLA, 2013).

## 2.2 SISTEMA DE SUPERVISÃO IHM

Segundo Moraes e Castrucci (2007), sistemas supervisórios são sistemas digitais de monitoração e operação da planta que gerenciam variáveis de processo. Estas são atualizadas continuamente e podem ser guardadas em bancos de dados locais ou remotos para fins de registro histórico. Conforme (GARCIA JUNIOR, 2019), os sistemas supervisórios permitem que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipuladas, analisadas, armazenadas e posteriormente apresentadas ao usuário. Estes sistemas também são chamados de SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition*).

Conforme Moraes e Castrucci (2007), o sistema SCADA permite ainda configuração de alarmes, eventos, relatórios, gráficos, controle de receitas e funções avançadas através de scripts. Garcia Junior (2019) descreveu também que ele também pode verificar condições de alarmes, identificadas quando o valor da *tag* ultrapassa uma faixa ou condição pré-estabelecida, sendo possível programar a gravação de registros em bancos de dados, ativação de som, mensagem, mudança de cores, envio de mensagens por *pager*, e–mail, celular, etc. O sistema SCADA pode ser dividido em modo de desenvolvimento, onde e criada a tela gráfica, o programa, o banco de dados e onde são vinculados os *tags* às propriedades dos objetos gráficos e as animações. E o modo de execução é onde o sistema excuta toda a funcionalidade programada no desenvolvimento e opera de forma integrada com o CLP para supervisão da planta em tempo real.

## 2.3 SISTEMA DE SUPERVISÓRIO *INDUSOFT*

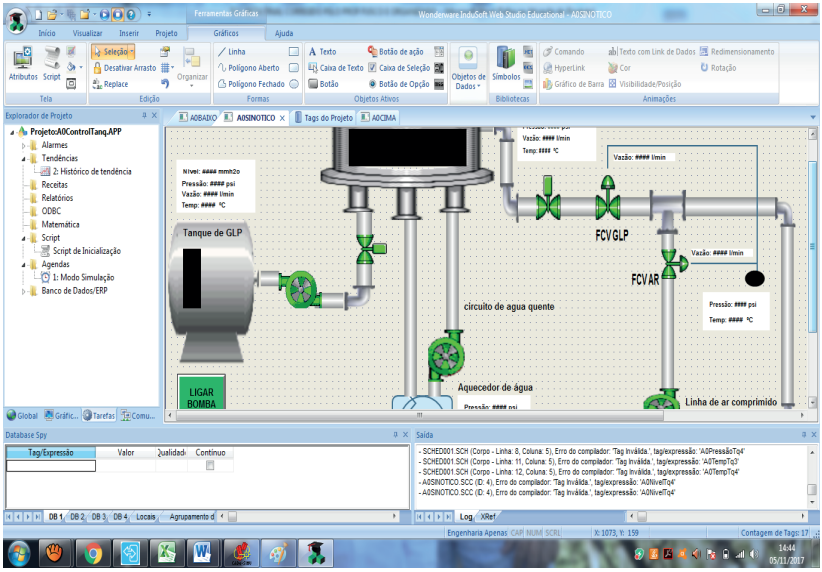
Segundo Crark (2015) o *Indusoft* é um software de supervisório para a área de automação industrial. Esse *software* é um sistema de desenvolvimento e *runtime* único que incorpora todas as ferramentas necessárias para criar aplicações de interface homem máquina, *SCADA*, que comparado com outros sistemas, este possui interface homem máquina mais simples

de ser configurada. A figura 5 mostra uma tela de trabalho realizado no supervisório *Indusoft*.

## 3 DESENVOLVIMENTO

Este trabalho se desenvolveu através dos conceitos da automação, e utilizou o princípio de utilização dos softwares SCADA e Idusoft para a realização de simulação do sistema de controle de fluxo de gás natural (GN) pelo GLP durante a operação de queima em um forno industrial.

**Figura 5: Área de trabalho do sistema de supervisão *InduSoft***

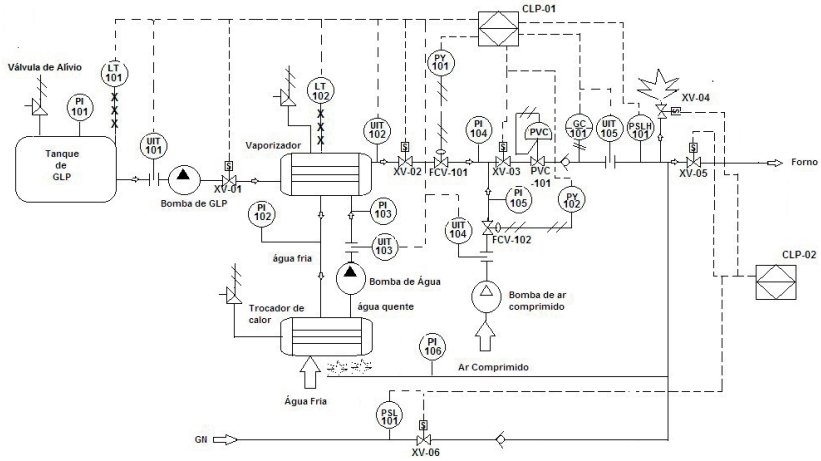



Fonte: Autores.

# 4 RESULTADOS

Na simulação a chama piloto somente foi acesa no caso de teste da linha de GLP, ou em caso de manutenção e teste do processo de queima de GLP. Após a chama piloto acender e o sistema detectar esta chama, a válvula moduladora de GLP começa a trabalhar proporcionalmente modulando a vazão de gás para manter o poder calorífico desejado assistido e controlado pelo analisador e medidor de gravidade específica que vai monitorar o índice de *wobbe* da solução de gás aplicado ao sistema que vai proporcionar uma queima ideal do forno, conforme o diagrama demonstrado na figura 6. Caso não se necessitasse de chama assistida o controle automático do sistema seria extremamente eficiente e capaz de assumir toda queima perfeita no processo de produção de forno, modulando a válvula de vazão de gás de GLP FCV–101 com a eficiência do analisador de gravidade específica GC–101 monitorando o índice de *wobbe* proporcionando a modulação da válvula de gás, tendo também a vazão de ar comprimido em valor fixo na válvula FCV–102. Assim, esta vazão de gás seria modulada pela válvula controladora de fluxo que irá controlar proporcionalmente o poder calorífico mais próximo possível do poder calorífico do GN afim de não danificar o material refratário do forno por choque térmico.

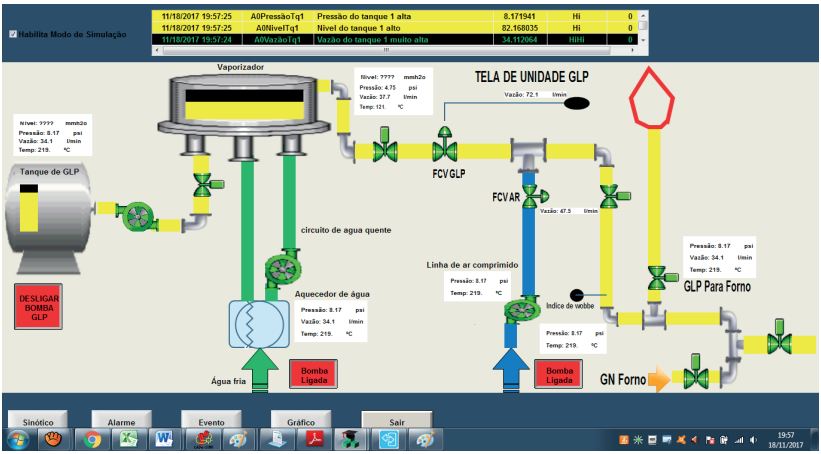
Figura 6: Diagrama P&ID do projeto.




Fonte: Autores.

Mediante isso, ainda na figura 6 a pressão de ar propanado (mistura de gás e ar) é regulada por uma válvula reguladora de pressão auto–pilotada ajustada para a pressão desejada ao sistema. Após a construção do digrama demonstrado na figura 6, se realizou o desenvolvimento da tela sinótica conforme mostrado na figura 7, onde se realizou as animações gráficas de toda a estrutura da planta, na qual foi possível acompanhar todos os dados de variáveis da planta como o nível, pressão, vazão e temperatura do sistema.

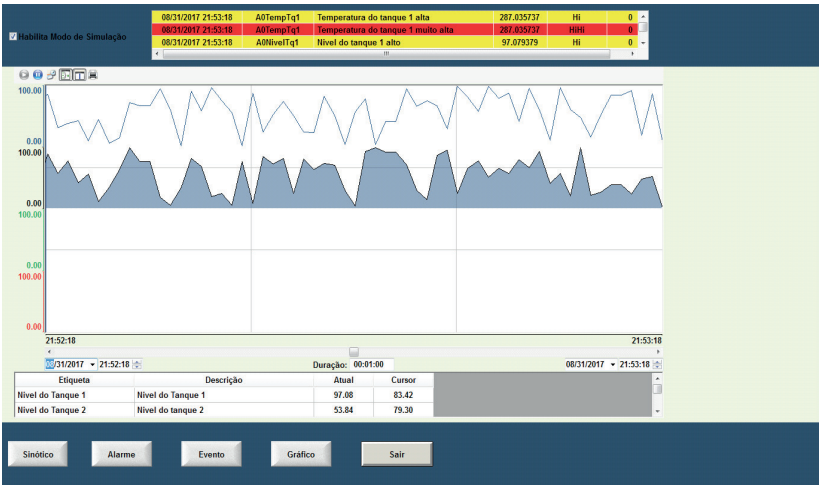
Figura 7:Tela Sinótica.




Fonte: Autores.

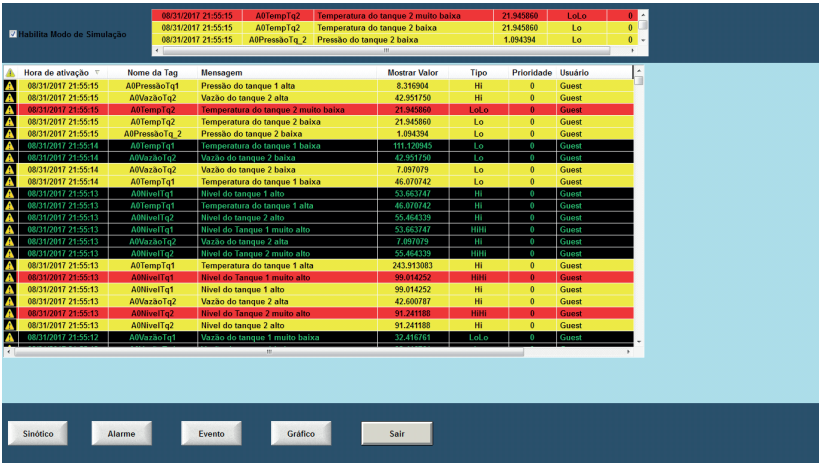
Diante dos dados simulados foi possível realizar a análise de tendência como mostra a figura 8 onde se tem o gráfico em tempo real dos níveis e pressões dos tanques de reservatório de GLP e o tanque do vaporizador. Automaticamente foi criado o mecanismo de saída dos dados na forma de relatório. A tela de relatório é mostrada na figura 9; nele foi possível retirar informações de todas variáveis do processo dentro do supervisório e rastrear as possíveis incoerências.

Figura 8: Tela de Tendência.




Fonte: Autores.

Figura 9: Tela de Relatório.




Fonte: Autores.

## 5 CONCLUSÕES

Foi elaborado um estudo sobre automação de projetos para atender todos os requisitos abordados no decorrer do curso sobre a utilização de CLP, válvulas, transmissores de pressão, vazão, nível e temperatura e entres outros. Nesse trabalho dimensionou–se o transmissor de EMERSON/ROSEMOUNT onde um único instrumento faz três tipos de leituras distintas, temperatura, pressão e vazão por pressão diferencial. Assim este instrumento possui a tendência de reduzir o custo.

Concluiu–se que a capacidade de um sistema de automação em relação à credibilidade e confiança nos instrumentos de medição e controle permeou um desempenho eficaz. O emprego do sistema proposto cancelaria as manobras operacionais erradas e ineficientes. Além disso, o sistema garantiu a redução nos tempos de manobra e evitou gastos com mão de obra especializada, custos com matéria primas e afins de modo a eliminar possível falha de queima podendo vim a ter a perda total do forno através de falha operacional manual.

## REFERÊNCIAS


AGUIRRE, Luís A. **Enciclopédia de automática – controle e automação**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007. v.2. 420 p.

CLARK, Richard. **Indusoft application design and Scada deployment recommendations for industrial control system**. [*S.l.*]: Kobo Editions, 2015. *E–book.*

GARCIA JUNIOR, Ervaldo. **Introdução a sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados – Scada**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

MORAES, Cícero C.; CASTRUCCI, Plínio Lauro. **Engenharia de automação industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

PETRUZELLA, Frank D. **Controladores lógicos programáveis**. 4.ed. São Paulo: Bookman/ McGraw Hill Education, 2013.

RIBEIRO, Marco A. **Controle de processo – teoria e aplicações**. 7.ed. Salvador: Tek Treinamento e Consultoria, 2003.

SILVEIRA, Paulo R.; SANTOS, Winderson E. **Automação e controle discreto**. 9.ed. São Paulo: Érica, 2009.

# DESENVOLVIMENTO DE FILTRO ADAPTATIVO PARA EQUIPAMENTOS REMOTAMENTE OPERADOS

## ADAPTATIVE FILTER DEVELOPMENT FOR REMOTE OPERATED EQUIPMENT

Caio Fabrício Martins[1]
Gabriel Marcelino de Souza[2]
Jurandir Miguel dos Santos[3]

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta um breve histórico das Revoluções Industriais e da robótica e segue para alguns desafios de equipamentos remotamente operados para solucionar as dificuldades que serão apresentadas, este trabalho tem como objetivo desenvolver e projetar um filtro adaptativo através de simulação, onde seria possível implementar um sinal com ruído, cuja função, será executar um método de controle e analisar as respostas obtidas afim de eliminar distúrbios. Para isso foi feito uma análise comparativa entre alguns filtros, tais como passa-baixa, passa-alta, passa-faixa, rejeita-faixa, filtro de Wiener e filtro de Kalman. Tal análise foi realizada com o intuito de verificar as diferentes aplicações dos diferentes tipos de filtros e se o filtro de Kalman seria o suficiente para filtrar um sinal aleatório de ruído em uma planta de um dispositivo remotamente operado.

**Palavras-chave:** Dispositivos remotos. Filtros adaptativos. Filtro de Kalman. Ruído. Controle.

1 Discente do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Docente Mestre do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM)

**ABSTRACT:** The present work presents a brief history of Industrial Revolutions and robotics and goes on to some challenges of remotely operated equipment, to solve the difficulties that will be presented, this work aims to develop and design an adaptive filter through simulation, where it would be possible to implement a signal with noise, whose function will be to execute a control method and analyze the responses obtained in order to eliminate disturbances. For this, a comparative analysis was made between some filters, such as low-pass, high-pass, band-pass, band-rejects, Wiener filter and Kalman filter. Such analysis was carried out in order to verify the different applications of the different types of filters and whether the Kalman filter would be enough to filter a random noise signal in a plant of a remotely operated device.

**Keywords:** Remote devices. Adaptive filters. Kalman filter. Noise. Control.

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como estudo a implementação de um filtro adaptativo para mecanismos operados via remota, hoje em dia o uso de filtros adaptativos é de suma importância para casos onde se precisa obter precisão e exatidão em determinada tarefa (s) sem ou com pouca presença de ruídos, principalmente por ser possível fazer uma estimação do processo. Estes podem trabalhar em tempo real e discreto no domínio do tempo. Há muitas áreas onde se utilizam filtros adaptativos para eliminação de ruídos, tais como: sistemas de visão computacional, navegação, robótica e diversos sistemas de controle. Segundo (SATO, et al., 2002) “filtros adaptativos são filtros temporais discretos que tem seus coeficientes ajustados ao longo do tempo para acompanhar as mudanças no sistema onde são utilizados reduzindo o sinal de erro medido a partir do sensor”.

No controle clássico existem estratégias para diminuir o distúrbio, como controle PID, CASCATA e *Feed Forward.* Porém é no controle moderno que se encontram as medidas mais efi-

cientes. Destacamos aqui o controlador H∞ devido a sua característica de atuar em modelos não lineares e sua grande capacidade de lidar com ruídos.

O objeto de estudo filtro de Kalman tem como papel fazer uma média ponderada entre os valores obtidos por sensores e os valores calculados pela dinâmica do processo. Esta média tem como peso uma matriz chamada de ganho de Kalman, se adaptando a cada ciclo do processo o ganho dará menos peso a leituras quando forem ruidosas e maior peso aos sensores quando suas leituras estiverem próximas aos estados estimados.

## 2 REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

O grande avanço da robótica deve-se ao surgimento e evolução das Revoluções Industriais. Conforme visto em Duque *et al*. (2017), a Primeira Revolução Industrial ocorreu entre o final do século XVIII e início XIX com a introdução das máquinas a vapor e da mecanização do processo de produção por meio do tear mecânico. A segunda Revolução Industrial aconteceu na segunda metade do século XIX (c. 1850 - 1870) e através da mesma foi implementado um modelo de linha de produção e de montagem em série, invenção do motor a explosão (motor de combustão) e do uso da energia elétrica. A Terceira Revolução Industrial que ocorreu em meados da década de 1940 com a aplicação da automação, ela foi a responsável por transformar as indústrias, pois passou-se a fazer uso da eletrônica e um pouco de computação, o que acabou gerando um modelo "automático" de trabalho além de avanços tecnológicos dos meios de comunicação, tais como: televisão, telefone, fax e computador e o surgimento da internet. Por fim a Quarta Revolução Industrial, que segundo o professor alemão Klaus Schwab (2016):

> Estamos a bordo de uma revolução tecnológica que transformará fundamentalmente a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. Em sua escala, alcance e complexidade, a transformação será

> diferente de qualquer coisa que o ser humano tenha experimentado antes,

Descrito em seu livro “A Quarta Revolução Industrial”, publicado em 2016.

## 2.1 HISTÓRICO DA ROBÓTICA

Visto que com a as Revoluções industriais obteve-se novos meios tecnológicos, e estes sempre em avanço e em pleno desenvolvimento. Nos dias atuais está cada vez mais comum nos depararmos com a robótica no nosso dia-a-dia e para início de tudo precisamos saber “O que é robótica ”, e de acordo com Antoniassi (2011) “Robótica é a ciência que estuda a criação de robôs*”*. E com isso é possível definir robô como um manipulador multiuso, o qual pode ser adaptado para diferentes aplicações e para isso podem ser necessárias alterações físicas. As funções de um robô podem ser programáveis e reprogramáveis, ou seja, é possível mudar os movimentos e funções sem que haja alterações físicas em sua estrutura. Eles são compostos por vários mecanismos que incluem vários graus de liberdade, geralmente pode possuir um ou vários braços, onde é possível segurar uma ferramenta, peça ou dispositivo. Quando nos referimos à braços robóticos usados em indústrias, ele é basicamente composto de controlador, braço, ferramenta, motores e sensores. (SANTOS, 2006).

## 2.2 LEIS DA ROBÓTICA

De início foram estabelecidas três leis, porém em 1984 foi escrita uma quarta lei, estas leis foram criadas por um escritor americano de ficção cientifica cujo nome era Isaac Asimov. De acordo com Débora Maia (2003) descrito em seu artigo “Automação Industrial e Robótica” as leis da robótica segundo a ficção científica são as seguintes:

- 1ª Lei: O robô não pode machucar um ser humano ou deixa-lo em situações de perigo”.

• 2ª Lei: O robô deve obedecer às ordens recebidas pelos seres humanos, a não ser que tais comandos entrarem em contradição com a primeira lei.

• 3ª Lei: O robô deve zelar pela sua existência e proteção, a não que entrar em contradição com a primeira e a segunda leis.

• 4ª Lei: O robô não pode causar mal a nenhum ser humano nem permitir que ele cause à humanidade.

## 2.3 DISPOSITIVOS REMOTAMENTE OPERADOS

Dispositivos remotos são equipamentos onde seu controle é realizado através de uma comunicação externa através de uma ação do operador, resumindo uma IHM, isto através de ponto de controle, tal como joysticks, dispositivos móbile e controles. O processo onde o dispositivo de controle não está ligado por meio físico a unidade real é chamado de sistema de gerenciamento remoto. Existem quatros fatores que um gerenciador deve analisar.

• Método de comunicação: como será realizada a comunicação do operador e do dispositivo a ser controlado, quais softwares e hardwares serão necessários.

• Nível de controle: o que será controlado e seu grau de precisão e exatidão no processo que será realizado.

• Treinamento de operadores: analisar a capacitação do operador para a realização da tarefa e/ou capacitá-lo para exercer tal função.

• Problemas de desempenho: em todo processo deve ter em mente que será necessário a realização de manutenções, tanto para avaliar a qualidade do equipamento, processamento e se há a necessidade de trocas de peças ou atualização de softwares.

Dentre os problemas mais observados em sistemas remotos os principais são:

- *Delay* (atraso) na resposta;
- Presença de ruídos;
- Softwares desatualizados;
- Desgaste de peças;
- Má comunicação na IHM (Interface Homem Máquina).

## 2.4 FILTROS

São basicamente circuitos que contém um comportamento em relação a frequência do sinal atuando sobre ele, assim permitindo a passagem ou o suprimento de sinais com certas frequências.

Os filtros são classificados de acordo com a tecnologia, componentes compostos em sua construção e referente a função em um circuito eletrônico. Os filtros são divididos nas seguintes categorias de tecnologia:

- Filtros Passivos: são construídos utilizando dispositivos passivos de circuitos, tais como: resistores, capacitores e indutores.
- Filtros Ativos: são construídos utilizando dispositivos passivos com associação a um dispositivo ativo amplificador, tais como: transistores e amplificadores operacionais.
- Filtros Digitais é a execução de um filtro por meio de operações matemáticas através de um sinal e com auxílio de um software. A análise de dados do mundo real requer uma transformação entre o sinal coletado por equipamentos de medida, geralmente analógico e o formato digital exigido para a manipulação computacional.

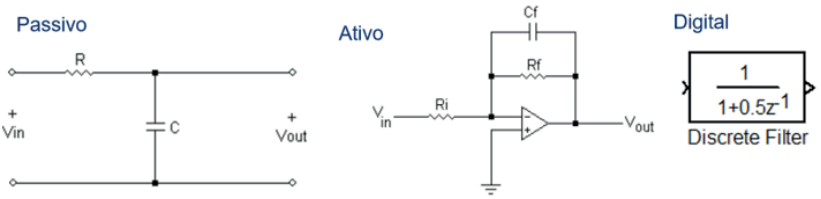
O processamento digital de sinais (PDS) envolve a matemática, os algoritmos e as técnicas utilizadas para manipular estes sinais após sua conversão para a forma digital (Smith, 1999). Os filtros digitais são uma parte muito importante do PSD e são utilizados para dois propósitos: desvinculação de sinais unidos e para a restauração de sinais distorcidos.

Existem três métodos de obtenção de resposta para filtros digitais: resposta a um impulso, a um degrau e em frequência. Os filtros digitais comparados ao analógicos apresentam algumas vantagens, tais como:

- Programação via software;
- Apresentam poucas variações em relação a temperatura e umidade
- Apresentam um bom benefício na relação performance/custo dependendo do projeto a ser implementado;
- Não apresentam variações no tempo;
- Não necessitam das características de equipamentos analógicos;
- São filtros com banda larga e transições agudas.

A figura 1 abaixo mostra uma ilustração referente a classificação de tecnologia dos filtros.

Figura 1 - Tecnologia dos Filtros




Fonte: SILVA, S.J. (2018, p.10)

## 2.5 TIPOS DE FILTROS

- Filtros Passa-Baixa

É um circuito onde os sinais de tensão e corrente só passam abaixo de um determinado limite de frequência, assim impedin-

do que os sinais frequências acima desse valor não passem. O limite de frequência é denominado como Frequência de Corte.

• Filtro Passa-Alta

É um circuito onde os sinais de tensão e corrente só passam acima de um certo limite, assim impedindo que os sinais de frequências abaixo desse valor não passem.

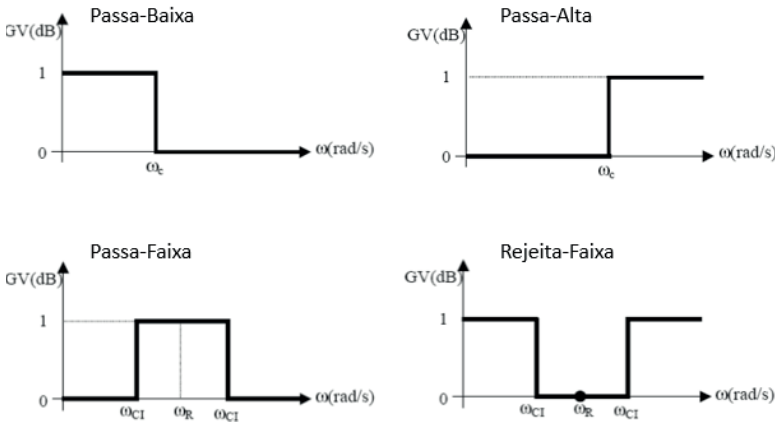
• Filtro Passa-Faixa

Foi desenvolvido através da união dos filtros passa-alta mais passa-baixa, nesse circuito só passam os sinais de frequência localizados entre os valores das duas frequências de corte, assim impedindo a passagem dos sinais de frequência que se localizam fora dessa área.

• Filtro Rejeita-Faixa

Foi desenvolvido através da união dos filtros passa-baixa mais passa-alta, nesse circuito só passam os sinais de frequência localizados na interseção dos valores das duas frequências de corte, assim impedindo a passagem dos sinais de frequência que se localizam entre essa área.

Figura 2 - Tipos de Filtros




Fonte: SILVA, S.J. (2018, p.11).

• Filtro de Wiener

Norbert Wiener o criador da cibernética, foi o primeiro a teorizar que ações inteligentes necessitavam de retroalimentação, cunhando o termo retroalimentação-negativa hoje conhecido como *feedback*. Outra de suas grandes contribuições para todas disciplinas de controle fora o Filtro de Wiener publicado em 1942, sua criação se deu no *MIT (Massachusetts Institute of Technology),* onde tinha como finalidade prever a posição de mísseis alemãs, *Fieseler Fi 103* mais conhecida pela sigla V-1, é considerado o primeiro míssil moderno da história. O Filtro de Wiener não era capaz de prever o futuro, mas sim de filtrar parte do ruído das leituras dos radares, tornando a localização dos misseis alemães mais clara.

Este processo de filtragem equivale a uma operação de convolução que separa sinais baseado em suas frequências espectrais. Seu ganho em cada frequência é determinado pelo valor relativo entre o sinal e o ruído naquela frequência. (Smith, 1999)

• Filtro de Kalman

O filtro de Kalman é formado através de várias equações matemáticas onde se faz o uso de um processo de estimação de estados, onde é possível reduzir o ruído através de repetidas análises nos valores no espaço de estados e assim levando em consideração que o erro quadrático é reduzido. Através da visualização da variável de observação denominada variável de estado podemos obter um filtro com aplicações mais eficiente. Através do filtro de Kalman é possível estimar os estados passados, o estado presente e até prever os estados futuros para uma determinada planta de um projeto.

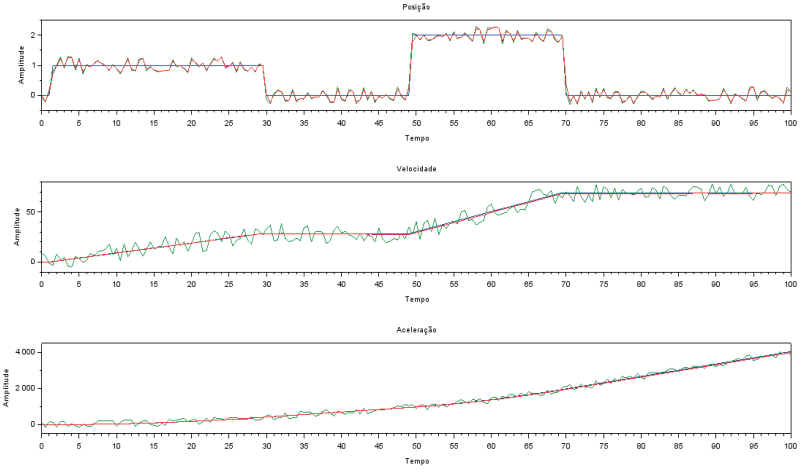
Como visto acima o filtro de Kalman é um método aplicado quando os modelos são denotados na forma espaço-estado, umas das vantagens do desse filtro é a possibilidade de verificação dos parâmetros desconhecidos no modelo matemático através da separação dos elementos quem apresentam uma ligação contidos no erro de previsão.

## 2.6. SIMULAÇÕES

A estratégia utilizada para o desenvolvimento do projeto, foi simular um sinal de entrada que representa o sinal gerado por um operador, adicionar um ruído aleatório que se estende por todo espectro de frequência, o qual representa interferências no processo como o tremor da mão humana. Por fim desenvolver um filtro capaz de responder ao distúrbio de forma satisfatória.

Foi escolhido com base em seus recursos e aplicações para a realização e criação das simulações os seguintes *softwares*: Scilab e MATLAB na versão de teste. Através do Scilab foi realizado dois testes utilizando o filtro de Kalman, o primeiro teste foi referente a estimação do modelo matemático de um espaço de estados aleatório num intervalo de zero a cem segundos. Na figura 3 podemos observar os dados desejados (cor azul) desse modelo em relação a posição, velocidade e aceleração, assim como o ruído (cor verde) e o valor estimado juntamente com a faixa de erro abrangente (cor vermelho).

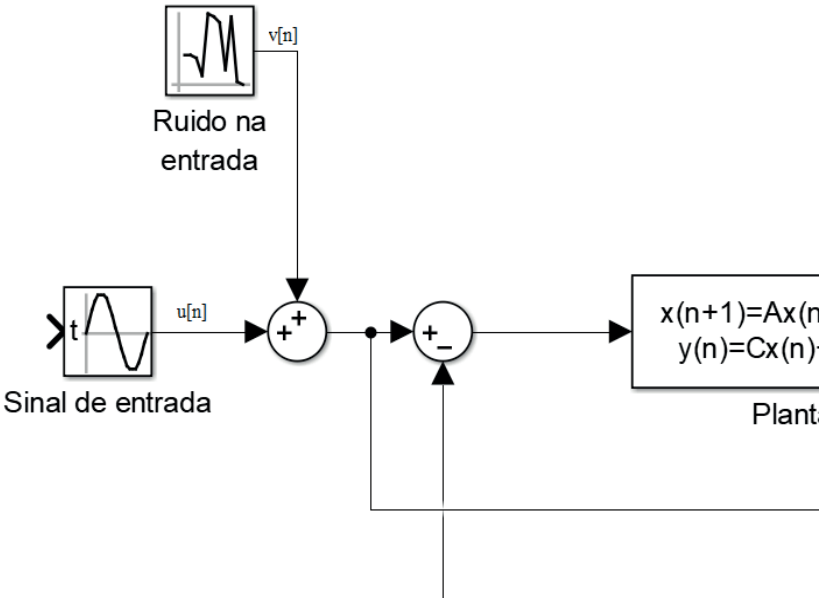
**Figura 3 - Estimador de Estados (posição, velocidade e aceleração)**




Fonte: Autoria Própria (2020)

Utilizando um modelo matemático aleatório com um intervalo de zero a cinquenta segundos pode-se observar na figura 4 um formato de onda senoidal com presença de ruído, após a aplicação do filtro de Kalman é possível analisar a comparação da forma de onda estimada (cor azul) com a extração do ruído utilizando o filtro (cor vermelho).

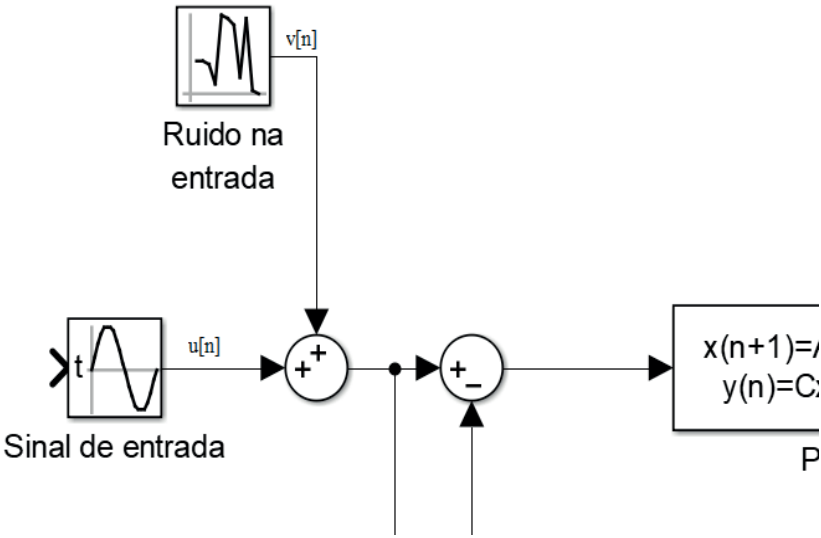
Figura 4 - Extração do ruído de uma senoide




Fonte: Autoria Própria (2020)

Percebe-se que o erro quadrático encontrado no início do sinal real foi sendo reduzido, isto ocorre devido a atualização dos valores a cada feedback no processo, assim fazendo com que a resposta final responda fielmente ao que se foi proposto. O sinal final mostra a fidelidade do projeto, devido ao grau de satisfação de 90 a 98% em relação a sua precisão e exatidão na resposta de filtragem dos ruídos desde o ponto de partida com um ruído na resposta final de aproximadamente 9%. A figura 5 a seguir se refere a esta variação do erro apresentado na figura acima.

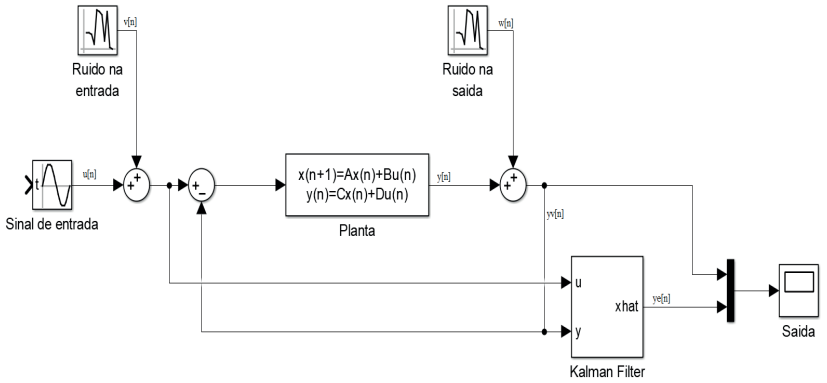
Figura 5 – Gráfico Variação Erro x Tempo




Fonte: Autoria Própria (2020)

O MATLAB é um programa pago que possui versão para teste, uma poderosa ferramenta computacional capaz realizar simulações e possui um ambiente gráfico mais completo chamado de SIMULINK que outros programas similares como o Xcos do Scilab. A programação realizada no MATLAB em comparação ao Scilab não apresenta tantas variações no método de execução, a simulação realizada ocorreu através da tela de comandos juntamente com algumas especificações adicionadas a um circuito na forma de diagrama de blocos, cujo funcionamento do mesmo dá-se a um sinal de entrada u[n] somado a um ruído aleatório v[n], alimentando a planta e o Filtro de Kalman. Em sequência a dinâmica da planta produzirá um sinal de saída y[n] que é somado a um ruído aleatório w[n] também chamado de ruído de medição. Este sinal de saída fecha a malha e alimenta o Filtro de Kalman, por sua vez o filtro calcula através do modelo da planta uma estimativa do sinal. O modelo deste diagrama encontra-se na figura 6.

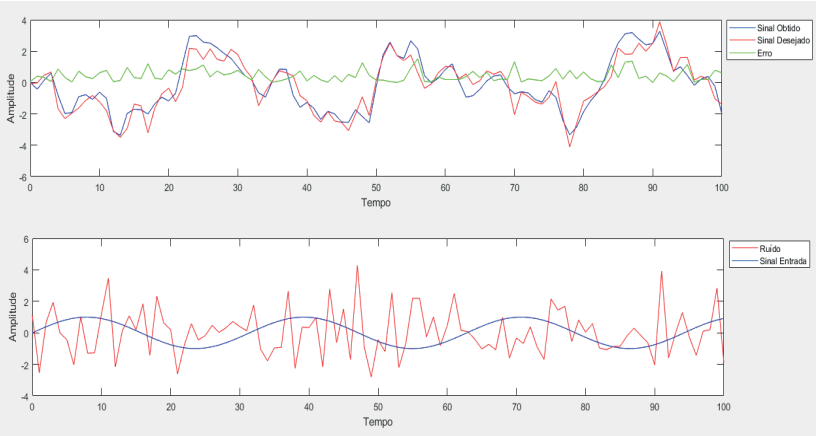
Figura 6 – Diagrama de Blocos




Fonte: Autoria Própria (2020)

Na figura 7 a seguir pode-se observar o sinal de entrada do processo (azul) e o sinal do ruído (vermelho) no segundo gráfico e no primeiro gráfico apresenta-se o resultado real obtido (azul) e o resultado da planta com o filtro (vermelho), assim como o erro (verde). Assim como na simulação realizada anteriormente percebe-se que o erro quadrático encontrado foi sendo reduzido e ajustado ao modelo desejado, pode-se ver que no final do sinal tem-se uma resposta com aproximadamente 90 a 95% do que foi proposto e com uma faixa de 19% de erro no sinal final.

Figura 7 – Comparação dos Resultados




Fonte: Autoria Própria (2020)

## 3 CONCLUSÃO

Através de algumas simulações realizadas no software Scilab-5.5.2 e MATLAB pode-se observar que a utilização do filtro de Kalman para atenuação dos ruídos por meio de simulação é de possível reprodução. Os resultados obtidos referentes ao grau de satisfação em relação a filtragem de ruídos foi de aproximadamente 90 a 95% agregando o fato de que o erro médio total apresentado entre as duas simulações foi de aproximadamente 25%. Levando esta margem de erro em consideração, este filtro poderia ser utilizado por exemplo em uma operação de pintura de carros em uma fábrica de automóveis. Porém alguns ajustes ainda são necessários para uma melhor resposta na filtragem e atenuação desses ruídos caso fosse para utilização em projetos onde seria preciso 100% de precisão e exatidão, pois dependendo do processo ou modelo matemático aplicado será necessário ajustes, tais como: valores dos parâmetro e criação de um novo diagrama de blocos a fim de realizar a satisfação desejada de filtragem dos sinais.

## REFERÊNCIAS

BECKER, Djeily Tamara. **Visão computacional aplicada em um braço robótico antropomórfico didático**. 2017. 18 p. Artigo (MBA em Gerenciamento de Projetos) - Engenheira de Controle e Automação, FGV, Cascavel/PR, 2017

BORN, R.S. **Filtros adaptativos aplicados a sinais biomédicos**. Curso de Bacharelado em Informática - Instituto de Física e Matemática, Universidade Federal de Pelotas, 2000.

CORDEL, Paola Guindani; SANTOS, Max Mauro Dias. Realidade virtual para simulação da manipulação de robôs. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.10, n. 2 ago. 2018.

CRUZ, Sérgio Messias. **Implementação de um filtro de Kalman estendido em arquiteturas reconfiguráveis aplicado ao problema de localização de robôs móveis**. 2013. 98 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2013

DUQUE, Bruno Eduardo Dias *et al*. **A influência da quarta revolução industrial no papel do administrador**. 2017. 14 f. Artigo (Graduado em Administração) - Universidade Salgado de Oliveira, Juiz de Fora, MG, 2017.

FAÇANHA, Tiago S. *et al*. **Filtro de Kalman via programação quadrática**. 2013. 6 f. Dissertação (Departamento de Engenharia de Teleinformática) – Faculdade de Engenharia de Teleinformática, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza/Ceará, 2013.

GREGÓRIO, Bruna Quixaba; SILVA, Giovane Barreto da; MANFIO, Edio Roberto; BUGATTI, Ildeberto de Genova. Estu-

do e projeto de manipulador robótico microcontrolado com seis graus de liberdade. **Revista e-F@tec**, v.6, n. 1, 2016.

LIMONGI, L.R. **Filtros ativos de potência para compensação de harmônicos de corrente e potência reativa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, 2006.

MATOS, Hugo Alexandre Alves. Cirurgia Robótica em ORL. **Uma abordagem ao sistema Da Vinci**. 2017. 48 p. Dissertação (Mestrado Integrado em Medicina) - Faculdade de Medicina Lisboa, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2017.

MCGEE, L.A.; SCHMIDT, S.F. **Discovery of the Kalman filter as a practical tool for aerospace and industry**. National Aeronautics and Space Administration (NASA). 1985.

NASCIMENTO, V.H. **Análise de algoritmos para filtragem adaptativa baseados em momentos de quarta ordem**. Tese (Livre docente do Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2005.

NARDIN, Anderson B.; ROCCO, Evandro M.; KUGA, Hélio K. **Análise de serviços em órbita de satélites com braço robótico e precisão estimada por filtro de Kalman**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317389109_ANALISE_DE_SERVICOS_EM_ORBITA_DE_SATELITES_COM_BRACO_ROBOTICO_E_PRECISAO_ESTIMADA_POR_FILTRO_DE_KALMAN. Acesso em: 20 jul. 2019.

NETO, Adalberto Magalhães Malcher da Silva. **Comparação entre o filtro de kalman e filtro de partículas aplicados na robótica móvel**. 2014. 6 f. Dissertação (Departamento de Sistemas e Controle de Energia) - Faculdade de Engenharia

Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2014

.

VILLARINO, Júlia. **Internet das Coisas:** um desenho do futuro. 2016. Artigo. Administração de empresas – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro/RJ, 2016

SANTOS, Ricardo Sales. Cirurgia torácica robótica: presente ou futuro? **Pulmão**, Rio de Janeiro, v.23, n.1, p. 45-50, 2014.

SEIFFERT, Andreia S. **Os robôs de Asimov e o futuro da humanidade**. 2017. 20 [374-393] p. Tese (Doutorando - Programa de Pós-graduação em História Social) - Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2017.

SMITH, S. W. **The scientist and engineer's guide to digital sinal processing.** 2 ed. United States of America: California Technical Publishing, 1999. 650 p.

TOCCHETTO, Marco Antonio Dalcin. **Estimador de estados para robô diferencial**. 2017. 11 f. Dissertação (Mestrado - Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2017.

ULIANI, M.N. **Filtragem adaptativa de sinais**. Fundação CPqD, Faculdade Politécnica de Campinas. 2010.

# MEDIDAS DE CONTENÇÃO DA INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA NAS REDES PROFIBUS – PA

## MEASURES TO CONTAIN ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE IN PROFIBUS NETWORKS – PA

Felipe Silva Barbosa[1]
Rômulo de Oliveira Lopes[2]
Dener Martins dos Santos[3]
José Maurício Pinheiro[4]

**RESUMO:** A Interferência eletromagnética (EMI) é a energia que causa resposta indesejável a qualquer equipamento devido à sua exposição a campos eletromagnéticos. Os efeitos das EMIs são particularmente preocupantes quando ocorrem em uma rede de comunicação, pois podemos ter falhas no envio e recebimentos de dados entre dispositivos de uma rede de equipamentos que pode afetar significantemente toda uma linha de produção. Considerando que em um ambiente industrial o índice de interferências eletromagnéticas é muito frequente em função do maior uso de máquinas (máquinas de soldas, por exemplo) e motores (CCMs), a probabilidade de ocorrência de EMI nas redes de comunicações se torna imensa. Nesse trabalho são apresentadas as causas e consequências da interferência eletromagnética, e algumas medidas de contenção para melhoria do funcionamento de redes com padrão PROFIBUS-PA.

**Palavras-chave:** Interferência eletromagnética. Redes. PROFIBUS-PA

1 Discente do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Docente Doutor Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
4 Docente Especialista do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**ABSTRACT:** Electromagnetic Interference (EMI) is the energy that causes undesirable response to any equipment due to its exposure to electromagnetic fields. The effects of EMIs are particularly worrying when they occur in a communication network, as we may have failures in sending and receiving data between devices in an equipment network that can significantly affect an entire production line. Considering that in an industrial environment the rate of electromagnetic interference is very frequent due to the greater use of machines (welding machines, for example) and motors (CCMs), the probability of occurrence of EMI in the communications networks becomes immense. This paper presents the causes and consequences of electromagnetic interference, and some containment measures to improve the operation of networks with PROFIBUS-PA standards.

**Keywords:** Electromagnetic interference. Networks. PROFIBUS-PA

## 1 INTRODUÇÃO

A interferência eletromagnética (EMI) é um campo ou onda causada por distúrbio de circuitos internos de equipamentos elétrico-eletrônicos ou causas da natureza que interfiram em equipamentos elétricos. A interferência pode ser gerada de forma proposital ou por acidente e possivelmente irá causar danos aos equipamentos, respostas indesejáveis e performance insuficiente.

A atual conjuntura do meio industrial com vários equipamentos de tecnologias diferentes operando juntas, aliada às insuficientes e incorretas instalações elétricas tornam cada vez mais comuns os problemas que envolvem interferências eletromagnéticas. E os maiores problemas ocasionados por esse campo indesejado são a falhas de comunicação entre dispositivos ligados em redes, a degradação precoce dos equipamentos e até a queima destes.

Um protocolo ou padrão de rede muito utilizado por empresas é o padrão PROFIBUS. É um padrão aberto e independente de

fornecedores, com isso apresenta ampla aplicação em processos industriais, automação predial e manufaturas. Essa tecnologia de redes não está salva das interferências e ruídos. Há meios de minimizar ou até evitar as interferências eletromagnéticas. O aterramento é um forte aliado na luta contra esses ruídos, também há a blindagem em condutores e as instalações adequadas, respeitando os dimensionamentos e distância entre condutores. Este trabalho vem apresentar as causas e consequências da interferência eletromagnética e medidas de contenção para melhoria do funcionamento de redes com padrão PROFIBUS.

## 1.1 OBJETIVOS

Elaborar um estudo com as principais causas e consequências de interferência eletromagnética na indústria e medidas de contenção para a melhoria do funcionamento do padrão de rede PROFIBUS no ambiente industrial. Além disso, citar os principais danos que a EMI causa em redes PROFIBUS-PA; com o conceito de aterramento e sua importância para a redução e blindagem dos efeitos da EMI.

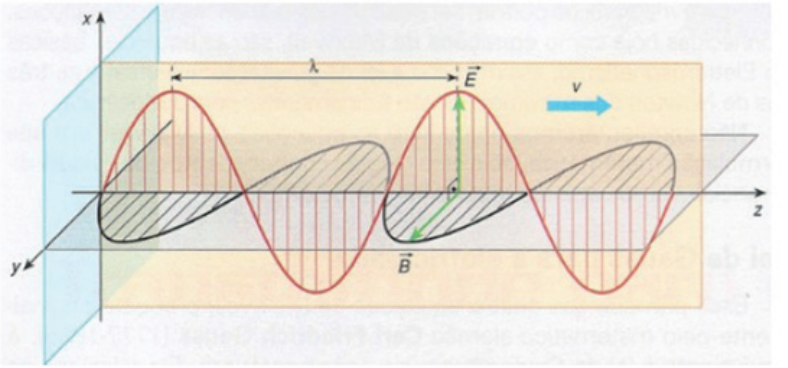
## 1.2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho aborda alguns efeitos danosos das interferências eletromagnéticas no ambiente das redes industriais no padrão PROFIBUS, pois é de muita importância conhece-los para que se possa prevenir e trata-los de maneira correta. E, também se desenvolve uma análise de como, através de equipamentos e alternativas, pode-se obter uma redução contínua das EMI, fazendo que o ambiente das redes industriais com padrão PROFIBUS se torne menos propensos a ruídos e falhas decorrentes de tais ondas eletromagnéticas. É indispensável que os ruídos que interferem nos sistemas de redes sejam devidamente controlados, caso contrário podem se tornar um problema sério mesmo nos mais modernos e melhores instrumentos, dispositivos e máquinas. A escolha pelo estudo acerca da rede Profibus-PA se deve pelo grande uso nas indústrias e aplicação na automação de empresas.

## 2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

A definição de ondas eletromagnéticas pode ser classificada como a combinação de um campo elétrico e um campo magnético. Em uma onda eletromagnética o campo elétrico é gerado pelo campo magnético, que por sua vez, também é gerado pelo campo elétrico, pois uma variação no campo magnético induz um campo elétrico, e vice-versa. Sendo assim, ambos se promovem em uma combinação impecável, como na figura 1.

Figura 1: Onda eletromagnética




Fonte: CASSIOLATO, 2012

Segundo Nasar, a caracterização de ondas eletromagnéticas pode ser dada por parâmetros que incluem:

1. Frequência;
2. Densidade de Potência;
3. Comprimento de onda;
4. Intensidade do Campo Elétrico;
5. Polarização Elétrica

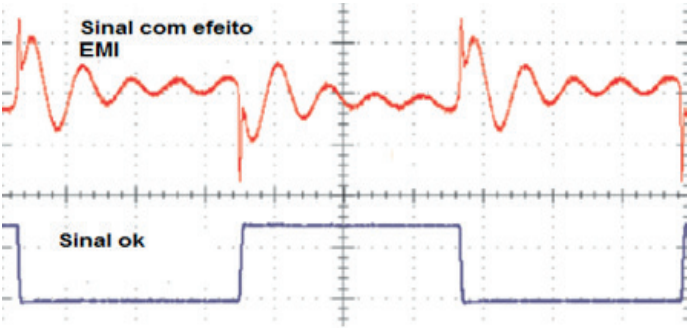
A interferência eletromagnética é um campo ou onda causada

por distúrbio de circuitos internos de equipamentos elétrico-eletrônicos ou causas da natureza que interfiram em equipamentos elétricos. Segundo Pinheiro (2004):

> A EMI (Electromagnetic Interference) ou Interferência eletromagnética é caracterizada por uma degradação no desempenho de um equipamento devido a uma perturbação eletromagnética que é capaz de se propagar tanto no vácuo quanto por meios físicos. (PINHEIRO, 2004 p.2).

Um sinal que é transmitido através de uma rede, por exemplo, pode ser totalmente distorcido quando afetado pela EMI, como mostra a figura 2:

Figura 2: Diferença entre sinal afetado por EMI e sinal Ok




. Fonte: CASSIOLATO, 2012

A interferência eletromagnética está presente em várias áreas, até da vida cotidiana, como comenta Cassiolato (2010), Afirmando que a EMI pode ocorrer dentro de casa quando se liga uma TV e um liquidificador na mesma rede, e cita exemplos de viagens de avião onde é proibido o uso do aparelho celular para se evitar tais interferências. Sanches define EMI como:

> O nome genérico dado a toda energia eletromagnética (ruído elétrico), que cause resposta indesejável em um sistema, é Interferência Eletromagnética, a qual pode ser gerada dentro ou fora de um sistema, de forma natural ou artificial. (SANCHES 2010, p.2).

Keiser (1987) descreveu que uma EMI acontece quando uma determinada energia é deslocada de um sistema para outro causando um comportamento indesejável no receptor dessa energia. E em todos os casos que acontece a EMI. A causa é a combinação entre uma fonte emissora e um receptor sensível. Assim, seria preciso entender o que é Compatibilidade eletromagnética (EMC). Raizer definiu EMC como possibilidade de um sistema eletrônico atuar de forma correta em seu suposto ambiente eletromagnético e não ser a fonte de interferência nesse ambiente. A EMC foi desenvolvida afim de que os dispositivos convivessem em harmonia entre eles, sem necessidade de manter uma certa distância entre um e outro ou alternar horários de funcionamentos. Lima descreveu:

> A Compatibilidade Eletromagnética pode ser definida, objetivamente, como a capacidade de um equipamento funcionar num determinado ambiente eletromagnético de forma correta e esperada, sem interferir ou perturbar os equipamentos próximos a ele ou sem ser perturbado por esses ou outros equipamentos (LIMA, 2013, p.3).

Para isso seria preciso calcular a EMI dos equipamentos ainda na fase de projetos, para se obter uma compatibilidade eletromagnética desejável. Segundo Paul, a EMC não é apenas para obter-se um bom desempenho funcional, mas também para obedecer a requisitos legais em praticamente todos países do mundo antes de ser comercializado. Afinal, desconsiderar interferências pode não apenas gerar falhas inconvenientes, mas também oferecer risco de vida, em certas ocasiões. (PAUL, 2006)

Sanches (2010) também dissertou sobre a importância da compatibilidade eletromagnética nos diversos tipos de equipamentos e atuações, dizendo que a EMC é um fator crítico no projeto e na utilização dos equipamentos sujeitos a ruídos, principalmente nos que envolvem vidas e altos valores comerciais, como médicos, militares, espaciais e industriais.

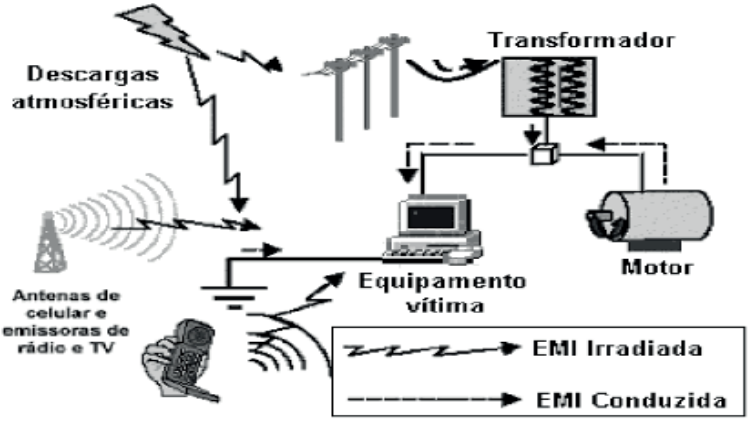
Pinheiro (2016) afirmou que um equipamento é declarado como compatível eletromagneticamente quando não causa interferência em outros equipamentos e nem em si próprio e tem imunidade as emissões de outros equipamentos. A tabela 1 destaca a estrutura básica da EMI/EMC.

As fontes ou origens da EMI podem ocorrer de chamadas fontes naturais e artificiais (ou não-naturais). Sanches (2010) exemplificou fontes naturais, também chamada por ele de interferência entre sistemas. Nessa situação um sistema irá interferir em outro, tais como as fontes naturais de interferência. Descargas atmosféricas, radiações cósmicas ou solares, entre outros. A figura 3 mostra condições do ambiente interferindo em um computador pessoal.

Tabela 1: Estrutura básica da EMI/EMC

| **EMC** | |
|---|---|
| **EMISSÃO** | **IMUNIDADE** |
| Conduzida | Descarga eletrostática |
| | Transientes Elétricos Rápidos (Burst/ Electrical Fast Transient - EFT) |
| | Variação e interrupção de curta duração da tensão de alimentação (Dip/Interruption) |
| | Campo magnético de baixa frequência (50/60 Hz) |
| Irradiada | Campo magnético de baixa frequência (50/60 Hz) |
| | Campos eletromagnéticos de rádiofrequência irradiados |
| | Distúrbios conduzidos, induzidos por campos de rádiofrequência |

Figura 3: Interferência entre-sistemas




Fonte: SANCHES, 2010

Outro fator gerador de EMI são as fontes não-naturais. Segundo Pinheiro (2004), podem se originar dentro ou fora do ambiente predial em acionamentos de cargas indutivas como transformadores e motores elétricos, cargas resistivas como lâmpadas fluorescentes, aquecedores, equipamentos médicos, aparelhos de microondas, equipamentos de comunicação móvel, entre outros. Cassiolato (2013) colocou fontes de alimentação como principais geradoras de interferências no ambiente industrial:

> A fonte de ruído mais comum é constante, é aquela causada por uma fonte de alimentação 50/60 Hz. Alimentação é o componente de ruído mais comum porque é uma tensão oscilante, tem alta potência e tem um sistema de antena enorme (CASSIOLATO 2013, p.2).

A Figura 4 mostra exemplos de algumas fontes de EMI. A Tabela 2 mostra as fontes de radiação eletromagnéticas.

Figura 4: Exemplos de fontes de EMI







Fonte: MARTINO, 1982; SILVA, 2009

Tabela 2: Fonte de radiação eletromagnética

| Naturais | | Artificiais | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Extra-terrestre (baixa energia) | Terrestre (Alta energia) | Intencionais | | Intencionais | |
| Explo-sões solares<br><br>Ruído cósmico | Des-cargas eletros-táticas | Fontes fixas | Fontes móveis | Energia elétrica | Equipamentos industriais, médicos e de consumo |
| | | Rádio AM FM<br><br>TV UHF/ VHF<br><br>Rada-res<br><br>Enlaces digitais | Tele-fones celula-res<br><br>Walkie--Talkie<br><br>Servi-ços de comuni-cações móveis | Linhas de trans-missão de alta tensão<br><br>Transfor-madores<br><br>Gerado-res | Máquinas in-dustriais<br><br>Eletrodomés-ticos<br><br>Máquinas de solda<br><br>Equipamentos de informática<br><br>Equipamentos médicos |

Fonte: ABRICEM, 2000

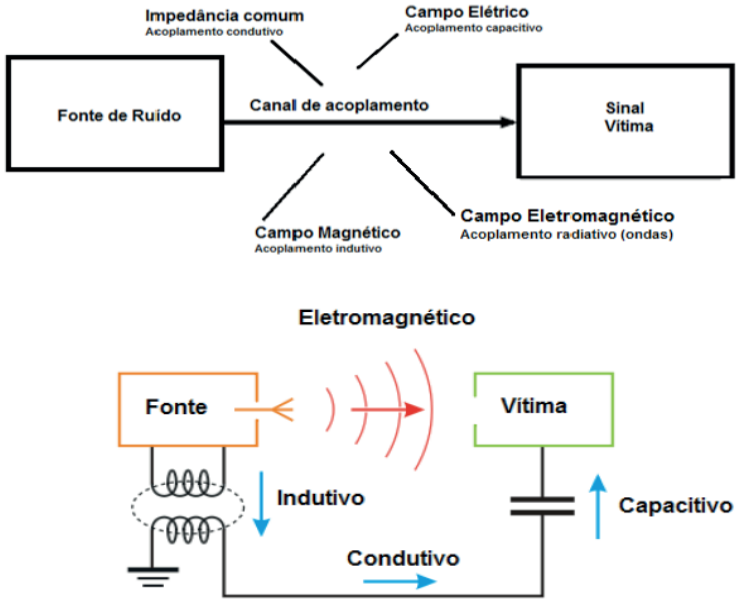
## 2.1 EMI NA INDÚSTRIA

A EMI tem sido grande vilã dentro das indústrias, pois torna-se cada vez mais presente, pois está associado a diversidade de equipamentos e incorretas instalações. A convivência de equipamentos em diversas tecnologias diferentes somada à inadequação das instalações facilita a emissão de energia eletromagnética e com isto é comum que se tenha problemas de compatibilidade eletromagnética. (CASSIOLATO, 2012)

Pinheiro (2004) afirmou que uma das principais causadoras de disfunções nos equipamentos e distúrbios das transmissões de dados em redes é a interferência eletromagnética. A constância da EMI nas áreas industriais devido ao uso elevado de máquinas e motores e redes próximas a essas áreas. Os problemas mais habituais encontrados na indústria devido a EMI seriam o desgaste gradual dos equipamentos e componentes que ficam sujeitos a falhas intermitentes. Alarmes gerados sem motivo, falhas na comunicação de redes, circuitos atuando com a lógica de programação incorreta e até mesmo queima de alguns componentes e/ou circuitos eletrônicos.

Todo e qualquer ambiente industrial contem ruídos elétricos em fonte, tais como por exemplo, sinais de rádio, linhas de energia AC, máquinas e estações, entre outros. Mas graças a alguns recursos e técnicas, muita das vezes até simples, é possível obter uma redução considerável ou até eliminação de EMI em alguns ambientes industriais. Dado a importância desse tratamento para a conservação dos equipamentos, pois a redução da EMI irá minimizar custos iniciais e futuros problemas de funcionamento em qualquer sistema. A figura 5 mostra tipos de acoplamento gerado ruídos em instalações industriais.

Figura 5: Tipos de acoplamento gerando ruído em instalações industriais.




Fonte: (Cassiolato, 2010)

## 2.2 REDES PADRÃO PROFIBUS

As redes para automação industrial se encontram cada vez mais presentes nas empresas, devido aos fatores técnicos e econômicos que os tornam uma tecnologia vantajosa e atraente, os fatores principais são avanço da eletrônica, a engenharia de software e miniaturização de componentes e peças, tornando assim componentes inteligentes com bom desempenho e baixo custo de fabricação. (CASTRUCCI, 2007)

O desenvolvimento de sistemas de operação em tempo real, técnicas de orientação a objetos , assim como ferramentas de modelagem e simulação possibilitou desenvolver sistemas de automação compostos por uma série de sensores, atuadores, controladores e outros dispositivos conectados entre si por uma rede, essas ferramentas se tornam muito atraentes devido seu baixo custo, grande confiabilidade, melhor desempenho e facili-

dade de compreensão comparada aos sistemas utilizados anteriormente com CLP. (ALBUQUERQUE E ALEXANDRIA, 2009).

Rede pode ser definida como um elemento físico que interliga componentes de um sistema. No ambiente industrial a rede é a responsável pela comunicação entres máquinas e entre máquinas e usuários. Na década de 80 houve um aperfeiçoamento nas funções de comunicações dos computadores lógicos programáveis (CLP). Foram trocadas as redes paralelas pela comunicação serial visando a diminuição de cabos e troca de comandos mais facilmente. Com um único cabo é possível a troca de informações entre CLP, sensores e atuadores. A figura 6 é um exemplo de painel com CLP ligado a uma rede industrial. (CASTRUCCI, 2007)

Figura 6: Painel com CLP ligado a uma rede industrial



Fonte: CASTRUCCI, 2007

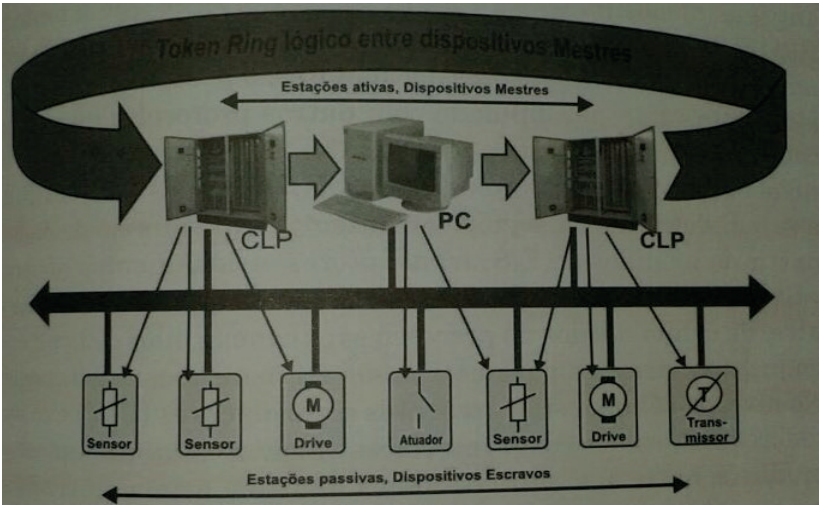
Uma das vantagens das redes industriais é possuir tempo de varredura, a mesma também é conhecida como redes determinísticas, ao contrário da rede de computador que não possui tempos exatos para o trafego das informações. Outras vantagens das redes indústrias é a redução do custo total (um cabo simples em vez de vários multicabos), aumento da flexibilidade

e capacidade da planta (um único cabo para todos os sinais, mesmo cabo tanto para I/O como para dispositivos inteligentes). (CASTRUCCI, 2007)

## 2.3 Padrão PROFIBUS

O PROFIBUS é um sistema de rede de comunicação industrial aberto e possui aceitação universal, utilizado no controle de processo na indústria e a automação predial. PROFIBUS é um padrão internacional aberto do Fieldbus, sua total independência de fabricantes e sua padronização são garantidas pelas normas EM 50170 e EM 50254 e pelo padrão IEC 61158. Com o PROFIBUS dispositivos de diferentes fabricantes podem comunicar-se sem a necessidade de ajustes especiais. Na figura 7 é apresentado um exemplo de rede PROFIBUS interligando sensores e motores aos PC e CLPs.

Figura 7: Interligação de Rede PROFIBUS com CLPs, sensores e atuadores

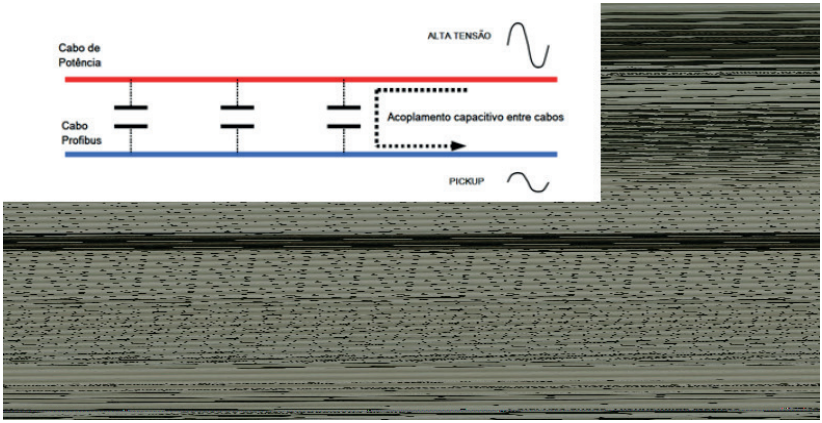



. Fonte: ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2009

O PROFIBUS pode ser aplicado em tarefas complexas e extensas de comunicação ou em aplicações com transmissão de informações em alta velocidade. De acordo com a aplicação existem atualmente três tipos físicos de comunicação disponíveis no PROFIBUS, RS485, Manchester (similar à rede AS-I) ou fibra óptica. (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2009)

O PROFIBUS pode ser configurado como um sistema multimestre e permite a operação conjunta de diversos sistemas de automação, engenharia ou visualização, com seus respectivos dispositivos periféricos. O PROFIBUS diferencia seus dispositivos entre mestres e escravos em que os controladores são descentralizados e estão ligados em rede no chão de fábrica. Os dispositivos mestres determinam a transmissão de dados no barramento, emitem mensagens sem uma requisição externa, também são chamados de estações ativas no protocolo PROFIBUS. Os dispositivos escravos são dispositivos periféricos, tais como dispositivos de entrada/ saída, válvulas, sensores e transmissores de medidas e não tem direito de acesso ao barramento e só podem enviar mensagens ao mestre ou reconhecer mensagens recebidas quando solicitados. Na figura 8 é Ilustrada a troca de mensagens no protocolo PROFIBUS.

Figura 8: Mensagens de Protocolo PROFIBUS.



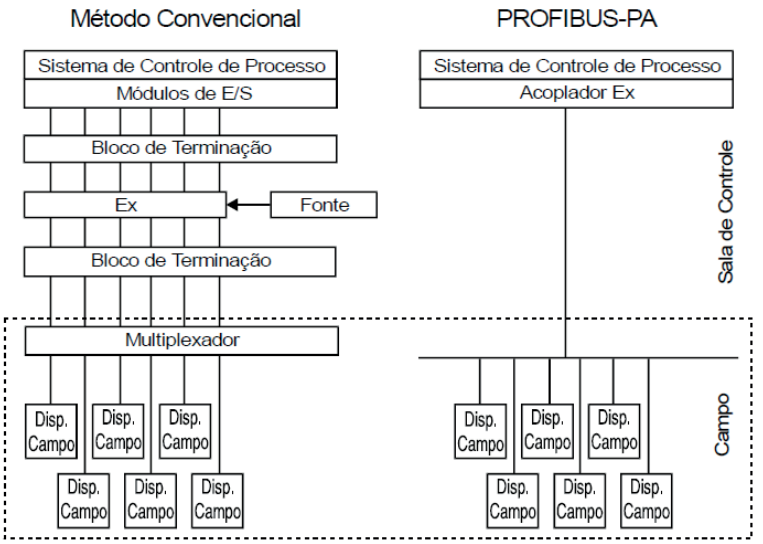

Fonte: ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2009

O PROFIBUS PA foi desenvolvido para processos de automação. O PROFIBUS PA estabelece conexão entre sistemas de automação e sistemas de controle de processo com os instrumentos analógicos (sensores de pressão ou temperatura, por exemplo). OPROFIBUS PA pode ser utilizados em sistemas de transmissão de sinais de 4 a 20 mA. O uso deste protocolo aos planos de cabeamento, comunicação e manutenção permitem economias de custo de 40%, além de aumentar a funcionalidade e a segurança. (ALBUQUERQUE E ALEXANDRIA, 2009)

Comparando a instalação PROFIBUS convencional e a o PROFIBUS-PA quanto a cablagem, pode-se perceber que entre os dispositivos de campo e o multiplexador a estrutura é basicamente a mesma. Porém se os pontos de medidas estão muito distribuídos, o PROFIBUS-PA requer menos cablagem. Lidando com o arranjo costumeiro de fiação, cada linha de sinal deve ser conectada a cada módulo de E/S do sistema de controle. (ALTUS, 2013)

O sistema que utiliza a rede PROFIBUS convencional exige uma fonte de alimentação particular para cada dispositivo. Ao utilizar o PROFIBUS-PA só uma única linha de fios é necessária para as transmissões, tanto de informação, quanto de energia para os dispositivos de campo. (ALTUS, 2013). A figura 9 mostra as comparações técnicas de transmissão do método convencional para o padrão PROFIBUS-PA.

Figura 9: Comparações técnicas de Transmissão




Fonte: ALTUS, 2013

No padrão PROFIBUS-PA uma única linha de dois fios proporciona o controle, medidas e regulação do campo. Permite também a alimentação de dispositivos em áreas peculiarmente seguras. O PROFIBUS-PA é indicado, também, para áreas potencialmente explosivas, pois permite a manutenção e a conexão ou desconexão de dispositivos em operação, sem afetar as outras estações em tais áreas. (ALTUS, 2013)

## 2.4 PROFIBUS-PA

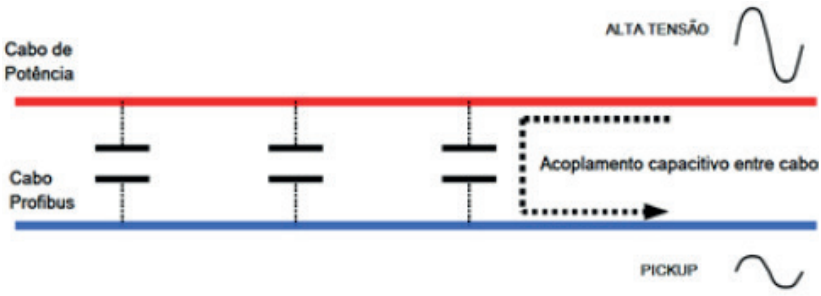
O objetivo principal das redes PROFIBUS-PA, assim como outros padrões de redes, é a troca de informações ou troca de dados entre equipamentos. Para garantir a segurança operacional de uma planta é de suma importância que esses dados não sofram distorções. O ideal é manter a integridade desses dados tanto no envio, transporte e recebimento dos mesmos.

Para isso devemos manter a rede salva da interferência eletromagnética.

Uma das mais comuns e ameaçadoras interferências estão ligadas ao cabeamento. Desde a fase de comissionamento de projetos deve-se levar em conta esse quesito, pois a construção e características dos equipamentos que farão parte do projeto estão ligados diretamente às possíveis interferências no futuro. As interações com outros elementos de rede, como conectores, terminais e outros cabos, juntamente com as condições do ambiente da área de atuação irão ditar qual será o grau de interferência que um cabeamento PROFIBUS-PA poderá sofrer.

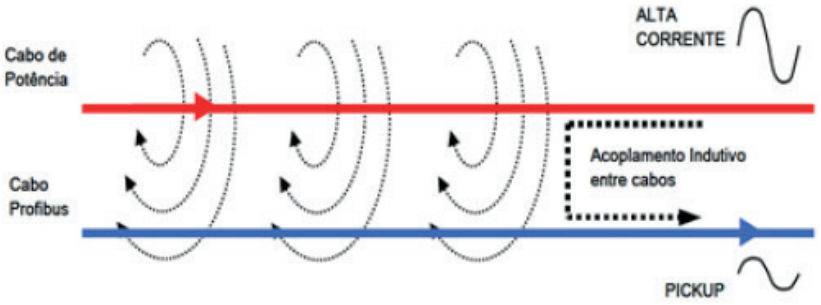
Cabos PROFIBUS próximos a cabos de energia apresentam efeito indutivo e capacitivo, isso devido ao fenômeno de acoplamento eletromagnético. Esse efeito gera tensão ou corrente (também chamadas de pick-ups eletrostáticas) em seus terminais e essas perturbações causam interferência nos equipamentos resultando em falhas na operação dos mesmos. (NASCIMENTO, 2003). A figura 10 exemplifica o acoplamento capacitivo entre cabos e a figura 11 mostra a ação do campo magnético através do acoplamento indutivo entre cabos. A figura 12 demonstra graficamente os efeitos que a interferência eletromagnética, ruídos, distorções, influencias do próprio circuito e atenuações podem causar no sinal. Um sinal dito “limpo” é enviado da fonte e ao chegar no destino pode chegar totalmente distorcido trazendo consequências graves para segurança da operação.

Figura 10: EMI entre cabos: o acoplamento capacitivo entre cabos induz transientes (pick-ups) de tensão



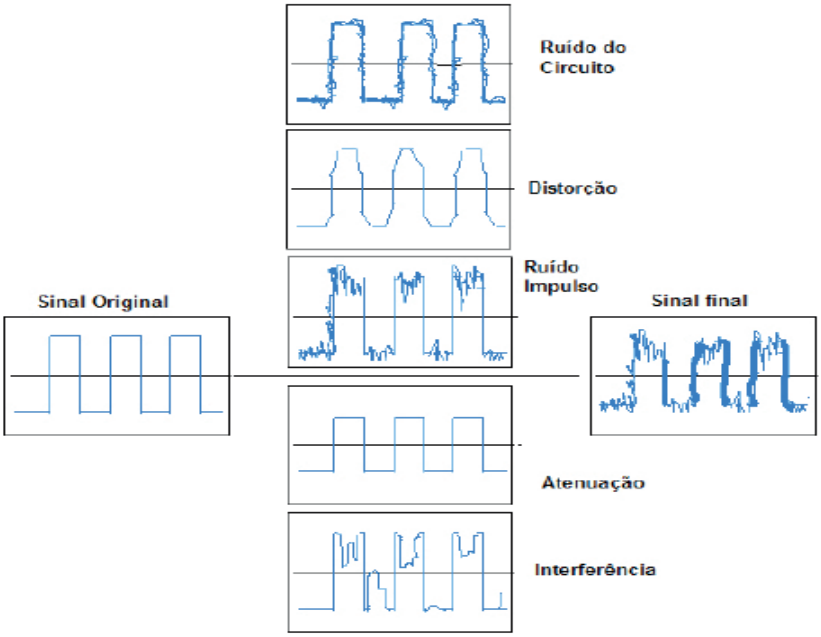

Fonte: CASSIOLATO, 2010

Figura 11: EMI entre cabos: campos magnéticos através do acoplamento indutivo entre cabos induzem transiente de corrente




Fonte: CASSIOLATO, 2010

Figura 12: Interferências que o sinal pode sofrer ao longo do cabeamento.




Fonte: CASSIOLATO, 2010

A consequência desse distúrbio no sinal final, quando afetado pela interferência gera resultados desagradáveis, tais como:

1. Funcionamento irregular do equipamento;

2. Falha na comunicação entre equipamentos e computadores;

3. Falha de um item de segurança crítico do equipamento, que pode comprometer o próprio equipamento ou até a vida dos envolvidos;

4. A parada de alguma operação sem motivo aparente;

5. A não execução de uma função do equipamento que pode gerar um grave acidente;

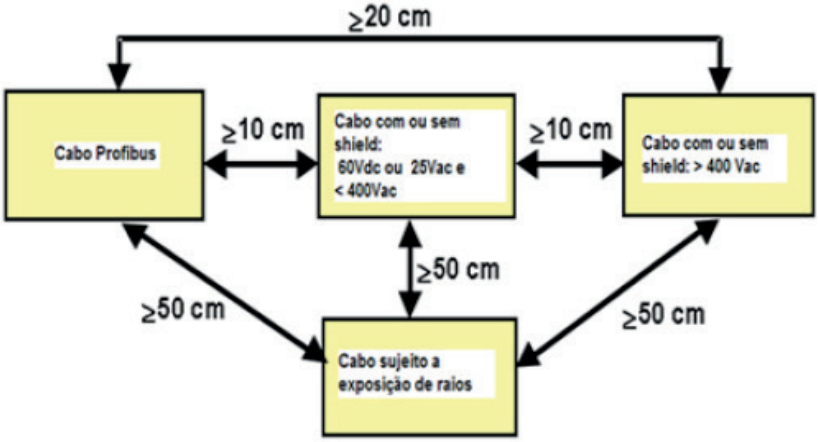
6. Alarmes podem ser gerados sem explicação;

7. Relés podem atuar sem seguir a sequência lógica determinada, culminando assim em resultados catastróficos na produção.

Durante a fase de instalação do cabeamento, um estudo aplicado deve ser feito para que sejam utilizadas as corretas formas de instalação e materiais específicos para tal caso, tendo em vista que as perturbações podem ser provenientes de ondas eletromagnéticas externas ou outros cabos próximos que transmitem outra forma de energia ou sinal dentro da mesma canaleta. (PINHEIRO, 2004)

Os sinais digitais transmitidos através dos cabos podem ter o desempenho afetado por algumas circunstâncias a que se deve atentar no projeto e utilização, como enfraquecimento do sinal transmitido, ruídos de linha (gerado por uma fonte eletromagnética), ruídos provenientes de cabos de potência, diafonia, entre outros. Cabos relativamente curtos também podem ser causa de danos à alguns equipamentos quando estes forem equipamentos sensíveis. Quanto maior a distância entre cabos menor o risco de se obter interferências. Para isso é recomendado uma distância mínima entre os cabos, como ilustrado pela figura 13.

Figura 13: Distância recomendada entre cabos.




Fonte: CASSIOLATO, 2010

Existe também uma modalidade de cabos especiais, que trabalham em instalações com inversores e motores AC, afim de diminuir os efeitos de ruídos eletromagnéticos gerados por esses equipamentos. Tais cabos são utilizados para evitar o chamado efeito corona de descargas, que degradam a rigidez da isolação do cabo. Uma vez esse isolamento afetado ondas estacionárias começam a atuar na malha e ruídos são transmitidos para o circuito terra. Há cabos especiais com dupla blindagem que são mais eficientes na batalha contra a EMI. O cabo utilizado no barramento para redes padrão PROFIBUS tem suas características próprias, ditadas pela norma EN50170, como mostra tabela 3.

Tabela 3: Características recomendadas para Cabo PROFIBUS

| CARACTERÍSTICAS | ESPECIFICAÇÕES |
|---|---|
| Impedância | 135 a 165 Ohms |
| Capacitância | < 30 Pf/m |
| Resistividade | 110 Ohms/km |
| Bitola do fio | 0.64mm |
| Área do condutor | > 0.34mm² |

Fonte: ALTUS, 2013

Existem aparelhos específicos que são utilizados para detectar a EMI em um circuito. Há no mercado empresas especializadas na medição de interferências magnéticas e identificação de suas respectivas fontes, esta última é a mais importante. Para se alcançar um aspecto EMC no circuito, é necessário encontrar a fonte de perturbação eletromagnética, o dispositivo de acoplamento que liga a fonte de perturbação ao circuito e a chamada vítima, que nada mais é que o circuito afetado. Com essas identificações é possível iniciar um estudo de solução do problema, trabalhando sobre um ou mais desses elementos citados para alcance da diminuição dos ruídos indesejados ao circuito. (PINHEIRO, 2005)

## 3 METODOLOGIA

O dicionário Aurélio define como terra um cabo elétrico ou haste condutora, que se enterra no solo, e constitui massa condutora com potencial zero ou ainda um corpo condutor arbitrariamente considerado com potencial elétrico zero (AURÉLIO, 2001). Tecnicamente pode ser explicado como condutores enterrados no solo, que com uma impedância muito próxima de zero, fazem ligação com um circuito elétrico. Em outras palavras, aterramento pode ser considerado uma

“fuga” para a energia não utilizada, como consequência, uma proteção aos usuários do equipamento de descargas atmosféricas e auxílio no funcionamento dos dispositivos de proteção. (PEREIRA, 2008).

Aterramento é de suma importância para o correto funcionamento dos equipamentos, pois ele exerce simultâneas funções como segurança pessoal aos usuários, fornece um caminho seguro de baixa impedância para terra, estabilizar a tensão durante transitórios provocados no sistema por conta da falta para terra, desenergizar as estruturas de eventuais cargas estáticas acumuladas e minimizar efeitos da EMI, este último é objeto principal desse trabalho. A figura 14 mostra um exemplo de haste de aterramento. (CASSIOLATO, 2014)

Figura 14: Haste com cabo de aterramento



Fonte: VISACRO FILHO, 2010

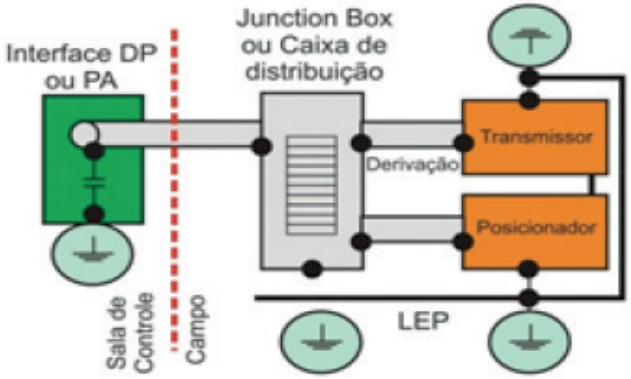
No meio industrial há equipamentos que são caracterizados como Equipamentos eletrônicos Sensíveis (EES). Exemplo destes, são os Controladores Lógicos Programáveis (CLP’s), Computadores, sistemas de controle de processos, entre outros.
Para obter um funcionamento correto desses equipamentos no meio industrial é necessário um sistema de aterramento eficaz. (COGO; MONTEIRO, 1995). Visacro Filho (2010), afirmou que

o aterramento correto pode atuar como componente essencial para minimizar efeitos da EMI.

Um bom funcionamento da rede a ligação correta do aterramento é considerado um item importante, as principais causas de mau funcionamento de redes nas indústrias são devido a aterramentos indevidos. Para prevenir loops de terra a rede PROFIBUS deve ser aterrada em apenas um local, preferencialmente onde está a alimentação da rede, e neste ponto deve ser conectado o fio *shield* do cabo ao negativo da fonte. Caso haja mais de uma fonte, essa ligação deve ser feita somente no ponto de aterramento. (LUGLI; SANTOS, 2010)

O *shield* também deve ser aterrado, afim de evitar ruídos de alta frequência. De preferência e se possível for, melhor que seja aterrado em dois pontos do barramento, no início e no final, contanto que não haja diferença de potencial entre esses pontos. Caso ocorra essa diferença de potencial a corrente de loop pode interferir no circuito, então o recomendado é que o *shield* seja aterrado ou na fonte de alimentação ou na barreira de segurança intrínseca. (CASSIOLATO, 2014). Na figura 15 é ilustrada uma instalação com aterramento do *shield* capacitivo adequada a EMC.

Figura 15: Instalação adequada a EMC com aterramento do shield capacitivo




. Fonte: CASSIOLATO, 2010

Em resumo, de forma geral, pode-se empregar tais formas de aterramento do shield:

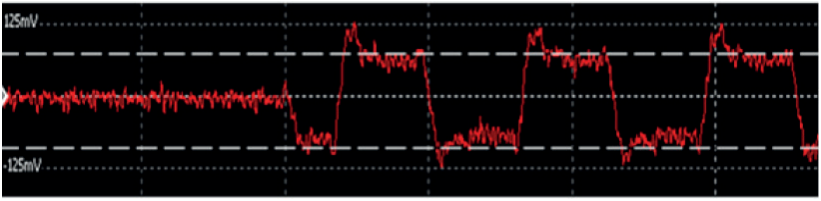
1. Aterramento do shield somente em uma extremidade, do lado do coupler PA, no negativo da fonte que alimenta o coupler PA e que é aterrado no painel;

2. Aterramento capacitivo de um lado do shield (do lado do coupler PA, no negativo da fonte que alimenta o coupler PA e que é aterrado no painel) e no outro lado conexão do shield ao terra: - Cerâmico, < 10 nF, isolação > 1500V;

3. Aterramento do shield nas duas extremidades (somente nos casos onde a diferença em tensão, entre ambos os extremos for no máximo de 1 V (rms) para que os efeitos dos loops de terra sejam minimizados)

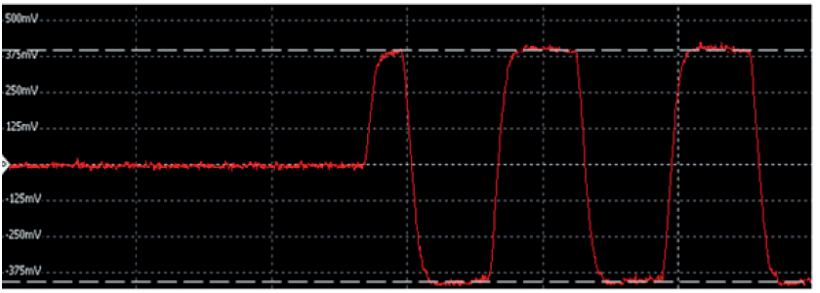
A figura 16 mostra o resultado do sinal onde o *shield* foi aterrado em diversos pontos, na carcaça de diversos componentes PROFIBUS-PA. Neste caso o sinal foi enfraquecido e sofreu forte ruído. Na figura 17 o sinal exibido é resultado do aterramento do *shield* em um único ponto, no caso, esse ponto no terra do painel (no *coupl*er PA). (CASSIOLATO, 2014)

Figura 16: Sinal PROFIBUS-PA com shield aterrado na carcaça do equipamento.




Fonte: CASSIOLATO, 2014

Figura 17: Sinal PROFIBUS-PA com shield aterrado somente em um ponto




Fonte: CASSIOLATO, 2014

A respeito de baixas frequência, considerando níveis de Corrente contínua até 1MHz, é possível se obter um retorno satisfatório na redução da EMI com uma única extremidade do cabo aterrada. No caso das frequências mais altas o ideal é que ambas extremidades da blindagem do cabo sejam aterradas, com a condição de que não haja uma grande diferença de potencial (ddp) entre essas extremidades e ocorra os efeitos de loop de terra. O valor máximo dessa ddp deve ser de 1 Volt (rms).

A confiabilidade do funcionamento das redes, incluindo a ausência da EMI, é também associada ao transporte de informações de comando/controle. A correta infraestrutura de transporte de cabos está diretamente ligada a essa confiabilidade. Há detalhes que podem apresentar melhorias altíssimas na qualidade dos sinais PROFIBUS. (BARBOSA, 2009)

Algumas das finalidades das canaletas metálicas é a blindagem eletromagnética, condução das correntes de surto, segregação de cabos e proteção mecânica dos mesmos, além da facilidade de manutenção. É muito comum que os cabos de rede PROFIBUS sejam instalados em canaletas paralelamente a outros cabos, como de potência, estando sujeito a interferências. Por tal motivo é de suma importância a observação de cuidados na fase de instalação para que tais efeitos de EMI sejam minimizados ou eliminados.

Três são os principais materiais usados na fabricação de canaletas: plástico, aço e alumínio. Este último é o que apresen-

ta uma melhor blindagem eletromagnética interna e externa, como mostrado na tabela 4.

Tabela 4: Característica dos Materiais usados em canaletas

| | |
|---|---|
| PLÁSTICO | Excelente isolante elétrico, porém, não oferece uma proteção contra campos magnéticos |
| ALUMÍNIO | Não oferece proteção elétrica, pois é um bom condutor, mas oferece uma blindagem eletromagnética |
| AÇO (ZINCADO OU PINTADO) | Não oferece proteção elétrica por ser um mau condutor, mas proporciona uma boa blindagem eletromagnética |

Fonte: PINHEIRO, 2004

Testes realizados em sistemas estruturados usando uma mesma infraestrutura de passagem de cabos de energia juntamente com cabos de sinal demostraram que o desempenho da rede lógica sofre uma perda sensível, principalmente quando foram utilizadas as canaletas e dutos de plástico. (PINHEIRO, 2004)

Segundo Faraday, um campo magnético variável pode criar uma corrente elétrica que por sua vez gera um campo eletromagnético contrário ao que lhe deu origem. Esse efeito ocorre quando se é utilizado canaletas de alumínio, diminuindo assim, consideravelmente as interferências nesse ponto. Além disso, devido as características de sua condutibilidade elétrica, as canaletas de alumínio são praticamente imunes as correntes de Foucaut. Já em análise as canaletas de plástico nenhuma atenuação quanto as interferências foram encontradas, concluindo que o plástico não interfere em campos eletromagnéticos. (PINHEIRO, 2004)

A partir da correta instalação das canaletas de alumínio, o campo elétrico, quando adentra nesse local produz um fluxo

magnético variável em função do tempo, como demonstrado na equação 01:

$$f = a.\ sen(w.t) \quad \textbf{(01)}$$

Assim, tem-se uma f.e.m (força eletromotriz) induzida, equação 02:

$$E = -df/dt = a.w.cos(w.t) \quad \textbf{(02)}$$

Logo entendemos que, essa f.e.m induzida será maior em frequências altas, gerando um campo magnético maior e irá, quase que completamente, anular o campo magnético gerado pelo cabo de potência. O efeito gerado pelas bandejas metálicas frente a incidência de ondas eletromagnéticas é esse, elas geram seus próprios campos que anulam ou minimizam campos através dela. Funcionando como uma gaiola de Faraday. (CASSIOLATO, 2010)

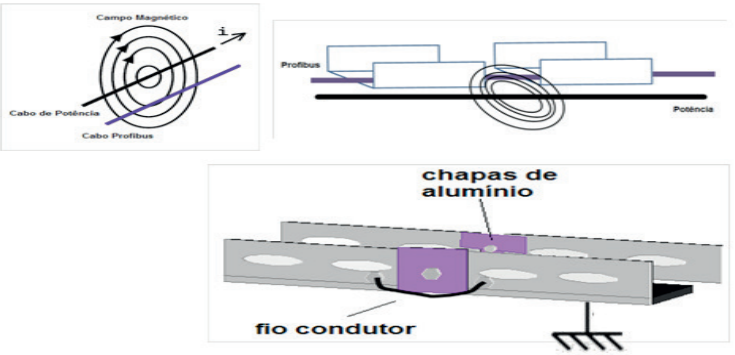
É importante que as canaletas metálicas sejam contínuas, sem espaçamento entre elas, pois estando elas separadas facilita a perturbação gerada pelo campo magnético e a diferença de potencial entra cada segmento da canaleta. Havendo uma descarga atmosférica ou um curto, por exemplo, a corrente não poderá circular através da canaleta de alumínio devida a descontinuidade, como consequência não protegerá o cabo PROFIBUS.

O ideal é que os segmentos das canaletas sejam unidos entre eles com chapas do mesmo material das bandejas e aderindo a maior área de contato possível entre os segmentos, o que garantirá uma maior proteção contra indução eletromagnética. Verificar também se há proteção adequada contra corrosões após a instalação.

Além das chapas para junção deve-se ter um fio condutor de cada lado das canaletas interligadas com o menor comprimento possível (conforme figura), para garantir um caminho alternativo à corrente, se houve, por alguma eventualidade, um aumen-

to na resistência das junções. A figura 18 mostra a ilustração de campos magnéticos nas chapas de alumínio.

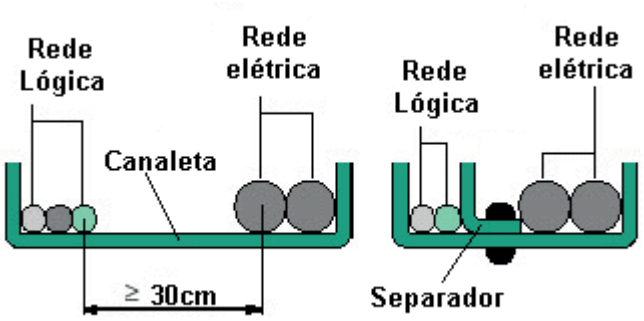
Figura 18: Chapas de alumínio entre as canaletas e ilustração do campo magnético. Fonte: (CASSIOLATO, 2004)




## 3.1 NORMA

A Norma NBR-5410 no item 9.2.9.5 denota que circuitos de sinal e de energia podem ocupar a mesma canaleta, porém é necessário que haja uma separação entre os compartimentos da instalação. No item 4.2.7.2 a norma é clara ao relatar que esses componentes que compõem a canaleta, mesmo que em compartimentos separados, devem atender as exigências de compatibilidade eletromagnética. A figura 19 mostra o cuidado com cabos de energia e lógicos na mesma canaleta.

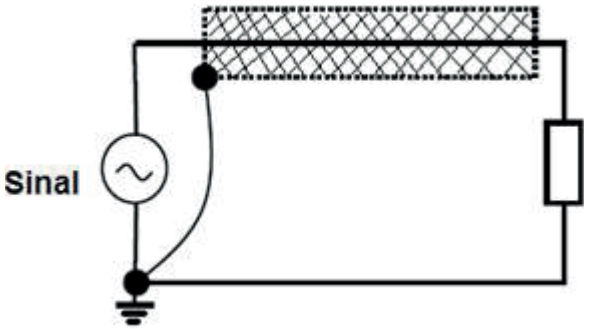
Figura 19: Exemplos de cabos de energia e lógicos na mesma canaleta




Fonte: PINHEIRO, 2004

A blindagem é um quesito que tem por finalidade garantir a integridade dos dados de uma planta. É muito comum na prática encontrarmos funcionamento intermitente e erros grosseiros em medições devido às más instalações. A blindagem de cabos é utilizada para eliminação de interferências causadas por acoplamento capacitivo que nascem de campos elétricos. A blindagem (*shield*) deve ser conectada ao potencial de referência do sinal que está protegendo, conforme figura 20.

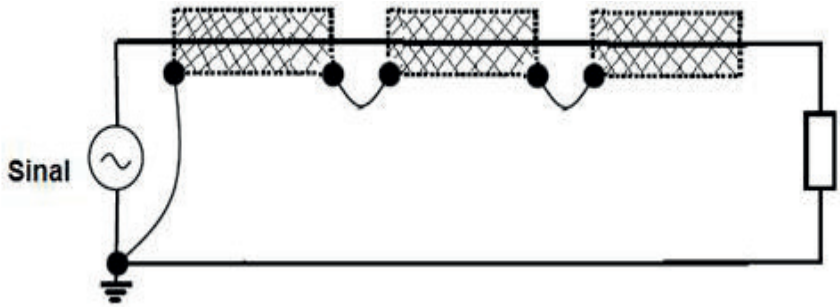
Figura 20: Blindagem conectada ao potencial de referência do sinal que está protegendo.




Fonte: CASSIOLATO, 2010

Quando se tem múltiplos segmentos deve-se mantê-los conectados, garantindo o mesmo potencial de referência, conforme a figura 21.

Figura 21: Blindagem me múltiplos segmentos conectada ao potencial de referência do sinal que está protegendo.




Fonte: CASSIOLATO, 2010

Algumas considerações devem ser atentadas:

1. A eficiência da blindagem só é eficaz quando o caminho para terra é estabelecido por uma baixa impedância;
2. Blindagem flutuante não protege contra interferências;
3. A malha de blindagem deve ser conectada à terra do circuito que está sendo blindado;
4. Pode haver problemas ao aterrar a blindagem em mais de um ponto;
5. O uso de metais não magnéticos ao redor de condutores não blinda contra campos magnéticos.

Outro ponto a se destacar é a questão do comprimento da ligação blindagem-referencia (terra), que deve ser o menor possível, para evitar a formação de espiras, ais quais podem atuar

como uma bobina. Para baixas frequências é recomendado o uso de cabos trançado blindado.

## 4 CONCLUSÕES

O estudo da Interferência Eletromagnética (EMI) tem grande importância com o avanço das tecnologias de comunicação nas redes industriais devido ao aumento de equipamentos eletrônicos que emitem radiações eletromagnéticas muitas vezes não conhecidas, coabitando com outros equipamentos muito susceptíveis. Quando a emissão de EMI ultrapassa determinados limites na infraestrutura da rede industrial, esta pode causar uma série de problemas que não são observados imediatamente, tais como degradação de desempenho, falhas no software, perda de dados, entre outros. O cabeamento pode apresentar problemas de degradação de desempenho causada por interferência eletromagnética excessiva (EMI) quando se pretende transmitir altas taxas de dados pela rede. Normalmente, os motivos que levam a esse fato são causados por técnicas impróprias de instalação da infraestrutura.

Por esse motivo recomenda-se observar os critérios de compatibilidade eletromagnética para a alocação dos espaços de ambas as redes (lógica e elétrica), principalmente nos percursos verticais, onde a faixa de valores de frequência de operação dos diversos sistemas é bastante diversificada. Dessa forma, espera-se obter através de um projeto e instalação adequados, uma rede com imunidade suficiente para operar sem degradação na presença de distúrbios eletromagnéticos.

Conclui-se que as precauções a serem tomadas durante o projeto da rede devem abranger desde o cabeamento, o percurso relativo dos cabos de potência e cabos de baixa corrente elétrica (sistemas de controle e automação), o posicionamento dos equipamentos, cuidados com possíveis fontes de perturbação e interferência até o próprio sistema de aterramento. Neste ambiente, os sistemas de proteção permitem o correto funcionamento dos equipamentos e demais elementos da rede, protegendo-os contra falhas de energia e interferências. Esses

sistemas de proteção são importantes porque protegem os dispositivos de distúrbios originados em suas conexões a redes de dados e rede de fornecimento de energia.

## REFERÊNCIAS

ABRICEM, **Diretrizes gerais para exposição a campos elétricos e magnéticos**. São Paulo, 2000.

ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de; ALEXANDRIA, Auziur Ripardo de. **Redes industriais – Aplicações em sistemas digitais de controle distribuídos**. Ensino Profissional, 2009

ALTUS, **Manual de utilização da rede PROFIBUS**. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5410** - Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

BARBOSA, Osvaldo. **Integridade de infraestrutura para passagem de cabos elétricos como elemento vital de confiabilidade.** Disponível em: http://docplayer.com.br/6251143-Integridade-de-infraestrutura-para-passagem-de-cabos-eletricos-como-elemento-vital-de-confiabilidade.html. Acesso em: 22 nov. 2016.

CASSIOLATO, César. **Como a blindagem pode ajudar a minimizar ruídos.** Disponível em: http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/como-a-blindagem-pode-ajudar-a-minimizar-ruidos. Acesso em: 12 ago. 2016.

CASSIOLATO, César. **Cuidados e recomendações com aterramento do *shield* no barramento PROFIBUS-PA.** http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/cuidados-e-recomendacoes-com-o-aterramento-do-shield-no-barramento-profibus-pa. Acesso em: 12 ago. 2016.

CASSIOLATO, César. **Minimizando ruídos em instalações PROFIBUS**. Disponível em: http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/minimizando-ruidos-em-instalacoes-profibus/. Acesso

em: 12 ago. 2016.

CASSIOLATO, César. **O uso de canaletas metálicas minimizando as correntes de Foucault m instalações PROFIBUS**. Disponível em: http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/o-uso-de-canaletas-metalicas-minimizando-as-correntes-de-foucault-em-instalacoes-profibus. Acesso em: 12 ago. 2016.

CASSIOLATO, César. **PROFIBUS**: Aterramento, blindagem, ruídos, interferências, reflexões e muito mais. Disponível em: http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/profibus-aterramento-blindagem-ruidos-interferencias-reflexoes-e-muito-mais. Acesso em: 12 ago. 2016.

CASSIOLATO, César. **Ruídos e Interferências em instalações PROFIBUS**. Disponível em: http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/ruidos-e-interferencias-em-instalacoes-profibus. Acesso em: 12 ago. 2016.

CASTRUCCI, Plínio de Lauro. **Engenharia de automação industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

COGO, J.R; MONTEIRO, C.M.F de O. Aterramento para equipamentos eletrônicos sensíveis. **Revista Eletricidade Moderna**, 1995.

SILVA, Mauri Luiz. **Iluminação, simplificando o projeto**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.

FILHO, Silvério Visacro. **Aterramentos elétricos**. 2.ed. São Paulo: Artliber, 2010.

KEISER, Benhard. **Principles of electromagnetic compatibility**, 3th ed. Norwood: Artech House, 1987.

LUGLI, Alezandre Baratella; SANTOS, Max Mauro Dias. **Redes Industriais para automação industrial:** AS-I, PROFIBUS e Profinet. São Paulo: Érica, 2010

MARTINO, G. **Eletricidade industrial.** São Paulo: hEMUS, 1982.

NASCIMENTO, G. F. do Estudo **de crosstalk em chicotes elétricos automotivos**. 2003. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2003.

PAUL, C.; NASAR. In**troduction to electromagnetic fiels**. New York: John Wiley & Sons. Inc., 1987.

PINHEIRO, José Maurício dos Santos. **Guia completo de cabeamento de redes.** Rio de Janeiro: Campus, 2015.

PINHEIRO, José Maurício dos Santos. **Instalações elétricas para redes de computadores.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006.

PINHEIRO, José Maurício dos Santos. **Interferência eletromagnética em redes de computadores**. Disponível em: http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_interferencias_eletromagneticas.php. Acesso em: 09 ago. 2016.

PINHEIRO, José Maurício dos Santos. **Ruído em redes de computadores**. Disponível em: http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_ruido_em_redes_de_computadores.php. Acesso em: 09 ago. 2016.

SANCHES, Durval. **Interferência eletromagnética**. Rio de Ja-

neiro: Interciência, 2010.

STEMMER, Marcelo Ricardo. **Das 5331 - sistemas distribuídos e redes de computadores para controle e automação industrial**. Florianópolis: UFSC, 2001.

## LISTA DE SIGLAS

EMI: Interferência eletromagnética

EMC: Compatibilidade eletromagnética

CCM: Centro de controle de motores

CLP: Controlador lógico programável

PC: Personal Computer

E/S: Entrada/Saída

# AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL DO GERENCIAMENTO DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA

## INDUSTRIAL AUTOMATION OF ELECTRICITY DEMAND MANAGEMENT IN THE INDUSTRY

Leandro Pereira Coelho[1]
Richard Watson Machado[2]
Dener Martins dos Santos[3]
Pedro Luiz da Cruz Saldanha[4]

**RESUMO:** O presente apresenta um estudo da importância do uso da automação industrial do gerenciamento do consumo de energia elétrica na indústria. A metodologia utilizada foi caracterizar o consumo de motores por período de operação em consonância com as tarifas praticadas. Na simulação se empregou o Software de Gerenciamento SMART32 e uma rede Ethernet TCP/IP com protocolo MODBUS RTU para se simular a comunicação entre o hardware e o software; para se demonstrar a eficiência do monitoramento e controle do fator de potência e da demanda de energia através de um algoritmo de controle preditivo inteligente. Os resultados demonstraram que o emprego do software de monitoramento, gerou uma economia no gasto energético por otimizar a operação com racionalidade e o custo de implantação desse sistema se amortiza cerca de três meses após a sua implementação.

**Palavras-chave**: Fator de Potência. Demanda de energia. Controlador de demanda.

1 Discente do Curso de Engenharia de Controle e Automação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Engenharia de Controle e Automação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Docente Doutor Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
4 Pesquisador do CNEN, Professor Doutor do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**ABSTRACT:** This work presents a study of the importance of using industrial automation to manage electricity consumption in the industry. The methodology used was to characterize the consumption of engines by period of operation in line the tariffs practiced. In the simulation, SMART32 Management Software and an Ethernet TCP/IP network with MODBUS RTU protocol were used to simulate the communication between hardware and software; to demonstrate the efficiency of monitoring and controlling the power factor and energy demand through an intelligent predictive control algorithm. The results showed that use of monitoring software, generated savings in energy expenditure by optimizing the operation with rationality and the cost of implementing this system is amortized about three months after its implementation.

**Keywords:** Potency Factor. Energy Demand. Demand Controller.

## 1 INTRODUÇÃO

Na indústria o consumo de energia elétrica representa um dos custos mais elevado para o processo de produção, portanto, as indústrias precisam de meios para controlar essa variável, uma vez que a multa pela ultrapassagem da demanda muitas vezes não justifica a produção extra conseguida. Diante dessa premissa, então, começaram a surgir os primeiros controladores de demanda, que se trata de equipamentos destinados a monitorar e controlar de modo sistemático essa variável, que auxiliam os gestores das indústrias a serem mais competitivas no mercado.

Várias informações estão disponíveis a respeito de programas de eficiência enérgica, porém pouco se conhece sobre como um Sistema de Gestão de Energia agregado a sistemas de controle e automação podem ser utilizados como ferramenta de gestão de eficiência energética e podem reduzir os custos e melhorar a produtividade. A partir da montagem de um sistema monitor de energia elétrica automatizado que possibilitasse o monitoramento e controle da demanda e do fator de potência, com o uso

de um Controlador de Demanda com software de supervisão permitir-se-ia um controle eficaz e efetivo do consumo energético tendo como base uma estação de tratamento de água.

### 1.1 OBJETIVO

Apresentar uma proposta para o gerenciamento de energia, delineando as vantagens de um sistema de controle de demanda de energia e fator de potência. Portanto, este trabalho realiza uma análise sobre a utilização de controladores de demanda e fator de potência automatizados, visando maior eficiência energética e redução de custos no processo por melhorar a produtividade e evitar multas e desperdícios a partir da utilização do emprego de software de monitoramento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo a Procel (2006) existem dois tipos de energia:

a. Energia elétrica ativa: é o uso da potência durante qualquer intervalo de tempo que efetivamente realiza trabalho gerando calor, luz, movimento, etc, sua unidade usual é o quilowatts-hora (kWh).

b. Energia elétrica reativa: é a energia que circula continuamente entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho, expressa em quilovolt-hora (kVARh). Na figura 1 mostra a composição destas duas formas de energia que resulta na energia aparente ou total.

c. Fator de carga: é um índice que permite verificar o quanto que a energia elétrica é utilizada de forma racional. É a razão entre a demanda média, durante um determinado intervalo de tempo, e a demanda máxima registrada no mesmo período. (AMARAL, 2006). Cemig (2011) afirma ainda que o fator de carga, em linha geral, é o indicador que informa se um cliente de média tensão está utilizando

racionalmente a energia elétrica, num índice cujo valor varia entre 0 e 1, quanto maior o valor, melhor será o aproveitamento da instalação elétrica, calculado pela equação 1.

Figura 1: Energia elétrica total.




Fonte: COSERN (2011)

$$FC = \frac{Consumo\ Total\ (kWh)}{Demanda\,(kW) x\ Tempo\,(h)} \quad \textbf{(01)}$$

Onde:

Fc: Fator de Carga

## 2.1 POTÊNCIA

A potência é uma grandeza física que é definida como a relação diretamente proporcional entre a tensão e a corrente elétrica. A equação 2 demonstra o cálculo da potência instantânea, que é a potência dada em um instante qualquer de tempo considerando v e i (tensão e corrente) como sinais senoidais no regime estacionário. (NILLSON e RIEDEL, 2008).

$$P = V \times I \quad \textbf{(02)}$$

Onde:

P: Potência instantânea dada em Watts;

V: Tensão dada em Volts;

I: Corrente elétrica dada em Ampères.

### 2.1.1 Potência Ativa

A potência ativa também chamada de potência média ou real, é uma grandeza elétrica que mede o valor médio da potência instantânea em um determinado período de tempo e representa a parcela presente em um circuito que é convertida em formas não-elétricas de energia. A potência ativa é a potência que realiza trabalho, gerando calor ou movimento. A equação 3 demonstra o cálculo da potência ativa.

$$P = UI \cdot \cos(\Theta_v - \Theta_i) \quad \textbf{(03)}$$

Onde:

P = Potência ativa dada em Watts;

U = Tensão dada em Volts;

I = Corrente elétrica dada em Ampères;

$\Theta_v$ = Ângulo de fase da tensão;

$\Theta_i$ = Ângulo de fase da corrente elétrica.

### 2.1.2 Potência Reativa

A potência reativa é uma grandeza elétrica que não é convertida em formas não elétricas de energia, não produz trabalho. Ela pode ser armazenada no campo magnético de um indutor, como ocorre nos motores e cargas indutivas ou armazenada também no campo elétrico de um capacitor, e é medida em Var (Volt Ampére reativo) pela equação 4. (NILLSON e RIEDEL, 2003).

$$Q = VI. \operatorname{sen}(\Theta_v - \Theta_i) \quad \textbf{(04)}$$

Onde:

Q = Potência reativa, dada em Var;

V = Tensão dada em Volts;

I = Corrente elétrica dada em Ampères;

$\Theta_v$ = Ângulo de fase da tensão;

$\Theta_i$ = Ângulo de fase da corrente elétrica.

### 2.1.3 Potência Aparente

A potência aparente é o módulo da soma quadrática de potência ativa e reativa, dada em Volt-Ampére (VA). A equação 9 demonstra como é obtida (NILLSON e RIEDEL, 2003).

$$|S| = \sqrt[2]{P^2 + Q^2} \quad \textbf{(05)}$$

Onde:

S = Potência aparente, dada em VA;

P = Potência ativa, dada em W;

Q = Potência reativa, dada em Var.

### 2.1.4 Fator de Potência

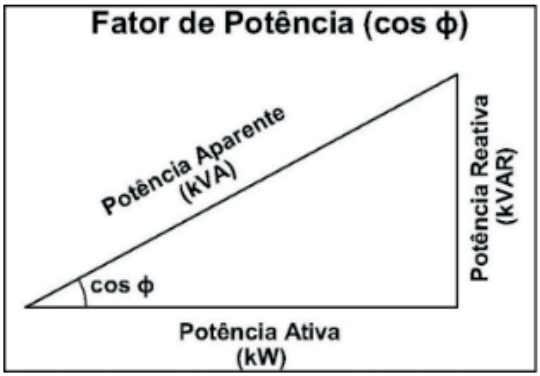
Segundo De Paula (2013) o fator de potência serve para indicar a eficiência do uso da energia e é definido matematicamente como a razão entre a potência ativa e a potência aparente, sendo um número adimensional. Varia entre 0 (zero) e 1 (um) indutivo ou capacitivo, ou seja, entre zero e 100%.

Enquanto a potência ativa é sempre consumida na execução de trabalho, a potência reativa, além de não produzir trabalho, circula entre a carga e a fonte de alimentação, ocupando um espaço no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa. Um alto fator de potência indica uma eficiência alta e inversamente, um fator de potência baixo indica baixa eficiência energética. Um triângulo retângulo é frequentemente utilizado para representar as relações entre kW, kVAR e kVA, conforme a figura 2, (WEG, 2013).

O Fator de Potência é um índice de utilização de energia cujo controle adequado em instalações consumidoras é extremamente importante, não apenas sob o ponto de vista eletro

energético, mas também, e fundamentalmente, pelo fato de ser monitorado pelos sistemas de medição das concessionárias, podendo incorrer em ônus (muitas vezes significativos) nas contas de energia elétrica. Portanto, torna-se relevante a análise da aplicação de sistemas de correção que possibilitem ajustá-lo e mantê-lo acima do limite mínimo permitido pela normalização em vigor. (SILVA, 2009)

Figura 2 – Triangulo retângulo de potência. (Fonte: SKZ ENGENHARIA, 2016)




A correção do fator de potência pode ser cuidadosamente analisada e não resolvida de forma simplista, já que isto pode levar a uma solução técnica e economicamente não satisfatória. De modo geral, quando se pretende corrigir o fator de potência de uma instalação surge o problema preliminar de se determinar qual o melhor método a ser adotado. Independentemente do método a ser adotado, o fator de potência ideal, tanto para os consumidores como para a concessionária, seria o valor unitário (1,0), que significa inexistência da energia reativa no circuito. Entretanto, esta condição nem sempre é conveniente e, geralmente, não se justifica economicamente. A correção efetuada até o valor de 0,95 é considerada suficiente. (COPEL, 2005)

### 2.1.5 Banco de Capacitores

Segundo Junior e Petry (2012) os capacitores são basicamente dispositivos para armazenar energia na forma de campos elétricos. São construídos por dois materiais condutores e separados por um material isolante. Este material isolante é o que normalmente dá o nome para os capacitores. Assim, têm-se capacitores de cerâmica, de papel, de filme plástico, de mica, de vidro e eletrolítico. Os bancos de capacitores, conforme visto na figura 3, são basicamente unidades onde ficam os sistemas de manobra, proteção e controle. Existem 2 tipos de banco de capacitores:

- Banco de capacitor fixo: este não possui nenhum tipo de controle, os capacitores ficam ligados ao sistema independentemente das condições de carga.
- Banco de capacitor automático: geralmente possui um controlador eletrônico, o qual retira ou insere carga no sistema de acordo com o fator de potência.

Figura 3: Banco de Capacitores.



Fonte: WEG (2013).

De acordo com Copel (2005) os métodos mais usuais para correção do fator de potência são:

• Alteração das condições operacionais ou substituição de Equipamentos

• As primeiras medidas que se deve aplicar para correção de baixo fator de potência são aquelas relacionadas as condições operacionais e características dos equipamentos, observadas nas descrições das principais causas de sua ocorrência.

• Correção por Banco de capacitor fixo, Banco de capacitor automático

A correção ideal do fator de potência a ser aplicada a um sistema elétrico consiste em instalar capacitores fixos para as cargas de funcionamento ininterrupto, e bancos automáticos de capacitores para suprir a energia reativa necessária às cargas variáveis. Como a verificação do fator de potência deve ser feita a cada hora, a correção do fator de potência deve ser dinâmica, logo, o uso de bancos automáticos de capacitores deve ser feito sempre que possível.

Podem os capacitores, em princípio, ser instalados em quatro pontos distintos do sistema elétrico:

• Junto às grandes cargas indutivas (motores, transformadores, etc.);

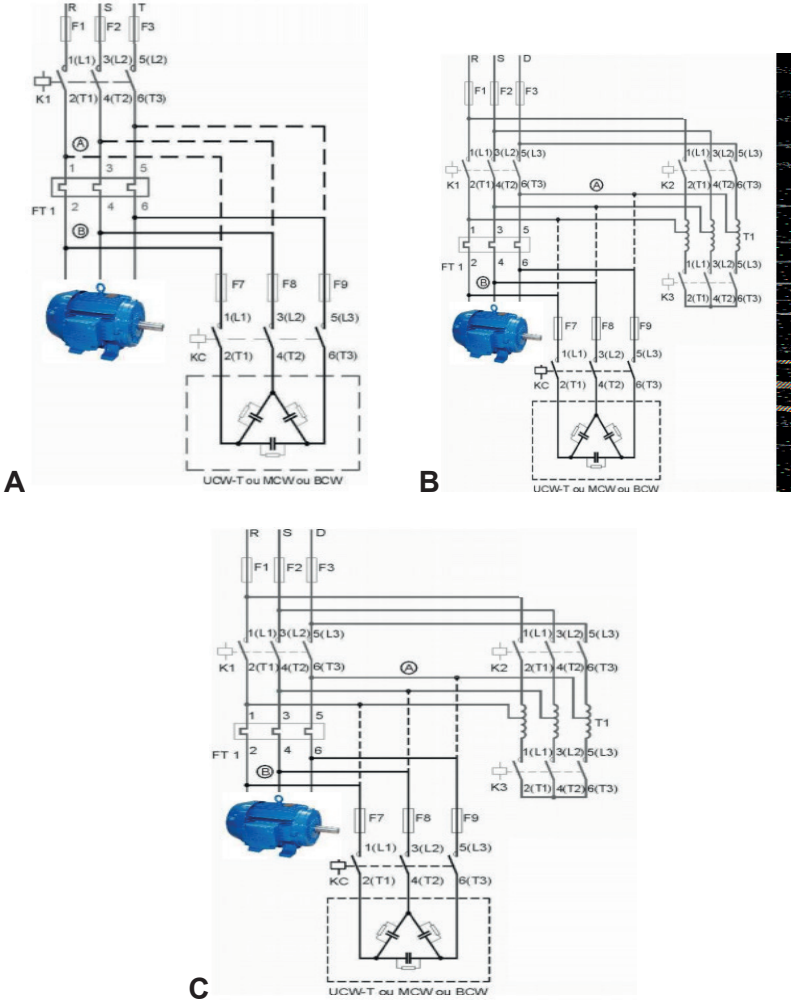
• No barramento geral de Baixa-Tensão (BT);

• Na extremidade dos circuitos alimentadores;

• Na entrada de energia em Alta-Tensão (AT);

No caso de motores, a opção é instalar o capacitor próximo da carga, conforme manual da Weg (2013) para correção de fator de potência temos as seguintes formas de instalação referentes ao modo de partida dos motores, conforme a figura 4:

Figura 4: Correção de fator de potência




4A: Partida Direta; Partida Estrela – Triângulo e 4C: Partida Compensadora.

Fonte: WEG (2013).

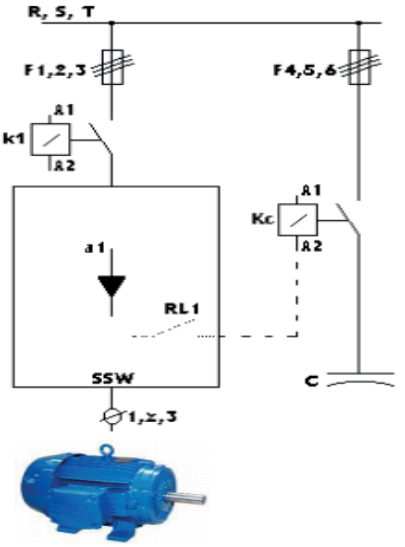
No caso da partida direta (figura 4A) o capacitor deve ser ligado e se verifica sempre o regime de funcionamento do motor. Para partidas consecutivas com tempos inferiores a 1 minuto

prever restrição de religamento do banco. Podem ocorrer sobre excitações de tensão nos capacitores. No caso da partida Estrela – Triângulo, é necessário o uso de um contator para o acionamento do capacitor. Na transferência de K2 e K3 a tensão sob o capacitor será a somatória do valor armazenado mais a tensão da rede. Por este motivo, o banco só deve ser energizado após fechamento de K1 e K3. Por fim, no caso da partida Compensadora, figura 4C; para motores com chave compensadora, o capacitor deve ser ligado aos terminais de saída da chave do motor.

### 2.1.5.1 Soft starter

É necessário o uso de um contator para o acionamento do capacitor, conforme figura 5. O capacitor só deve ser ligado a rede após a rampa de aceleração da soft starter terminar.

Figura 5: Correção de fator de potência para Partida Soft Starter.




Fonte: WEG (2013).

## 2.2 MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA

No caso de se medir a potência elétrica de um determinado dispositivo, emprega-se um instrumento capaz de indicar o produto entre a tensão e a corrente no sistema a ser medido. E, dependendo da forma como esse produto é feito pode-se obter a indicação de potência ativa, reativa ou aparente, (ANDREOLI, 2005). Em circuitos de corrente alternada a característica reativa de certos componentes pode produzir potências de caráter complexo, exigindo que o sistema de medição seja capaz de medir separadamente as parcelas de potência ativa e potência reativa. Por essa razão, os medidores de potência que operam em corrente alternada possuem uma construção e um princípio de operação capaz de realizar a separação vetorial da potência real, indicada como potência ativa, e da potência imaginária, indicada como potência reativa. (MATHEUS, 2003).

Conforme Alves et al. (2011) sistema de gerenciamento de energia são sistemas de automação que coletam dados de medição de energia do campo e os disponibilizam aos usuários, por meio de relatórios, gráficos, ferramentas de monitoração online e analisadores de eventos de qualidade de energia, permitindo assim a gestão de recursos energéticos de uma planta industrial.

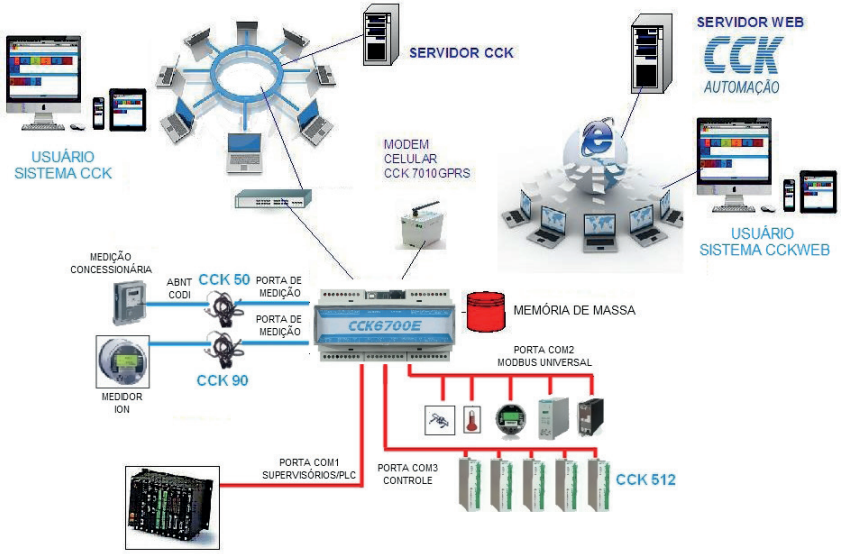
O eficiente uso da energia elétrica permite que a indústria tenha uma melhor utilização das instalações e equipamentos elétricos, redução no consumo de energia e economia nas despesas com eletricidade. O aproveitamento de energia melhorado, consegue um aumento de produtividade e um padrão de qualidade no produto acabado, isto tudo, mantendo o nível de segurança e diminuindo o tempo de parada das máquinas para a realização de manutenção. (COPEL, 2005)

O Gerenciador de energia é um equipamento ou sistema utilizado, e que, realiza o monitoramento e o controle de processos visando otimizar o consumo dos insumos energéticos e utilidades de modo automático sem interrupção de produção ou prejuízo no conforto ambiental. Cita-se como as principais aplicações: eliminação de desperdícios; aumento da eficiência; mudança nos padrões de consumo; monitoramento das concessionárias de energia; elaboração de rateios com alta

precisão; controle de cargas; controle do fator de potência; conhecimento das sazonalidades do consumo; determinação do custo específico, consumo específico e custo de produção (por setores e períodos).

Sistemas de gerenciamento de energia são basicamente implantados para monitorar as grandezas elétricas, e acompanhar o perfil histórico de medições de energia de uma unidade consumidora. O motivo de sua instalação se deve, muitas vezes, pela necessidade de reduzir custos ocasionados por multas de ultrapassagem de demanda e fator de potência, aumentar a eficiência do uso da energia e, consequentemente, diminuir o valor das contas, além de propiciar ganhos de produtividade, pois se trata de uma ferramenta que facilita a manutenção e a operação das plantas industriais. (SOARES et al. 2014). Conforme demonstrado na figura 6 pode-se visualizar uma arquitetura de um gerenciamento de energia.

Figura 6: Gerenciamento de Energia




. Fonte: CCK, 2016

Através de um sistema de gerenciamento é possível monitorar uma série de variáveis em tempo real e armazená-las para análises que potencializem o uso eficiente da energia elétrica. Dentre as grandezas/eventos que podem ser armazenadas, podemos citar: corrente, tensão, consumo de energia ativa, consumo de energia reativa, demanda, fator de carga, fator de potência, demanda máxima, transientes, distorção harmônica, interrupções de energia da concessionária, interrupções de energia em alimentadores internos, data/hora das cargas retiradas por atuação do controle de demanda e fator de potência, (ALVES *et al*., 2011).

## 2.3 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO

Segundo Tsutiya (2006), podemos definir protocolo de comunicação como sendo um conjunto de convenções que rege o tratamento e a formatação de dados em um sistema de comunicação. Os protocolos definem a quantidade de bits a ser transmitida, a ordem das mensagens enviadas e recebidas pelos dispositivos de rede, a codificação das funções a ser usada, a detecção de erros, enfim uma estrutura bem definida na qual a transmissão de informação possa ser executada para uma determinada aplicação. (ASSIS, 2012) Alguns tipos de protocolos utilizados para estabelecer comunicação:

CAN: rede desenvolvida pela Bosch para interligar dispositivos inteligentes em aplicações automotivas;

DeviceNet: rede destinada à comunicação entre dispositivos como PLCs, Computadores, etc.;

Modbus: criado pela Modicon e liberado para utilização pública;

Profibus: possui mecanismo de acesso ao meio misto: para comunicação entre estações de controle o acesso é por Token-Passing;

TCP/IP: desenvolvido para implementar as camadas de enlace e rede, para implementar redes locais, e

posteriormente, tornou-se a base para o funcionamento da internet.

## 2.4 SUPERVISÃO

Segundo Souza (2005) sistemas de supervisão são capazes de processar as informações e torna-las disponíveis para o operador, ou qualquer outro usuário do software. Podem também realizar atividades de controle em nível de supervisão e, automaticamente, com o auxílio de algum mecanismo específico aplicado ao sistema computacional, tomar decisões e executar ações sobre o processo.

De acordo com Pinheiro (2006) é de fundamental importância na estrutura de gestão das empresas são os sistemas supervisórios, fato pelo qual, deixaram de ser vistos como meras ferramentas operacionais, ou de engenharia, e passaram a ser vistos como uma relevante fonte de informação. Os sistemas de supervisão de processos industriais automatizados desempenham três atividades básicas: supervisão, operação e controle.

Na supervisão, incluem-se todas as funções de monitoramento do processo, tais como gráficos de tendências de variáveis analógicas ou digitais, relatórios em vídeo e impressora, dentre outras. A operação nos atuais sistemas SCADA tem a grande vantagem de substituir as funções da mesa de controle, otimizando os procedimentos de ligar e desligar equipamentos ou sequências de equipamentos, ou ainda, mudar o modo de operação dos equipamentos de controle. A caracterização do sistema de supervisão é dada por:

- Fazer aquisição de dados do processo;
- Tornar os dados disponíveis visualmente;
- Processar eventos e ativar alarmes;
- E ser tolerante a falhas.

Para um processo de produção industrial, pode-se citar as seguintes vantagens quando se utiliza um sistema supervisório:

- Análise de tendências: baseado no histórico das informações do banco de dados, é possível tomar ações proativas para maximizar a produção da planta.
- Alarmes: sinaliza em tempo real, alguma falha no processo e registra essa falha no banco de dados para consultas futuras.
- Operação remota no processo: intervenção no processo, a partir da sala de controle.
- Geração de relatórios e gráficos: É possível gerar relatórios e gráficos sobre os alarmes e tendências.

## 3 METODOLOGIA

Para realização do estudo de caso é necessário verificar o tipo de contrato realizado junto à concessionária de energia, como é o funcionamento do processo de produção da empresa e seu perfil de carga. Através desses dados é traçado o melhor método de monitoramento e controle adequado das variáveis, além da escolha correta das cargas a serem controladas, para que não prejudique assim as condições operacionais da empresa. As principais variáveis utilizadas para o controle de demanda são:

- Demanda instantânea;
- Demanda máxima estabelecida;
- Estrutura tarifária;
- Cargas controláveis;
- Cargas não-controláveis;
- Potência das cargas controláveis,
- Estado dos equipamentos (ligado/desligado).

A empresa na qual ser realizou a simulação do Sistema de Controle Monitoramento de Demanda possuía um sistema elétrico conforme essas seguintes características básicas de consumo:

- Medidor/registrador eletrônico de energia elétrica;
- Distribuição trifásica em 440 V e 220 V – 60 Hz;
- Contrato Horo-Sazonal Azul A4 (CEPEL, 2008) e demanda contratada de 1930kW no horário de ponta e no horário fora de ponta para os períodos seco e úmido;
- O consumo mensal de energia elétrica seria da ordem de 1.121.508 kWh, a um custo médio de 0,49 R$/kWh;
- Despesa com energia elétrica, da ordem de R$ 7.730.595,48/ ano.

As tarifas cobradas pelo consumo (kWh) e demanda (kW) na ponta e fora de ponta estão demonstrados na tabela 2.

Tabela 2: Tarifas Horo-Sazonal Azul

| Tarifas | Demanda R$ (kW) | | Consumo R$ (kWh) | |
|---|---|---|---|---|
| | Ponta | Fora de Ponta | Ponta | Fora de Ponta |
| Normal | 23,37 | 12,35 | 0,51 | 0,37 |
| Ultrapassagem | 26,74 | 24,70 | -- | -- |

Fonte: LIGHT, 2016

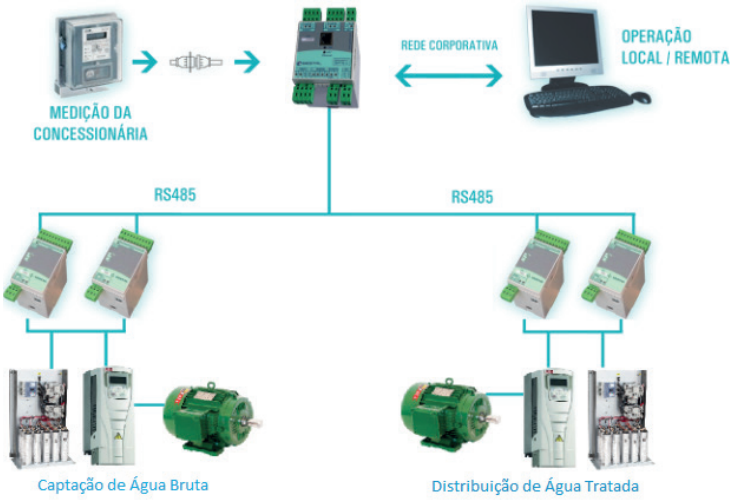
Os principais consumidores de energia elétrica são:

- Motores – 3272,97 kW;

- Iluminação - 34 kW;
- Ar Condicionado – 8 kW;
- Equipamentos diversos – 43 kW;

Para se evitar multas por ultrapassagem da demanda contratada e excedente de energia reativa, foi instalado o Smart Gate C que é um controlador/gerenciador de consumo, de demanda e fator de potência automatizado, sendo conectado ao medidor da concessionária de energia através de uma saída pulsada (protocolo ABNT2) onde se é obtido as variáveis de controle e também a uma rede de i/o (protocolo MODBUS) com saída seria 485, permitindo supervisão e controle locais ou remotos em tempo real assim como análises de gráficos e relatórios gerados, através de um supervisório ligado na rede corporativa da empresa demonstrado na figura 7.

Figura 7: Arquitetura de funcionamento




. Fonte: Autores.

O método de controle de demanda utilizado se baseou na medição síncrona com a concessionária podendo, no entan-

to, na perda do sinal de sincronismo passou automaticamente para medição assíncrona. Este método foi implementado por um algoritmo de controle preditivo inteligente atuando sobre a projeção da potência consumida, tendo por princípio o controle das cargas do sistema utilizando um controle de rotação dos motores através de velocidades previamente configuradas nos inversores de frequência que acionavam os conjuntos moto--bomba. O controle do fator de potência foi realizado através do monitoramento dos bancos capacitores e caso ocorresse ultrapassagem do limite configurado, seriam acionados bancos capacitores para sua correção. O funcionamento do sistema seguiu as seguintes condições, tabela 3.

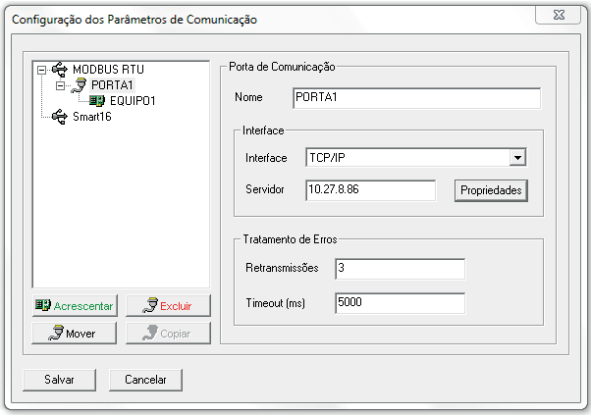
Na configuração do *Smart Gate C* foi utilizado o Software de Gerenciamento SMART32 que além da configuração, também realizou a supervisão de todo sistema. A conexão entre *Smart Gate C* com o computador para a aquisição dos dados para o software Smart 32 utilizou uma rede Ethernet TCP/IP com protocolo MODBUS RTU**.** Na comunicação entre o Hardware e o Software foi utilizado o protocolo de comunicação MODBUS RTU através da interface de rede TCP/IP, PORTA 1, conforme configurado na figura 8.

Tabela 3: Condição da empresa com uma demanda atual contratada de 1930 kW.

| **CONDIÇÃO** | **FATOR DE POTENCIA** | **DEMANDA CONTRATADA** | **OPERAÇÃO** |
|---|---|---|---|
| SET | 0,92 < Φ < 1,00 | 1930 | |
| CONDIÇÃO 1 | 0,92 < Φ < 1,00 | < 1930 | Monitora |
| CONDIÇÃO 2 | Φ < 0,92 | < 1930 | Coloca Capacitores |
| CONDIÇÃO 3 | Φ ≥ 0,92 | < 1930 | Retira Capacitores |

| | | | |
|---|---|---|---|
| CONDIÇÃO 4 | 0,92 < Φ < 1,00 | >1930 | Retira Carga |
| CONDIÇÃO 5 | Φ < 0,92 | >1930 | Coloca Capacitores<br><br>Retira Carga |
| CONDIÇÃO 6 | Φ ≥ 0,92 | >1930 | Retira Capacitores<br><br>Retira Carga |

Figura 8: Configuração dos Parâmetros de Comunicação.

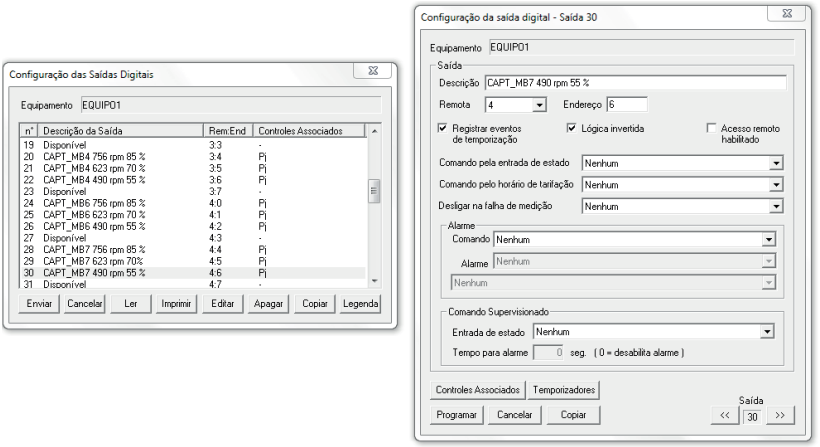



Fonte: Autores

Caso o controlador verificasse que o valor de demanda contratada sofrera ultrapassagem do limite, seria acionada saídas digitais para realização de retiradas de cargas (kW), que diminuiria a velocidade dos motores em valores pré-configurados através dos inversores de frequência seguindo uma prioridade de acionamentos para não prejudicar o processo, e no caso de ultrapassagem do limite do valor de fator de potência seriam acionadas saídas para a adição de bancos capacitores. As con-

figurações da unidade remota, endereço de saída e a descrição da carga a ser controlada são mostradas na figura 9.

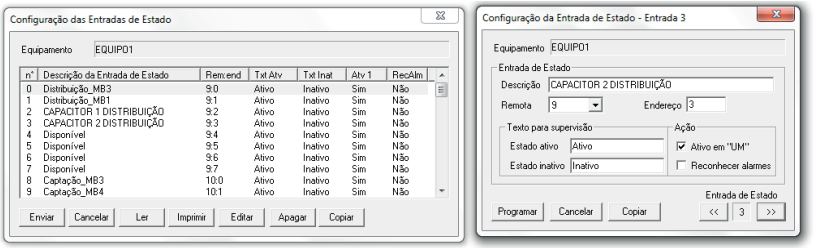
Figura 9: Configuração das Saídas Digitais




Fonte: Autores.

No monitoramento das cargas (motores) e dos bancos capacitores controlados foram configurados o status de funcionamento, endereçando cada equipamento sua respectiva unidade remota correspondente conforme figura 10.

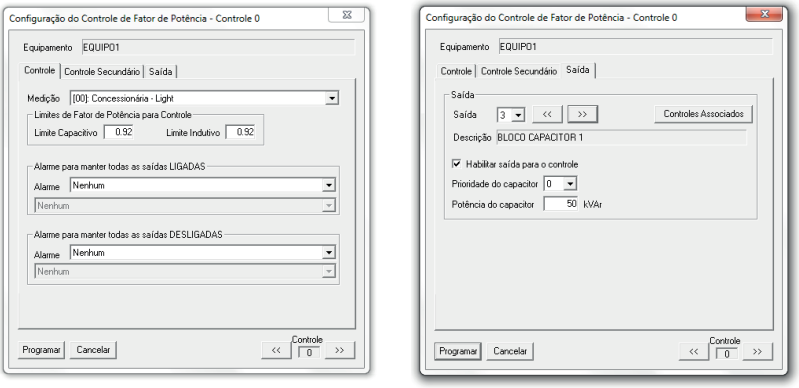
Figura 10: Configuração das Entradas de Estado.




Fonte: Autores

Para se evitar multas por excedente de energia reativa existem, bancos de capacitores estáticos instalados junto ao acionamento dos motores, que são monitorados pelo controlador Smart Gate C e caso ocorra ultrapassagem do limite do fator de potência são acionados bancos capacitores adicionais com uma determinada potência (kVAR) e prioridade de acionamento para sua correção. O limite do fator de potência para controle e os endereços de saída foram configurados como mostrado na figura 11.

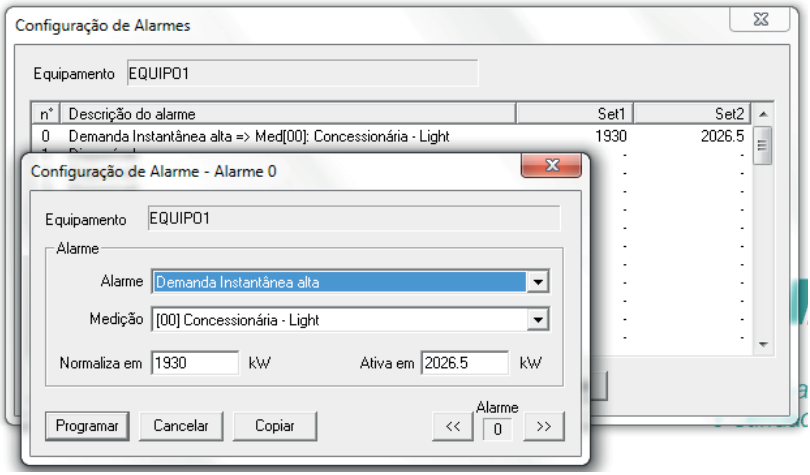
Figura 11 – Configuração do Controle de Fator de Potência.




Fonte: Autores.

Caso o valor da demanda atingisse o valor contratado acrescido de 5% seria ativado o alarme de demanda instantânea alta no supervisório. A configuração deste alarme e de possíveis outros forma configuradas conforme na figura 12.

Figura 12: Configuração de Alarmes




Fonte: Autores

Para se realizar o controle de demanda sem prejudicar o processo não se considerou o desligamento total dos motores e sim a redução de sua velocidade (rpm). O controle foi realizado através das entradas digitas dos inversores, figura 13, se acionados modulariam a frequência de saída diminuindo assim a velocidade do motor e por consequência seu consumo de energia. Através do supervisório foi possível monitorar as variáveis controladas bem como ter acesso as telas de controle, alarmes, eventos e relatórios.

Figura 13: Configuração dos Inversores de Frequência.

| | | | |
|---|---|---|---|
| **12 VEL CONSTANTES** | | Selecção e valores de velocidades constantes. Uma velocidade constante activa tem preferência sobre a referência de velocidade do conversor. Veja a secção *Velocidades constantes* na página 62.<br>**Nota:** Se o parâmetro 99.04 é ESCALAR, são usadas apenas as velocidades 1 até 5 e a velocidade 15. | |
| 12.01 | SEL VEL CTES | Activa as velocidades constantes ou selecciona o sinal de activação. | |
| | NÃO SEL | Não estão em uso velocidades constantes | 1 |
| | ED1(VEL1) | A velocidade definida pelo parâmetro 12.02 é activada através da entrada digital ED1. 1 = activo, 0 = inactivo. | 2 |
| | ED2(VEL2) | A velocidade definida pelo parâmetro 12.03 é activada através da entrada digital ED2. 1 = activo, 0 = inactivo. | 3 |
| | ED3(VEL3) | A velocidade definida pelo parâmetro 12.04 é activada através da entrada digital ED3. 1 = activo, 0 = inactivo. | 4 |
| | ED4(VEL4) | A velocidade definida pelo parâmetro 12.05 é activada através da entrada digital ED4. 1 = activo, 0 = inactivo. | 5 |

*Sinais actuais e parâmetros*

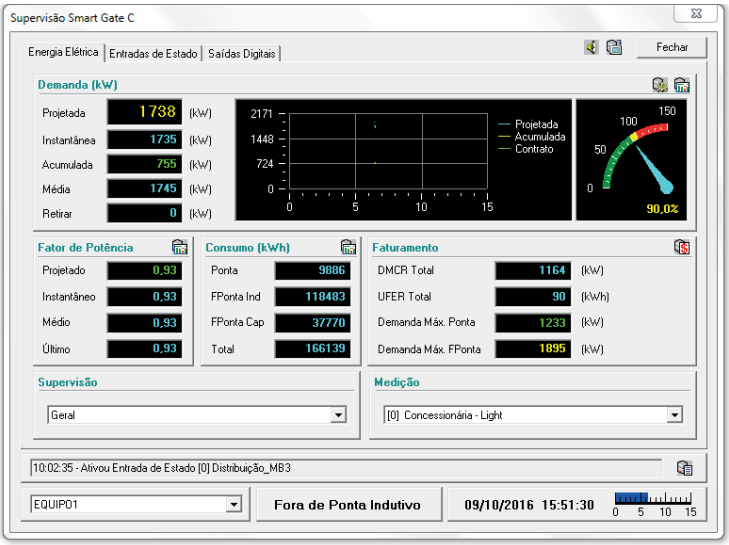
| | | | |
|---|---|---|---|
| 12.02 | VEL CONSTANTE 1 | Define a velocidade 1. Um valor absoluto. Não inclui informação de sentido. | |
| | 0...18000 rpm | Gama de ajuste | 0 ... 18000 |
| 12.03 | VEL CONSTANTE 2 | Define a velocidade 2. Um valor absoluto. Não inclui informação de sentido. | |
| | 0...18000 rpm | Gama de ajuste | 0 ... 18000 |
| 12.04 | VEL CONSTANTE 3 | Define a velocidade 3. Um valor absoluto. Não inclui informação de sentido. | |
| | 0...18000 rpm | Gama de ajuste | 0 ... 18000 |
| 12.05 | VEL CONSTANTE 4 | Define a velocidade 4. Um valor absoluto. Não inclui informação de sentido. | |

*Sinais actuais e parâmetros*

Fonte: ABB (2011).

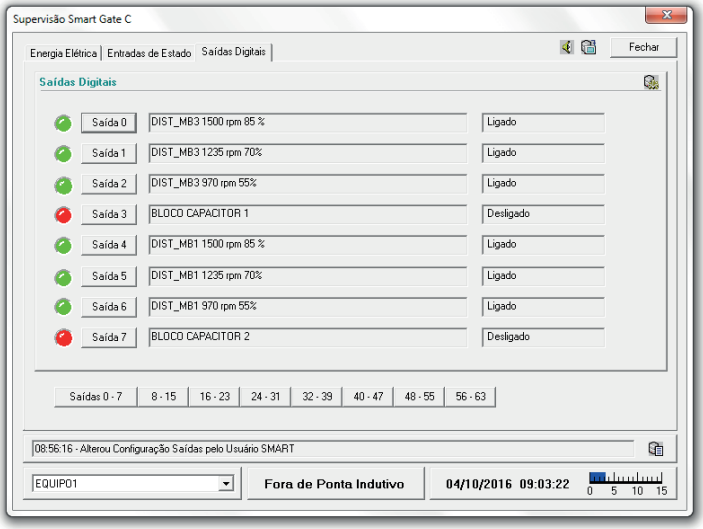
Na tela principal, figura 14, inseriam-se os dados de grande prioridade para o controle como a Demanda, Fator de Potência e Consumo, além do qual o horário de ponta se estava no momento, o tempo de integração da aquisição das variáveis, o último evento e o acesso a outras telas de monitoramento e controle. Através desta tela de Saídas Digitais, figura 15, foi possível monitorar o status das saídas acionadas de cada unidade remota configurada.

Figura 14: Tela Principal.




Fonte: Autores.

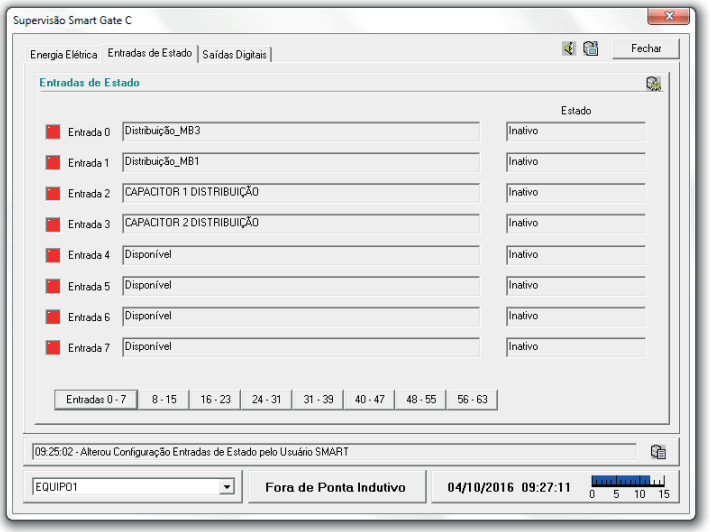
Figura 15: Tela Saídas Digitais.




Fonte: Autores.

Na tela de entradas digitais, figura 16, foi possível verificar o status de funcionamento dos motores controlados pelo sistema de gerenciamento para cada unidade remota configurada, além de quais bancos capacitores estavam acionados no momento.

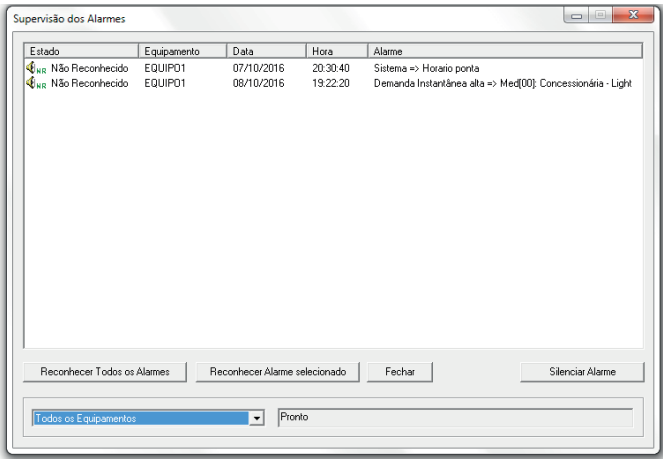
Figura 16: Tela Entradas Digitais




Fonte: Autores.

Na Supervisão dos Alarmes, figura 17, são mostradas alterações ocorridas em campo como a mudança do horário de ponta, demanda instantânea alta, etc. Os alarmes quando ocorriam emitiam um sinal sonoro afim de chamar a atenção do operador para a tela. A partir da indicação de alarme haveria a necessidade de reconhecimento do operador sobre a mesma como medida de segurança.

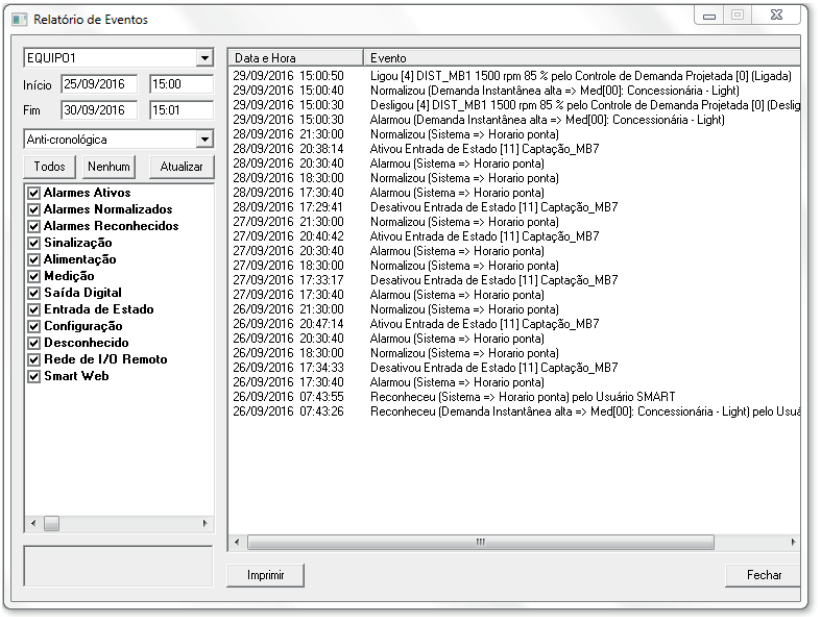
Figura 17: Tela de Alarmes.




Fonte: Autores.

A partir da tela de alarme, figura 17, o usuário poderia acompanhar todos os eventos ocorridos, podendo ainda filtrar as informações que desejasse observar dentro do período selecionado, conforme apresentado na figura 18.

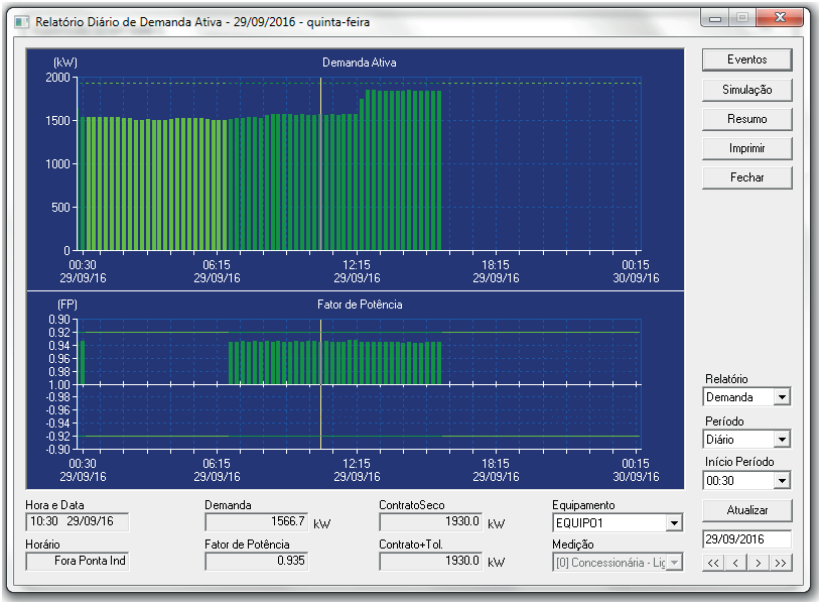
Figura 18: Tela de Eventos.




Fonte: Autores.

Através do relatório de consumo, figura 19, o usuário realizaria uma análise em qual período do dia o consumo de energia foi maior, qual o período que o valor de fator de potência possa estaria abaixo do normal, etc. Os relatórios poderiam ser diários, mensais ou anuais, podendo se escolher qual variável a ser analisada como a demanda, o consumo, o fator de potência ou o fator de carga, o qual possibilitaria assim realizar futuras correções no contrato de demanda junto a concessionária.

Figura 19: Tela de Relatório Consumo.




Fonte: Autores.

## 4 RESULTADOS

Uma vez que não se considerou a existência de faturas de consumo de energia anteriores, realizou-se uma simulação para verificar a efetividade do projeto utilizando como base de dados os seguintes valores demostrados na tabela 4.

Tabela 4: Demonstrativo de Consumo

| | Demanda contratada (kW) | Tolerância 10% (kW) | Registrado (kW) Com Controle de Demanda | Registrado (kW) Sem Controle de Demanda | Consumo Registrado (kWh) |
|---|---|---|---|---|---|
| Na Ponta | 1930 | 2123 | 1900 | 2320 | 140188,5 |
| Fora de Ponta | 1930 | 2123 | 1920 | 2250 | 981319,5 |

## 4.1 CÁLCULO DA CONTA DE ENERGIA COM O CONTROLADOR DE DEMANDA

Na Ponta

Demanda contratada com tolerância = 2123 kW

Demanda registrada = 1900 kW

Fora de Ponta

Demanda contratada com tolerância = 2123 kW

Demanda registrada = 1920 kW

VPF = (981319,5 x 0,37 + 140188,5 x 0,51 + 1920 x 12,35 + 1900 x 23,37)

VPF = 502.699,35 reais.

## 4.2 CÁLCULO DA CONTA DE ENERGIA SEM O CONTROLADOR DE DEMANDA

Na Ponta

Demanda contratada com tolerância = 2123 kW

Demanda registrada = 2320 kW

Fora de Ponta

Demanda contratada com tolerância = 2123 kW

Demanda registrada = 2250 kW

VPF = (981319,5 x 0,37 + 140188,5 x 0,51 + 1930 x 12,35 + 1930 x 23,37)

VPF = 503.523,95 reais.

Se considerar que houve a ultrapassagem da demanda acima dos 10% de tolerância, tanto na ponta como fora da ponta, a tarifa dessa parcela seria calculada de acordo com as equações 4 e 5.

$FDU_p$ = (2320 – 1930) x 46,74

$FDU_p$ = 18.228,60 reais.

$FDU_f$ = (2250 – 1930) x 24,70

$FDU_f$ = 7.904,00 reais.

Agora, para ter o valor parcial da fatura com a ultrapassagem, é somado o VPF com o $FDU_p$ e o $FDU_f$, obtendo assim o valor dessa.

Valor com a ultrapassagem = 503.523,95 + 18.228,60 + 7.904,00

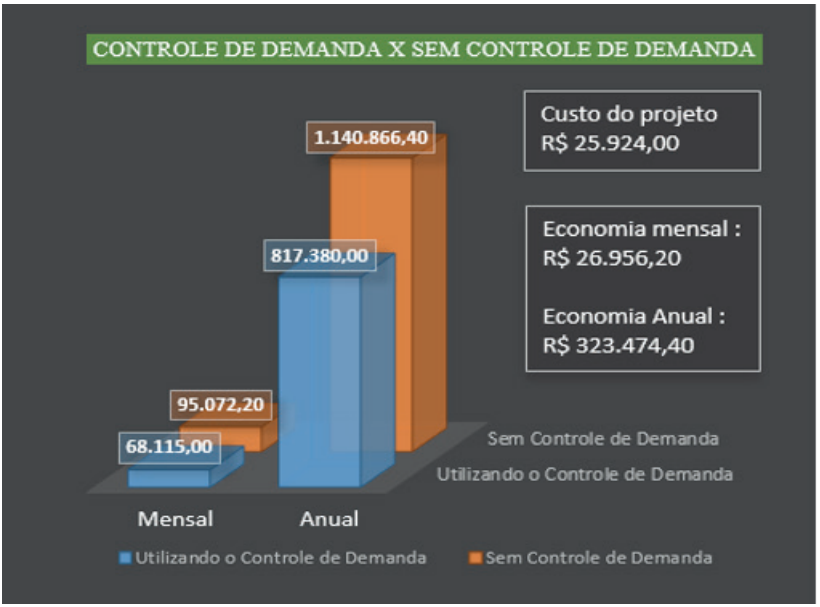
Valor com a ultrapassagem = 529.656,55 reais.

Após os cálculos simulados, demonstrou-se que com uma ultrapassagem de demanda de apenas 10% acima da tolerância permitida foi constatado uma economia na ordem de 26.956,20 reais por mês, e em um ano será economizado 323.474,40 reais, sendo como estimativa de valor do projeto em 25.924,00

reais obtido em cotações diretas com representantes dos fabricantes, ficando assim justificável a instalação do controlador de demanda, pois, em menos de 2 mês seria obtido o retorno do investimento.

A partir da utilização do controlador de demanda e fator de potência Smart Gate C realizou-se o controle e monitoramento de demanda ativa, fazendo-se uma seleção adequada das cargas. Tal procedimento permitiu que se trabalhassem em níveis abaixo do valor de demanda contratado obtendo uma economia, conforme demonstrada na figura 20, onde levou em consideração somente o gasto com a demanda, evitando assim sobretaxas, multas por ultrapassagem de demanda, sendo que este valor pode ser empregado em outros investimentos pela empresa.

Figura 20: Gráfico comparativo de gastos com Demanda.




Fonte: Autores.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados expostos indicaram a importância dos sistemas de gerenciamento de energia elétrica para as empresas. Os investimentos necessários para a implantação dos sistemas de gerenciamento seriam facilmente justificados e proporcionariam economia de energia, associada à melhoria contínua do processo produtivo em curto prazo de tempo. Desta forma o gerenciamento da energia elétrica consiste de uma ferramenta fundamental para as empresas eletro intensivas.

Mediante às diversas imposições por parte das concessionárias destacam-se as sobretaxas pela ultrapassagem de demanda e por isso a necessidade de se manter a demanda de potência em seus limites pré-estabelecidos. O controle do sistema de energia (potência, consumo, demanda, fator de potência), favorece a competitividade das indústrias, devido ao não pagamento de multas indesejadas. Desta forma, a implementação deste sistema justifica o custo x benefício do investimento.

## REFERÊNCIAS

ABB. **Manual de firmware programa de controle Standard 7.x do ACS800.** Agosto de 2011.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. **Resolução nº. 456**. 29 de novembro de 2000. Disponível em: http://www.leffa.pro.br/textos/abnt.htm. Acesso em: 27 junho 2016.

AMARAL, D.F. **Gerenciamento de energia elétrica**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Engenharia de Controle e Automação) – Curso de Engenharia de Controle e Automação. Escola de Ensino, UFOP, Ouro Preto, 2006.

AMORIN, J.; MAGLIANI, P.S.;

SILVA, R.S. **Monitoramento e gerenciamento de pico de demanda e fator de potência industrial**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Engenharia Elétrica) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade São Francisco, Itatiba, 2013.

ANDREOLI, A.L. **Controlador de demanda e fator de potência de baixo custo para unidades consumidoras de energia elétrica**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2005.

ALVES, D., RIBEIRO, D., SANTOS, L., CAMILO, J.C., ANJOS, R**. Características e benefícios dos sistemas de gerenciamento de energia**. Contagem, março, 2011. Disponível em: http://www.cck.com.br/artigos/palestras/em_gerenciamento_energia_marco_2011.pdf. Acesso em: 05 ago. 2016.

ARRUDA, T.A. **Rede de instrumentação para aplicação em controle embarcado.** 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Engenharia de Controle e Automação) – urso de Engenharia de Controle e Automação Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2009.

ASSIS, G.D. **Automação de sistema de abastecimento de Água**. 2012. Trabalho de Conclusão (Graduação - Engenharia Elétrica) – Curso de Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

CEMIG. **Manual de gerenciamento de energia**. Maio de 2011.

COPEL. **Manual de eficiência energética na indústria.** Novembro de 2005.

PAULA, G.J. de. **Medidor de demanda de energia elétrica residencial com acesso remoto.** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Engenharia da Computação) – urso de - Engenharia da Computação, Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Brasília, 2013.

EL SHHEIBIA, T.A.A. **Controle de um braço robótico utilizando uma abordagem de agente inteligente.** 2001. Dissertação (Mestrado em Informática), Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Sistemas e Computação, Campina Grande, 2001.

FERNANDES, U.B.; BISPO, B.; FERRAZ, J.H.S. **Controle de demanda de energia de um sistema elétrico.** Uberlândia, out., 2011. Disponível em: http://www.ceel.eletrica.ufu.br/artigos2011/IX_CEEL_027.pdf. Acesso em: 20 jun. 2016.

FREITAS, C.M. **Protocolo modbus**: fundamentos e aplicações. 2014. Disponível em: <http://www.embarcados.com.br/

protocolo-modbus/. Acesso em: 10 jul. 2016.

GESTAL. **Manual do sistema de supervisão, controle e gerenciamento de energia elétrica.** Fevereiro, 2012.

HAYKIN, S. **Redes neurais**: princípios e prática. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2001.

MATHEUS, H. **Controladores de demanda**. 2003. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2003.

NILSSON, J.W. **Circuitos elétricos.** 8. ed. São Paulo: Riedeel 2008.

NUNES, A.C. **Desenvolvimento de um controlador de demanda de energia elétrica residencial**. 2012. Dissertação (Pós-Graduação (Lato Sensu) em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

OZUR, F.S.; PEREIRA, T.H.; CORREA, J.D.S., Controle de demanda de energia elétrica. **E-xacta**, Belo Horizonte, v. 4, n° 3, p. 191-202, dez., 2011. Disponível em: http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/viewFile/696/405. Acesso em: 10 ago. 2016.

PINHEIRO, J.M.S. **Introdução a redes de supervisão e controle**. 2006. Disponível em: http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_redes_de_supervisao_e_controle.php. Acesso em: 10 ago. 2016.

PINHEIRO, J.M.S. **OSI:** um modelo de referência. 2008. Disponível em: http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_osi_um_modelo_de_referencia.php. Acesso em: 10 ago. 2016.

PROCEL. **Conservação de energia, eficiência energética de equipamentos e instalações.** 3. ed. Itajubá, 2006.

PROCEL. **Manual de tarifação de energia elétrica.** Agosto de 2011.

SILVA, M.C.I. **Correção do fator de potência de cargas industriais com dinâmica rápida.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2009.

SOARES, G., EMÍLIA, T., SOARES, T. Melhor aproveitamento da energia elétrica na indústria. **O Setor Elétrico**, Santa Cecília, ed. 104, Setembro, 2014. Disponível em: http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-empresa/1501-melhor-aproveitamento-da-energia-eletrica-na-industria.html. Acesso em: 01 set., 2016.

SOMMERFELD JUNIOR, E.L.; PETRY, J.C. **Bancada didática para estudo de fator de potência.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2012.

SOUZA, R.B. **Uma arquitetura para sistemas supervisórios industriais e sua aplicação em processos de elevação artificial de petróleo.** 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

SUPPA, M.R. **O Controle da energia elétrica na nova economia.** São Paulo. Disponível em: http://www.gestal.com/files/2314/3075/2699/o-controle-da-energia-eletrica-na-nova-economia.pdf. Acesso em 20 jun. 2016.

SUPPA, M.R. & TERADA, M.I. **Comparativo entre métodos**

**de controle de demanda**: qual o mais eficiente para o usuário nacional? São Paulo. Disponível em: http://www.gestal.com/files/8614/3075/2696/comparativo-entre-metodos-de-controle--de-demanda-qual-o-mais-eficiente-para-o-usuario-nacional.pdf. Acesso em: 20 jun. 2016.

TSUTIYA, M. T., **Abastecimento de água.** 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

WEG. **Correção do fator de potência**. Setembro, 2013.

# ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

# A GAMIFICAÇÃO COMO AGENTE INFLUENCIADOR DO COMPORTAMENTO EM ORGANIZAÇÕES

## GAMIFICATION AS AN INFLUENCING AGENT OF BEHAVIOR IN ORGANIZATIONS

André Luís Barros Martins[1]
Marcus Venícius Siqueira Alves[2]
Sonia de Oliveira Morcerf[3]
Zilmar Alcântara Júnior[4]

**RESUMO:** O presente trabalho tem por finalidade a disseminação das técnicas de gamificação como agente influenciador do comportamento humano, tendo em vista sua capacidade de criar experiências significativas quando aplicadas em ambientes para educação, no cotidiano e principalmente nas esferas corporativas. Em um passado recente sua aplicação vem sendo observada no mundo dos negócios, o que justifica uma pesquisa mais dedicada a fim de descobrir os melhores pontos a desenvolver, sua utilização e por fim algumas de suas diretrizes. A partir deste estudo foi possível observar a contribuição positiva da gamificação no desenvolvimento das empresas, servindo de método de divulgação e ascensão empresarial.

**Palavras-chave**: Gamificação. Comportamento organizacional. Estratégia corporativa.

1 Discente egresso do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: andrebmartins@gmail.com

2 Discente egresso do Curso de Engenharia de Produção. Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: veniciusalves@bol.com.br

3 Docente Mestre do Curso de Engenharia de Produção – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: sonia.morcerf@ubm.br

4 Docente Mestre do Curso de Engenharia de Produção – Núcleo de Pesquisa, Inovação e Difusão das Engenharias – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: zilmar.alcantara@ubm.br

**ABSTRACT:** The present work aims to disseminate the gamification techniques as an influencing agent of human behavior, considering its capacity to create meaningful experiences when applied in environments for education, in everyday life and mainly in the corporate spheres. In the recent past, its application has been observed in the business world, which justifies a more dedicated research in order to discover the best points to develop its use and finally some of its guidelines. From this study it was possible to observe the positive contribution of gamification in the development of companies, working as a method of business dissemination and growth.

**Keywords:** Gamification. Organizational behavior. Corporate strategy.

## 1 INTRODUÇÃO

A gamificação pode ser basicamente descrita como a utilização de jogos e atividades lúdicas para diversas atividades que se estendem além do entretenimento puro (ALVES JÚNIOR, 2014). Segundo PAPERT (2008) a gamificação é um evento crescente, que origina do fascínio que os games exercem, suas capacidades intrínsecas de motivar uma atitude, solucionar problemas e fomentar aprendizagens nas mais diversas áreas do conhecimento e da vida corrente. Esse potencial que os games apresentam, já havia sido percebido num passado recente de três décadas.

Porém, a indústria dos games ainda estava em ascensão. Nos dias atuais, pode-se dizer que a influência dessa forma de entretenimento “diversão”, é global e atinge a todas as camadas sociais (FARDO, 2013).

De acordo com Zichermann e Cunningham (2011), a gamificação foi emanada como método aplicado em programas de marketing e uso para web, com o intento de motivar, engajar e fidelizar clientes e usuários. Para estes autores, a gamificação pressupõe a utilização de elementos tradicionalmente encontrados nos games, como narrativa, sistema de feedback,

sistema de recompensas, conflito, cooperação, competição, objetivos e regras claras, níveis, tentativa e erro, diversão, interação, interatividade, entre outros. Demais atividades que não são diretamente associadas aos games, têm por objetivo tentar obter o mesmo grau de envolvimento e motivação que normalmente encontra-se nos jogadores quando em interação com bons games.

O propósito é conseguir figurar um determinado problema ou contexto e desenvolver soluções a partir do ponto de vista de um game designer (profissional responsável pela criação de jogos eletrônicos), já que esse profissional geralmente possui um know-how ímpar em produzir experiências que concentram a energia e o foco de muitos indivíduos para resolver problemas em mundos virtuais (MCGONIGAL, 2011).

No entanto, de acordo com Fardo (2013) a gamificação não significa criar um game que aborde o problema, recriando a situação dentro de um mundo virtual, mas sim em usar as mesmas estratégias, expedientes e conhecimentos que são utilizados nos mundos virtuais, em situações do mundo real e verdadeiras.

Nesses termos, ainda de acordo com os conceitos analisados por Fardo (2013) sobre a gamificação, pode-se dizer que ela admite o uso de elementos dos games, sem que o desfecho final seja um game completo, mas que se diferencia do design lúdico no grau em que este pressupõe apenas um enfoque de maior liberdade, quanto ao contexto em que está inserido. Ou seja, no conceito da gamificação, abordar um problema de forma lúdica, não significa apenas contemplar objetivos e seguir uma metodologia mais precisa, mas sim utilizar de ferramentas destas para se alcançar resultados eficientes.

O presente estudo caracteriza-se como uma análise sobre a gamificação e seus componentes, principalmente quando associada ao marketing e sua influência organizacional nas empresas. O levantamento bibliográfico proporciona bases para investigações futuras sobre a temática da gamificação.

Diante da importância que a gamificação representa, como uma ferramenta inovadora e incentivadora nos resultados satisfatórios das logísticas de produção empresariais, torna-se

necessário o estudo de suas técnicas e mecanismos, que serão abordadas no presente trabalho.

O objetivo geral do presente estudo consiste em apresentar o conceito de gamificação, associando sua aplicação em ambientes corporativos, de marketing ou na vida social, demonstrando sua importância na contribuição do desenvolvimento pessoal.

## 2 DESENVOLVIMENTO

A gamificação possui um vínculo estreito com o marketing. Neste contexto, torna-se fundamental a condução de estudos relacionados ao tema. Este trabalho foi realizado através de pesquisa bibliográfica. Utilizou-se do levantamento bibliográfico para execução do estudo, o que permitiu a construção e entendimento do conceito de gamificação. Também foi realizada uma pesquisa que avaliou a interação entre o marketing e a gamificação.

O estudo caracteriza-se como análise generalista, devido à visualização dos vários componentes que caracterizam a gamificação em serviços, marketing e sua importante influência na mudança comportamental nas organizações

### 2.1 CONCEITO DE GAMIFICAÇÃO E A ASSOCIAÇÃO COM JOGOS

De acordo com a literatura atual, o termo “Gamification”, surgiu pela primeira vez em 2002. Na ocasião, o programador Nick Pelling estava focado em aplicar ideais de jogos para transformar processos eletrônicos mais rápidos e divertidos (PELLING, 2011). No entanto, a disseminação deste conceito, só ocorreu em 2008.

Nesta ocasião, a pesquisadora Jane Mcgonical, autora do Best Seller “A realidade em jogo: por que os games nos tornam melhores e como eles podem mudar o mundo”, palestrou sobre a influência dos jogos no auxílio e resolução de problemas complexos do mundo. A pesquisadora acredita que o os games são capazes de despertar o melhor de cada pessoa (ALVES JUNIOR, 2014).

Segundo Vianna *et al* (2013) a gamificação equivale ao uso de mecanismos de jogos com o objetivo de resolver problemas práticos ou de despertar engajamento entre um público específico. Cada vez mais, esse conjunto de técnicas tem sido aplicado por empresas e entidades de diversos segmentos como alternativas às abordagens tradicionais, principalmente no que se refere a encorajar pessoas a adotarem determinados comportamentos, a familiarizarem-se com novas tecnologias, a agilizar seus processos de aprendizado ou de treinamento e reverter tarefas consideradas tediosas ou repetitivas, em ofícios agradáveis.

Para o atual guru de gamificação Yu-kai Chou, a maior contribuição que a metodologia pode oferecer à sociedade, seria opor o tradicional modelo de "Design Focado em Funcionalidade" ao "Design Focado no Aspecto Humano". De acordo com sua teoria, a maioria dos sistemas de produção conhecidos, visa fazer com que as tarefas sejam realizadas no menor tempo possível (VIANNA; VIANNA, 2017).

Segundos estes autores, esta maneira de pensar o modelo organizacional, pode por exemplo, acarretar a mudança da cultura de um departamento ou a aceitação voluntária de um novo processo corporativo.

Para melhor entendimento do conceito de gamificação, torna-se essencial sua associação ao mecanismo dos jogos. Segundo Huizinga (2001) os jogos podem ser considerados mais do que um mero fenômeno fisiológico ou apenas um reflexo psicológico. Vai além disso. Pode-se considerar que eles ultrapassam os limites da atividade puramente física ou biológica. O autor ressalta que os jogos são uma função significante, isto é, encerram um determinado sentido, e, portanto, no jogo, existe alguma coisa "em jogo" que ultrapassa as necessidades imediatas da vida, conferindo assim, um sentido à ação.

Mas de que maneira exatamente os jogos podem auxiliar o entendimento ou mesmo a adaptação às transformações do cotidiano? Qual seria, por exemplo, a contribuição significativa prestada ao mundo dos negócios, visto que, como legítimo elemento cultural, os jogos contribuem para o desenvolvimento cognitivo, afetivo e social? Deste modo, verifica-se a necessi-

dade da discussão sobre a representatividade dos jogos em diferentes contextos.

Os jogos podem estar relacionados às satisfações e necessidades. A Pirâmide das Necessidades (MASLOW, 1943) é um exemplo significativo para maior entendimento desta questão.

Talvez, num primeiro passo para a compreensão do fenômeno que os jogos representam, possa estar relacionado à célebre Teoria da Hierarquia de Necessidades, desenvolvida em 1943 pelo psicólogo norte-americano Abraham Maslow. De acordo com o estudo, as necessidades humanas podem ser agrupadas em extratos de uma pirâmide, sugerindo que a jornada para a realização de qualquer indivíduo só é bem-sucedida quando a satisfação de seus anseios ocorre em ordem crescente, ou seja, partindo dos mais básicos para os mais complexos (MJV TECHNOLOGY &INNOVATION, 2013).

Na base da pirâmide estão as demandas fisiológicas, tais como alimentar-se, respirar ou beber água; seguidas por demandas relacionadas à segurança, ao amor, à estima e, por fim, à realização pessoal, como dispor de um senso de moralidade, exercera criatividade e alcançar a espontaneidade nas relações.

Seguindo a lógica de entendimento da pirâmide, o ato de jogar estaria relacionado ao ápice da pirâmide, uma vez que se classifica como uma atividade desejável, mas não essencial à sobrevivência (MJV TECHNOLOGY &INNOVATION, 2013). No entanto, a questão principal é, que quanto mais complexos ficaram os indivíduos, as sociedades e, consequentemente, a própria vida, mais complicados se tornaram também os mecanismos requeridos para experimentar no cotidiano o imprescindível sentimento de satisfação (VIANNA, 2017). Ainda associando os jogos com os fundamentos da pirâmide, quase sempre, no ambiente de trabalho, ou nas relações afetivas, as regras aparentam ser nebulosas; as metas, indeterminadas; e a maneira de alcançá-las, desconhecida. As ações não costumam receber feedback, e as recompensas, quando existem, podem custar a vir. Deste modo, é compreensível a criação de jogos, visto que eles saciam de modo mais simples, rápido, claro e eficiente essa constante busca que assola por conquistar ou cumprir objetivos (ANDREASI, 2017).

De acordo com a teoria de Bernard Suits (1978) em seu livro The Grasshopper: Games, Life and Utopia, “Um jogo é uma tentativa voluntária de transpor obstáculos desnecessários.” Segundo o autor, como no jogo da vida, ganhar ou perder são conceitos bastante subjetivos, eis que os tais “obstáculos desnecessários” assumem a função de nos prover alguma certeza em meio a tantas suposições (VIANNA *et al*, 2013).

O entendimento de gamificação como metodologia, exige a priori, a inevitável associação com os jogos. No entanto, a gamificação, conceitualmente, tem sido mal interpretada. Não é correto pensar que a gamificação é uma ciência que se limita ao ato de criar jogos, mas sim uma metodologia por meio da qual se aplicam mecanismos de jogos à resolução de problemas ou impasses em outros contextos (VIANNA *et al*, 2013).

## 2.2 O EMPREGO DA GAMIFICAÇÃO NAS EMPRESAS

Segundo Vianna *et al* (2013) qualquer indivíduo que vivencie o dia a dia de uma empresa, pode perceber indícios e sinais, quando surge a urgência de renovação dos modelos de produção. O autor ressalta a importância de se repensar os protótipos atuais de produção, com o objetivo de estimular a motivação e a fidelização dos funcionários, potencializar a colaboração e agilizar os processos incompatíveis com a velocidade dos acontecimentos; ou mesmo promover a troca de informações de maneira objetiva, transparente. Diante este contexto, a gamificação manifesta-se como um conjunto de mecanismos e ferramentas capaz de não só apresentar alternativas tangíveis para lidar com os temas citados, mas também, de modo a sugerir um novo modo de enxergar as relações de trabalho (MJV TECHNOLOGY &INNOVATION, 2014).

Diversas grandes empresas já utilizam as mecânicas de jogos como estratégia para gerar engajamento entre clientes, sobretudo devido à percepção de que esse conjunto de métodos já se demonstrou efetivo como ferramenta para impactar mercados, impulsionar vendas, trazer mais assertividade no recrutamento e auxiliar a desenvolver produtos e serviços (VIANNA, 2017).

Segundo um relatório publicado em meados de 2012, o Gartner Group indica que até 2015 cerca de 50% de todo o processo de inovação global será gamificado. Em 2016, ainda de acordo com o estudo, o mercado da Gamificação corresponderá a aproximadamente U$ 2.8 bilhões (MJV TECHNOLOGY &INNOVATION, 2014).

## 2.3 RELAÇÃO ENTRE GAMIFICAÇÃO E GERAÇÃO Y

Conceitua-se geração Y, como a geração das pessoas que nasceram após os anos 80, e são as pessoas conhecidas também por serem chamadas de geração do milênio ou geração da internet, que surgiu exatamente nesta época. É a geração que vivenciou muitos avanços tecnológicos (WIKIPEDIA, 2017). Portanto, neste contexto, a gamificação aplicada nesta geração Y, aponta experiências de sucesso na resolução de problemas diversos. O que reforça a impressão de que participar de jogos e competição é uma atividade inerente ao comportamento humano. Em um jogo, quando as regras e as metas a serem atingidas são perfeitamente claras, o resultado quase sempre observado é o de jogadores engajados em buscar soluções inovadoras para os desafios que têm pela frente e mais seguras quanto à maneira de cumpri-los. Tudo indica que este cenário, quando replicado para o âmbito corporativo, tem a capacidade de revolucionar a maneira de pensar e exercer atividades profissionais (MEDINA, 2014).

## 2.4 A IMPORTÂNCIA DA GAMIFICAÇÃO NO AMBIENTE DE TRABALHO

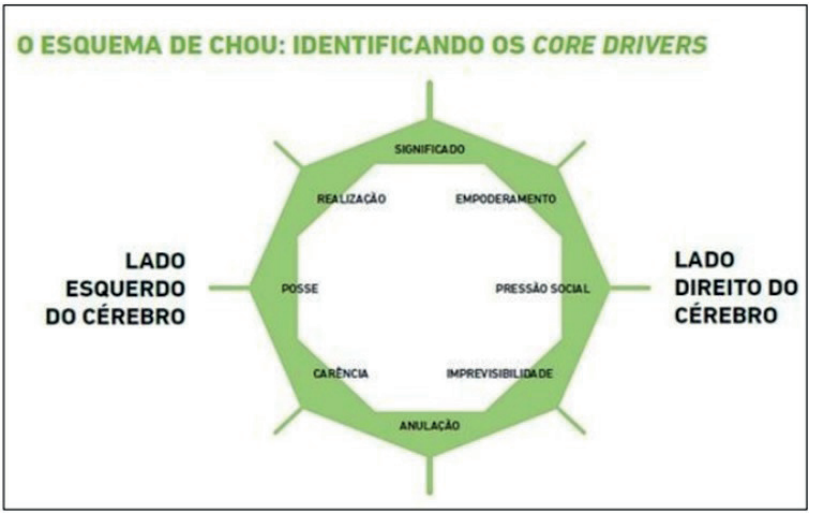
Medina (2014) ressalta que atualmente as companhias apresentam em seus quadros cada vez mais profissionais pertencentes à geração y. Diante este fato, mais cedo ou mais tarde, haverá a necessidade de adequar, ou ao menos considerar, a gamificação na concepção de processos corporativos. A gamificação nestes ambientes, permitirão a iniciativa da utilização de jogos permeando as relações profissionais, o que vêm se revelando como uma eficiente maneira de gerar engajamento, estimulando a cooperação e amenizando os possíveis desconfortos nos ambientes de trabalho.

## 2.5 COMO POTENCIALIZAR O ENGAJAMENTO CORPORATIVO

### 2.5.1 Gamificação e engajamento

Quando se pensa em gamificação, na maioria das vezes, concentra-se na mecânica e busca-se entender quais são as motivações que estariam na retaguarda das atitudes das pessoas, ou seja, quais seriam as vontades e fatores que as inspiram na realização das tarefas. Por meio do processo de criação da mecânica do jogo e seu encaixe em determinado contexto, explora-se, primeiramente, o entendimento a respeito do que traz valor para as pessoas afetadas. Este fato, implica na reformulação das atividades, de modo a torná-las mais divertidas e significativas. Portanto, é necessário primeiramente perceber por inteiro o modo de atuação de cada empresa, e de cada membro da equipe que envolve a operação. Para maior compreensão desta investigação, são empregadas diversas ferramentas, entre elas, o framework (figura 1) (VIANNA; VIANNA, 2017).

Figura 1- Esquema de Chou: complete Gamification framework




Fonte: MJV Techonology & Innovation (2017).

De acordo com Vianna e Vianna (2017) este framework é um artifício criado por Yu-kai Chou, conhecido como o "guru" da gamificação. Funciona de modo que ao mesmo tempo que analisa e constrói as estratégias em projetos, também busca refletir os critérios que tornam um jogo divertido e eficiente. Como observado acima, o Esquema de Chou exibe uma forma geométrica de oito lados, cada qual representando um tipo de motivação diferente, sendo assim, apresenta algumas preocupações que todo gestor deve ter em mente ao criar um projeto de gamificação.

Os *core drivers* são oito motivadores que estão ligadas às ações do lado direito do cérebro, como a criatividade, e ações ligadas à parte esquerda do cérebro, são consideradas de ordem mais lógica. A parte de cima, é descrita como *White hat gamification* (gamificação chapéu branco), e está associada às sensações consideradas positivas, mas não são de urgência.

Segundo o Esquema, um motivador que fica em cima, é o "significado Épico", aquele que representa a realização de algo maior do que sua própria vida, e que certamente irá influenciar várias outras pessoas, mas que não há necessidade de ser realizado imediatamente. A parte inferior, o *Black hat gamification* (gamificação chapéu preto), não proporciona uma sensação tão positiva, pois está associado a um senso de urgência muito significativa, como a implementação de uma ação na qual se corre o risco de perder pontos ou status (VIANNA; VIANNA, 2017).

De acordo com Viana e Vianna (2017) este framework desperta atenção, pois ele permite fazer o balanceamento desses diversos motivadores para que veja valor na tarefa, estimulando-os. Portanto, a gamificação incentiva na identificação das motivações ou core drivers, que leva as pessoas a realizarem determinadas atividades. Desse modo, é possível entendê-las e criar soluções estratégicas e balanceadas para que a motivação seja contínua.

### 2.5.2 Motivações extrínsecas x intrínsecas

Conforme definem suas estratégias específicas de gamificação, as empresas devem observar como promover o equilíbrio entre as motivações externas e internas dos usuários. Ou seja, de modo prático, isso significa que, ao basearem-se somente nos prêmios e recompensas externos, as organizações podem acabar tendo um grande desafio de longo prazo. Ou elas precisam aumentar esse tipo de recompensa no decorrer do tempo, já que as pessoas não vão melhorar suas ações para ganhar o mesmo tipo de prêmio, ou enfrentarão a queda na performance ao retirarem os prêmios (MJV TECHNOLOGY & INNOVATION, 2017).

Seguindo este raciocínio, é necessário entender quem são as pessoas e o que as motiva intimamente a agir. A gamificação precisa ser centrada no humano, e levar em consideração os comportamentos e o entendimento dos contextos, hábitos e valores das pessoas. Tudo isso, porque o objetivo não é criar um simples jogo, mas sim uma solução de negócio capaz de impactar positivamente no engajamento e produtividade das equipes (MEDINA, 2014).

### 2.5.3 Os 5 passos importantes para gamificar uma empresa

Um estudo realizado pelo Gartner Group, mostrou que até 2015, 40% das empresas da Fortune 1000 já teriam implementado a gamificação em algum procedimento gerencial. Esta instituição afirma que quando se pensa em um projeto de gamificação, é importante identificar quais os objetivos principais da empresa, e torna-se fundamental analisar qual metodologia a ser aplicada para o alcance destes objetivos. Uma estratégia muito utilizada, seria aplicar técnicas de jogos para engajar colaboradores e melhorar os resultados de negócio. (BURKE, 2017).

Abaixo, serão descritos os cinco passos importantes que justificam a gamificação de uma empresa, segundo Vianna e Vianna (2017).

### 2.5.3.1. Estimule a competição saudável

A gamificação tem por ofício incentivar as pessoas no desenvolvimento de comportamentos desejados, indicando o caminho para a maestria, considerando a predisposição psicológica que os indivíduos apresentam para os jogos.

Uma forma de fazer esse mecanismo funcionar, é criando a competição. Essa situação é bem comum quando uma equipe comercial define metas, e cria premiações para que os vendedores as atinjam, premiando os esforços e resultados com boas vendas. O mecanismo de competição reforça o engajamento dos vendedores na venda, pois eles também querem se destacar no grupo como excelentes profissionais. Isso pode ser feito em todos os departamentos. Quanto mais as pessoas se esforçarem para estar no topo da competição, melhores serão os resultados individuais, do grupo e, consequentemente, do negócio (VIANNA; VIANNA, 2017).

### 2.5.3.2. Divulgue os resultados e esforços

De acordo com Vianna e Vianna (2017) quando surge a sensação de vitória, ao se avançar, por exemplo de uma fase num jogo, este sentimento também impulsiona o reconhecimento por ser um excelente jogador. Desse modo, quando há reconhecimento público dos profissionais por seus esforços, associado ao bom resultado da organização, a tendência é que mantenham o nível de trabalho e estimulem os demais.

### 2.5.3.3. Incentive a colaboração

Quando os jogos são realizados em equipe, costumam proporcionar maior emoção. Cria-se maior incentivo e contribuição para que todos os outros jogadores desempenhem de melhor modo seu papel. O resultado almejado, é o resultado em equipe. Sendo assim, além de metas individuais, também surgem as metas coletivas. Quando se trabalha em equipe, o espírito de vitória é reforçado e todos objetivam o cumprimento das metas coletivas (VIANNA; VIANNA, 2017).

### 2.5.3.4. Insira elementos lúdicos

Vianna e Vianna (2017) ressaltam que o mecanismo de gamificação funciona de modo eficiente quando costuma-se utilizar da ludicidade. A competição precisa ser estimulante no sentido de vencer os desafios, mas também pela descontração proporcionada. Trabalhar com nomes divertidos para a equipe, com símbolos que definam como atingir as metas e com premiações simbólicas, torna-se estimulante.

Exemplificando, pode ser criada uma competição baseada no cinema, inspirando os nomes dos times em “Star Wars”, “Quarteto Fantástico”, etc.; a premiação pode ser o “Oscar de vendas” (no caso do comercial) ou, ainda, a empresa pode oferecer ingressos para um filme. Quanto mais relevante for essa metáfora para a equipe, mais as pessoas irão se envolver. É de extrema importância que se trabalhe com a psicologia quando se trata de atividades gamificadas. É fundamental ainda, que sempre valorizar os feedbacks positivos (pontos, badges, status, progressão etc.) para construir a motivação dos colaboradores.

### 2.5.3.5. Utilize ferramentas

Segundo Vianna e Vianna (2017) O processo de gamificação pode ser realizado com materiais que estão disponíveis no escritório, a exemplo do lápis e papel. Tudo vai depender do nível de gamificação que se deseja fazer, do tempo e das pessoas dedicadas a operar esse mecanismo. O que tem sido utilizado atualmente nos processos de gamificação das empresas, é a adoção de um software como plataforma. O maior benefício é a possibilidade de integrar os sistemas que a organização já utiliza à ferramenta. Desse modo o CRM, sistema de gestão de projetos ou o ERP da empresa, podem se comunicar com a plataforma de gamificação, proporcionando a gestão e o balanceamento desse processo.

## 2.6 CULTURA DE INOVAÇÃO E MELHORIA CONTÍNUA

Toda empresa é constituída de um ecossistema formado por diferentes sujeitos que, juntos, formam a base que sustenta e define sua imagem e o desempenho dos seus negócios. A ma-

neira como esse ecossistema aborda o trabalho e os objetivos da organização forma a cultura empresarial. Quando considera-se a cultura como o conjunto de fatores determinantes dos desejos, crenças e comportamentos das pessoas, de acordo com José Alberto Aranha em 'Interfaces: "A chave para compreender pessoas e suas relações em um ambiente de inovação, é entender que a cultura de inovação é também produto das relações entre a empresa e seus colaboradores (MJV TECHONOLOGY & INNOVATION, 2014).

Deste modo, a cultura de inovação não deve ser imposta, e sim incentivada. Além disso, está diretamente relacionada à maneira como os colaboradores ajudam a empresa a criar valor. A cultura de inovação parte do princípio de que a inovação não se dá através de um evento isolado. Ela é a mudança disruptiva na mentalidade de todos os sujeitos que compõem o ecossistema empresarial, permeando desde a reformulação de processos já existentes até os esforços para criar formas completamente novas de desenvolver produtos ou serviços (VIANNA; VIANNA, 2017).

Esse pensamento está diretamente relacionado ao conceito de Melhoria Contínua, derivado do Gerenciamento Total da Qualidade. Esse processo seria constituído de um conjunto de atividades por meio dos quais todas as partes de uma organização trabalham juntas para aumentar a satisfação dos clientes (sejam eles internos ou externos). Muito embora o processo de desenvolvimento de uma cultura de inovação seja único para cada empresa, há um consenso a cerca de três elementos que não podem faltar no desenvolvimento dessa iniciativa (MJV TECHNOLOGY & INNOVATION, 2015).

## 2.7 COMO EVITAR O "INNOVATION THEATER"

Segundo os autores Vianna e Vianna (2015) a nova mentalidade da inovação, inicia-se com o topo da organização e deve abranger todos os níveis. É fundamental que inclua a cultura, as crenças, expectativas, e o senso de propósito daqueles que fazem parte da organização. Com a ascensão da inovação como termômetro de qualidade e sucesso de uma empresa,

muitas organizações perdem o foco e dedicam-se somente a conquistar o título de “inovadoras” no mercado no qual estão inseridas. Estas empresas investem em atividades ou recursos inovadores, mas nem sempre planejam de modo adequado a cultura de inovação. Isso compromete diretamente os resultados, impedindo que de fato aconteça disrupção ou melhor eficiência dos processos internos (MJV TECHNOLOGY & INNOVATION, 2016).

O termo *innovation theater* traduz exatamente este comportamento, o que significa “teatro de inovação”. Segundo o blog MJV (2016) as empresas que adotam essa postura transmitem uma imagem superficial, uma vez que falta estruturação e continuidade do plano de transformação da forma de pensar da organização.

Os *hackathons* são um exemplo desse fenômeno que está acontecendo no país afora. *Hackathons* são eventos que ocorrem por algumas horas ou alguns dias, sua praticidade leva as empresas a utilizar esta ferramenta apenas como uma forma de reunir seus funcionários para ter novas ideias, sem a preocupação da existência de um problema real a ser solucionado ou um objetivo claro a ser atingido.

É importante ressaltar que essas maratonas não devem ser eventos isolados. Devem ser consideradas apenas como um pontapé para uma série de atividades voltadas para a cultura de inovação ou para o desenvolvimento de um produto, às vezes seguido de mudanças radicais na forma como uma empresa funciona. Mais uma vez, eles são parte de um processo.

Dessa forma, seguramente não é recomendável organizar um *hackathon* com o simples objetivo de ter essa experiência ou gerar algumas ideias para depois voltar à rotina da empresa. Este processo deve fazer parte de um plano de inovação, que implicará em uma gestão da mudança (MJV TECHNOLOGY & INNOVATION, 2016).

## 2.8 EXEMPLOS DA APLICAÇÃO DE GAMIFICAÇÃO EM ORGANIZAÇÕES

Muitas empresas obtiveram êxito com o processo de gamificação no setor de marketing, através da utilização de diversas estratégias. Entre elas estão a Microsoft, Nike, Starbucks, McDonald's, Coca-Cola, Magnum, Heineken, Duolingo. A gamificação na área de marketing envolve enormes possibilidades criativas. Abaixo serão exemplificados alguns dos casos de sucesso.

### 2.8.1 Microsoft Light-Hearted Hero 2

A Light-Hearted Hero 2 da fita pode ajudar os usuários a trabalhar mais facilmente com a interface Ribbon no Microsoft Office 2007 ou 2010. Um utilitário gratuito da Microsoft que apresenta como aproveitar ao máximo a interface Ribbon.

Esta ferramenta de treinamento se apresenta sob a forma de um jogo. Fita Hero 2 traz diversos tipos de testes para ensinar as pessoas a realizar seus trabalhos usando a fita nas últimas duas versões do Office. O utilitário integra-se diretamente com o Word, Excel, PowerPoint e OneNote, incentivando os usuários a executar tarefas específicas e fornecendo dicas ao longo do caminho quando necessário. A fita herói 2 proporciona senso de humor único e também revive o mesmo clip de versões anteriores do Office. No entanto, nesta versão, seu objetivo é ajudar Clippy através da realização de uma série de tarefas para marcar pontos e aprender a usar o Office mais eficazmente. Considera-se como elementos de jogo: marcar pontos, e competir com seus amigos enquanto melhora a sua produtividade com o Office (TECHNET MAGAZINE, 2017).

### 2.8.2 Nike+ Fuel band e Acessórios

A Nike, grande empresa conhecida no ramo de esportes, lançou uma aplicação em janeiro de 2012 chamada Nike+ Fuel band. E, desde então, tornou-se um esporte popular gamificado. Trata-se de uma pulseira com uma tecnologia especial que

pode monitorar os movimentos do usuário. Os participantes devem fazer o download do Nike + App para acompanhar seus treinos. Esta tecnologia especial permite o rastreio, compartilhamento, promovendo o desafio e interação com os amigos e corredores de todo o mundo. Com isso, a Nike é capaz de criar uma experiência envolvente que transcende a atividade mundo real. Ressalta-se os elementos de jogos: estatísticas (como o número de calorias queimadas) são exibidos para fornecer feedback, conquistas, distintivos, desafios e recompensas. Através dessa novidade, a Nike redefiniu o conceito de correr, através do Nike Plus (MENEZES; BORTOLI, 2016).

### 2.8.3 My Starbucks Reward

A marca Starbucks criou uma metodologia, que ao incorporar vários níveis e recompensas associadas a regalias por nível comum rastreador de progressão, os usuários são incentivados a se envolver continuamente com a marca. A estratégia maior é atrair os clientes, para que eles possam permanecer mais tempo ao se sentar para desfrutar do café. Como os "Starbucks Obras de Recompensa" utilizou táticas de gamificação para impulsionar as vendas e promover a melhoria da experiência do Starbucks. Através de um aplicativo, os jogadores inscrevem-se para o programa de recompensa. Ao adquirir um produto, de Starbucks, eles acumulam estrelas elementos de jogo (nivelamento, recompensas). Através deste processo de gamificação a Starbucks incorporou mecânica do jogo em que é o programa de fidelidade popular (MENEZES; BORTOLI, 2016).

### 2.8.4 Jogo Monopoly McDonald´s

O McDonald´s criou uma estratégia de aumento em suas vendas utilizando conceitos de gamificação derivados do clássico jogo de Monopólio. Esta promoção remonta a 1987, e isso ocorre inteiramente off-line (MCDONALD'S..., 2017). Ao adquirir determinados produtos, o cliente recebe bilhetes. Cada bilhete representa um espaço no tabuleiro do jogo de monopólio. O objetivo é coletar todas as peças da mesma cor para ser

elegível para um prêmio. Elementos de jogo: Nivelamento, Recompensas, Conquistas.

### 2.8.5 COCA-COLA Chok! Chok!

A Coca Cola adotou um slogan chamado Chok! Chok em sua campanha realizada em Hong Kong. A frase significa um movimento rápido na gíria local. Com um plano para transformar um anúncio de TV em um conteúdo envolvente e interativo, a empresa de refrigerantes gigantes Coca Cola, combinou TV e smartphones em uma grande campanha interativa que ganhou usuários prêmios e jogos gratuitos (KUO, 2013). Novo comercial de televisão chinesa da Coca-Cola permitiu uma experiência interativa, proporcionando aos usuários agitar seus telefones para pegar tampas de garrafa e ganhar jogos para celular, descontos e entradas de sorteios. Os espectadores simplesmente tinham que lançar a Coca-Cola Chok Appe arremessá-lo no comercial, uma vez que foi ao ar todas as noites às 10h.

A campanha alcançou o topo dos downloads de aplicativos locais para iOS em um único dia, atingiu 380 mil de downloads em um mês, e o comercial de televisão recebeu mais de 9 milhões de visualizações Total. O aplicativo foi um sucesso, Coca-Cola alinhou esta campanha com a sua missão da gamificação (KUO, 2013).

### 2.8.6 Magnum Pleasure Hunt

Ao lançar seu bar de sorvete, a empresa de chocolate Magnum, criou uma campanha inteligente e inovadora. Lançou o jogo Pleasure Hunt – Across the Globe, sequência do game de sucesso Pleasure Hunt – Across The Internet, um jogo interativo. Segundo Menezes e Bortoli (2016) a primeira versão do jogo foi um sucesso, atraindo mais de 7 milhões de jogadores em todo o mundo, que passaram uma média de 5 minutos interagindo com a marca e em busca de alcançar a melhor pontuação do ranking. A sequência do game: Pleasure Hunt 2 em todo o mundo é uma divertida aventura interativa, na qual a personagem principal precisa correr pelas ruas movimentadas de Nova York, flutuar sobre o horizonte romântico de Paris

e surfar as ondas do Rio de Janeiro. O personagem principal percorre o mundo através da ferramenta *Bing Maps Streetside*. Neste percurso ele coleta bombons de chocolate e flocos de cacau pelo caminho na sua caça ao prazer final: o novo Magnum Chocolate com Amêndoas.

### 2.8.7 Heineken Star Player

De acordo com Menezes e Bortoli (2016) esta marca é patrocinadora dos jogos oficiais da *Champions League*, e utilizaram da gamificação para se engajar ativamente aos consumidores "jogadores" durante todo o evento para aumentar a conscientização da Heineken. A ideia do Heineken Star Player é prever os lances dos jogos da Champions League, ao vivo. O consumidor/jogador abre o aplicativo e assiste ao jogo na TV, assim que um time for para o ataque o consumidor/jogador pode palpitar se vai ser gol, defesa, bola para fora, etc. A cada acerto, ganha pontos e *badges*, também é possível tentar prever outras ações do jogo, como um escanteio, pênalti ou se sairá gol nos próximos 30 segundos. O mundo inteiro é um ranking, principalmente porque a brincadeira não fica restrita apenas para iPhone, já que pode jogar o Star Player pelo Facebook.

### 2.8.8 Duolingo

Através do Duolingo, é possível combinar o aprendizado gratuito de línguas com um serviço de tradução de idiomas fundamentado em *crowdsourcing*. O sistema foi concebido de modo que, ao estudar determinado idioma, o aluno, ainda que sem estar completamente ciente disso, ajuda a traduzir sites e documentos online.

Ao começar o curso, os iniciantes traduzem frases simples e, de acordo com o progresso demonstrado, recebem trechos mais complexos, e assim por diante. Os usuários da plataforma são então convidados a dar notas para as traduções dos colegas, proporcionando um valioso feedback quanto à compreensão e ao aprendizado dos responsáveis pelo trabalho realizado.

Ao passo que evoluem em seu conhecimento, os estudantes recebem pontos quando completam lições específicas sendo que algumas delas envolvem restrições de tempo ou são imprescindíveis para “mudar de fase”. Respostas erradas resultam na perda de pontos e de “vidas”, assim como retardam a evolução no jogo. Como o sistema é adaptativo, cada estudante tem uma experiência de aprendizado absolutamente customizada para suas necessidades uma vez que os desafios são estipulados de acordo com o desempenho apresentado. É importante ressaltar que, como o modelo concebido é eficiente, visto que, apesar dos usuários do Duolingo tecnicamente estarem trabalhando sem serem remunerados pelas traduções, parecem não se importar nem um pouco com isso (VIANNA *et al*, 2013).

## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações apresentadas neste trabalho demonstram que os jogos estão intrínsecos desde a tenra idade e que as exigências competitivas, o assédio tecnológico e inovações transformam simples funcionários em “sócios operacionais” com uma visão ampla dos negócios onde laboram. Desta forma tudo que venha a contribuir para o desempenho de uma organização é bem-vindo, e a Gamificação é um recurso expressivo, pois desenvolver o comportamento humano é primordial para a obtenção de bons resultados

## REFERÊNCIAS

ALVES JUNIOR, V. A gamificação no processo desenvolvimento e aprendizagem da inovação. 2014, 71 páginas. Monografia. Departamento de Economia, Administração e Contabilidade. Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, 2014.

ANDREASI, D. **Consumismo x pirâmide de Maslow**. Uma outra visão da teoria. Disponível em :http:// www.jovemadministrador.com.br. Acesso em: 15 fev. 2017.

BURKE, B. **Gartner redefines gamification**. 2017. Disponível em: http//blogs.gartner.com.brian. Acesso em: 10 fev. 2017.

FARDO, L.M. A gamificação aplicada em ambientes de aprendizagem. CINTED-UFRGS. **NovasTecnologias na Educação Programa de Pós-Graduação em Educação**, Universidade de Caxias do Sul, v. 11, n. 1, jul. 2013.

HEINEKEN star player. **AKQA**. Disponível em: https://creativepool.com/akqa/projects/heineken-star-player-for-heineken. Acesso em: 02 fev.2017.

HUIZINGA, J. **Homo ludens**: o jogo como elemento da cultura. São Paulo: Perspectiva, 2001.

KUO, I. Chok! Coca-Cola's most successful Hong Kong marketing campaign in 35 years. **Gamification Co**. Disponível em: https://www.gamification.co/2013/02/21/chok-coca-cola-marketing-campaign/Acesso em: 02 jan. 2017.

MAGNUM. Pleasure caça. Disponível em: http://pleasurehunt2.mymagnum.com/?lc=pt_br. Acesso em: 15 jan. 2017.

MASLOW, A. H. A Theory of human motivation. **Psychological Review**, v. 50, n.4, p.370-96, 1943.

MEDINA, B. **Gamificação**: 4 respostas que você precisa saber. São Paulo. 02 abr. 2014. Disponível em:< http://blog.mjv.com.br/ideias/gamificacao-4- espostasque-voce-precisa-saber. Acesso em: 10 fev. 2017.

MENEZES, C.C.N.; BORTOLI, R. Gamificação e seu potencial no marketing. **Rázon y Palabra**. Primera Revista Electrónica en Iberoamérica Especializada en Comunicación, n. 93, abr. 2016.

MC DONALD'S. **Monopoly McDonald's**. Disponível em: https://www.milhaonomc.com.br/. Acesso em 12 de Janeiro de 2017.

MC DONALD'S usa jogo monopoly para sortear fritas, nuggets e R$ 1 mi em ouro. **UOL economia**. Disponível em: http://economia;uol.com.br/noticias/redacao/2015/05/12/mcdonalds-usajogomonopoly-para-sortear-fritas-nuggets-e-r -1-mi-em--ouro.htm. Acesso em: 12 jan.2017.

MCGONIGAL, J. **Reality is broken**: why games make us better and how they can change the world. Nova Iorque: The Penguin Press, 2011.

MJV TECHONOLOGY & INNOVATION. **A gamificação e a teoria de Maslow**. São Paulo, 01 nov. 2013. Disponível em: http:/blog.mjv.com.br/ideias/gamificacao-e-ateoria-de-Maslow. Acesso em: 10 fev. 2017.

MJV TECHONOLOGY & INNOVATION. **Gamificação**: 4 respostas que você precisa saber. São Paulo, 02 abr. 2014. Disponível em: http://blog.mjv.com.br/ideias/gamificacao-4-respos-

tas-que-voce-precisa-saber. Acesso em: 10 fev. 2017.

MJV TECHONOLOGY &INNOVATION. **Três ótimas formas de promover a cultura de inovação na sua equipe**. São Paulo, 12 ago. 2015. Disponível em:<http://http://blog.mjv.com.br/ideias/3-otimas-formas-de-promover-cultura-de-inovacao-na-sua-equipe. Acesso em: 02 fev. 17.

MJV TECHONOLOGY &INNOVATION. **Gamificação**: cultura de inovação. Como evitar Innovation Theater. São Paulo, 2016. Disponível em: http://http://conteudo.mjv.com.br/whitepaper--cultura-de-inovacao-como-evitar-o-innovationtheater. Acesso em: 02 fev. 2017.

NAVARRO Gabrielle. **Gamificação**: a transformação do conceito do termo jogo no contexto da pós-modernidade, 2013. Disponivel em: http://www.usp.br/celacc. Acesso em: 30 nov. 2016.

PAPERT, S. **A máquina das crianças**: repensando a escola na era da informática. Trad. Sandra Costa. Porto Alegre: Artmed, 2008.

PELLING, N. **The (short) prehistory of gamification**. 2011. Disponível em: http:/nanodome.wordpress.com/2011/08/09/. Acesso em: 10 fev. 2017.

SUITS, B. **The grasshopper**: games, life and utopia. Toronto: University of Toronto Press, 1978.

STARBUCKS. Disponível em: https:// www.starbucks.com.br. Acesso em: 02 mar. 2017.

TECHNET MAGANIZE. Ut**ilitários em destaque**. Disponível em: http://https://technet.microsoft.com/pt-br/library/jj682083.aspx. Acesso em: 02 fev. 2017.

VIANNA, Y.; VIANNA, M.; MEDINA, B.; TANAKA, S. **Como reinventar empresas a partir de jogos**. Rio de Janeiro: MJV Press, 2013.

VIANNA, Y.; VIANNA, M. **Gamification**: como aumentar o engajamento empresarial. MJV Tecnologia e inovação. Disponível em: http:// www.MJV.com.br. Acesso em: 05 fev. 2017.

WIKIPÉDIA. Desenvolvido pela Wikimedia Foundation. Apresenta conteúdo enciclopédico. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Gera%C3%A7%C3%A3o_Y. Acesso em: 10 fev. 2017.

ZICHERMANN, G; CUNNINGHAN, C. **Gamification by design**: implementing game mechanics in web and mobile apps. Sebastopol: O'reilly Media, 2011. 208 p

# APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA OTIMIZAÇÃO E GERENCIAMENTO DE ESTOQUE DE UMA BENEFICIADORA DE AÇO

## QUALITY TOOLS APPLICATION FOR A STEEL PLANT STOCK OPTIMZATION AND MANEGEMENT

Izabela Milhomem Nazário[1]
Renatta de Matos Oliveira Coutinho[1]
André Luís de Oliveira Coutinho da Silva[2]

**RESUMO:** Atualmente, as empresas estão em busca contínua de melhorias nos seus processos de produção. Para manter o diferencial e a competitividade, é preciso garantir o gerenciamento de estoque ideal. Desta forma, este trabalho visa promover melhorias na acuracidade do controle de estoque de uma grande empresa beneficiadora de aço no interior do estado do Rio de Janeiro. Para alcançar este objetivo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica e de campo, a fim de identificar os possíveis pontos de melhorias. Após observar o excesso de estoque, no setor de produtos acabados, a alta temporalidade de estocagem e a dificuldade de localização de materiais no setor de produtos acabados e intermediários, foram aplicadas algumas ferramentas da qualidade como o Histograma, Diagrama de Ishikawa, 5W2H e GUT, a fim de identificar possíveis causas e gargalos, gerar plano de priorização de resolução, agregar valor e minimizar desperdícios. A aplicação das ferramentas permitiu que fossem propostos planos de ação para melhorias no controle de estoque que, após implementados, possibilitaram a realização de FIFO, a redução de estoques e demonstrou 100% de acuracidade.

1 Discentes de Graduação do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM)

2 Docente Mestre do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM)


182

**Palavras-chave:** Ferramentas da qualidade. Gerenciamento de estoque. Otimização. Aço.

**ABSTRACT:** Currently, companies are in continuous search for improvements in their production processes and to maintain the differential and the benefits is to ensure optimal inventory management. Therefore, this work aims to promote the accuracy of the stock control of a large steel processing company in the interior of the state of RJ. To achieve this goal, a bibliographic search and a field were carried out to identify possible points for improvement. After observing the excess stock in the finished products sector, a high storage temporality and difficulty in locating materials in the finished products and intermediate products sector, some quality tools were applied, such as the Histogram, Ishikawa Diagram, 5W2H, GUT, a in order to identify possible causes and bottlenecks, generate a resolution prioritization plan, add value and minimize waste. The application of the permitted tools can present action plans for improvements in stock control, after implementing FIFO, a reduction in inventories and demonstrating 100% accuracy.

**Keywords:** Quality tools. Stock management. Optimization, steel.

## 1 INTRODUÇÃO

Devido ao mercado competitivo atual e os acessos às informações facilitado, gerado pela globalização, a melhoria contínua se faz sempre necessária nos seus processos produtivos e na gestão de estoque, que é uma das áreas que mais evolui nas organizações.

As organizações visam a minimização de custos e o aumento do lucro com a produtividade. Com isso, a análise detalhada de cada setor produtivo e seus respectivos estoques se torna uma ferramenta fundamental para se obter o sucesso em seus objetivos e metas traçadas.

Conforme DIAS (2012):

> Ao longo dos anos, a logística entrou em um novo patamar. Com o amplo aumento na circulação de produtos e o grande desejo de redução de custos e aumento de vendas, as organizações entenderam a importância de desenvolver uma cadeia de suprimentos apropriada.

O gerenciamento, ou gestão de estoque, é caracterizado quando se conhece o que entra e o que sai, controlando, assim, essas informações.

Para se obter um gerenciamento estruturado e robusto, a aplicação das ferramentas da qualidade torna-se primordial, permitindo isolar o problema identificado e levantar suas principais causas através do Diagrama de Ishikawa, classificá-las de acordo com a Matriz GUT e desenvolver planos de ação com o 5W2H.

Com o MASP, através do PDCA, o nível estratégico da empresa pode garantir sua sobrevivência e alcance das metas, tomando decisões baseadas em fatos e dados previamente comprovados. (WERKEMA,1995).

Neste contexto, este trabalho apresenta pesquisa bibliográfica e estudo de campo onde serão aplicadas ferramentas da qualidade para análise, otimização e gerenciamento de estoques desde a matéria-prima, intermediário e acabado de uma beneficiadora de aço visando obter acuracidade dos estoques.

### 1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi apresentar o estudo de aumento da acuracidade dos estoques de uma empresa beneficiadora de aço, desde a matéria-prima, passando pelos estoques-pulmão dos equipamentos até o estoque de produto acabado.

## 2 DESENVOLVIMENTO

A produtividade de uma organização e o cumprimento de suas metas, se dão diante de um bom planejamento.

Os setores internos devem ter uma boa interação, um estoque bem organizado e controlado podendo diminuir ou até mesmo evitar gastos desnecessários além de capitais de giro estagnados, gerando resultados positivos.

Diante disso, neste capítulo, serão abordados conceitos e etapas relacionados à produção do aço, estoque e seus tipos, gerenciamento de estoque, qualidade e suas ferramentas como MASP, Diagrama de Causa e Efeito, PDCA, baseados em pesquisas bibliográficas.

## 2.1 CONCEITOS DE ESTOQUE E GERENCIAMENTO

Chiavenato (2005) explica que estoque é o agrupamento de materiais que será utilizado no processo de produção em determinado momento pela empresa. E para um bom controle é preciso definir os níveis, sem que falte ou exceda materiais.

Toda organização necessita de estoques para trabalhar. Porém, um dos principais objetivos é a redução de capital de giro. Diante disso, seu estoque deve estar em equilíbrio, só produzindo e adquirindo o necessário, para que não haja desperdícios.

Para se fazer o controle de estoque, é necessário cumprir premissas: o que, quanto se deve manter no estoque e a periodicidade de seu reabastecimento. (DIAS, 1993).

No que se diz respeito à gestão de estoque, muitas empresas têm dificuldades com relação a espaço físico, máquinas, inventário, alinhamento do estoque físico com o sistêmico e para isso foram criadas algumas ferramentas para auxílio do gerenciamento.

A velocidade com que os materiais chegam na empresa é diferente da velocidade que saem ou são consumidos. Em alguns momentos aumenta e em outros diminui, amortecendo suas variações sendo necessário, então, o acompanhamento de fluxo através de reguladores.

> Os níveis de estoques trazem vantagens e desvantagens às empresas: o estoque alto, por exemplo, pode-se afirmar que é vantagem pelo pronto atendimento ao cliente. Porém, desvantagem pelo custo em manter este estoque. Cabe aos gerentes manter o equilíbrio adequado para a empresa. (MARTINS, ALT, 2009).

Segundo Martins e Alt (2009), os estoques podem ser classificados em cinco grandes grupos:

- Estoques de matéria prima, utilizados no processo de transformação dos produtos acabados.
- Estoques de produtos em processo, são as matérias-primas de equipamentos produtivos, mas que ainda não se transformaram em produtos acabados;
- Estoques de produtos acabados prontos para comercialização;
- Estoques em trânsito, que ainda não chegaram a seu destino final;
- Estoques em consignação, são os materiais ou produtos que ainda pertencem ao fornecedor até que sejam consumidos ou vendidos.

Freitas (2008) "considera a gestão de estoque uma das atividades chave para administração da empresa, pois ela está relacionada com a eficiência das empresas em gerirem seus processos."

## 2.2 CONCEITOS DE QUALIDADE E SUAS FERRAMENTAS

Qualidade, segundo a ISO (International Standardization Organization), "é a adequação e conformidade dos requisitos que a própria norma e os clientes estabelecem."

A garantia de qualidade é uma forma de assegurar que os padrões e requisitos definidos pelo cliente sejam atendidos.

Conforme Carvalho et al (2005), ao longo do tempo, a qualidade passou a ser vista como um dos principais elementos do gerenciamento das organizações.

Entre as ferramentas da Qualidade, destaca-se neste trabalho o MASP, que de acordo com ARIOLI (1998, p.18), "é um método prescritivo, racional, estruturado e sistemático para o desenvolvimento de um processo de melhoria num ambiente organi-

zacional" e o Ciclo PDCA que auxilia no diagnóstico, análise e detecção de problemas organizacionais, tendo em vista que ele agiliza a obtenção de melhores resultados com a finalidade de garantir a sobrevivência e o crescimento das organizações. (QUINQUIOLO, 2002)

Destaca-se também o histograma que é uma ferramenta estatística da qualidade, no qual se representa em gráfico de barras a alternância de dados de um determinado processo ou pesquisa, mostrando a distribuição por grupos e/ou categorias de forma clara e precisa a informação real da atual condição da variável de um determinado momento. (JUNIOR, 2006)

O diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de "espinha de peixe", é utilizado como guia para relacionar o problema denominado como efeito e suas possíveis causas para posteriores tomadas de ação. (WERKEMA, 1995)

O 5W2H é um formulário utilizado para que não se tenha nenhuma dúvida nas funções e responsáveis dentro de cada processo, evitando assim o fracasso de um dado projeto de melhorias." (PEINADO; GRAEML, 2007).

O Brainstorming gera soluções criativas e inovadoras, para os problemas, através de contribuição espontânea de todos os participantes.

E a Matriz GUT ou Matriz de Prioridades é uma ferramenta de auxílio na priorização de resolução de problemas cujo o objetivo é listar as dificuldades relacionadas à resolução do problema. Posteriormente, são atribuídas notas para cada dificuldade, de acordo com a Gravidade, Urgência e Tendência.

## 2.3 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa realizada, caracteriza-se como estudo de caso, dispondo de dados reais coletados em uma empresa.

As metodologias utilizadas para elaboração desse trabalho, serão pesquisa exploratória com a finalidade de promover uma maior afinidade com o problema e aperfeiçoamento de ideias, hipóteses e explicações plausíveis para um estudo mais específico e pesquisa bibliográfica por meio de fontes de informação

como apostilas, livros, manuais, internet e artigos que possam agregar valor ao estudo. Esta pesquisa pode ainda ser classificada como qualitativa quando analisada a forma em que os métodos de controle são realizados e sua influência em todo o processo e quantitativa, quando mensurados os dados através de modelos matemáticos.

## 2.4 MÉTODOS DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

As técnicas de coleta de dados, utilizadas para o desenvolvimento do trabalho, foram entrevistas com colaboradores das áreas de produção, logística, PCP, qualidade e registros históricos da empresa.

Para uma análise minuciosa, realizou-se o acompanhamento de todo o processo produtivo de beneficiamento de aço desde a chegada da matéria-prima até a estocagem de seus produtos.

A coleta de dados realizada nos registros históricos da empresa foi utilizada para análise quantitativa e qualitativa, pois de acordo com (SIMCHI-LEVI, 2003), este tipo de pesquisa traz ao pesquisador maior familiaridade com o problema, tornando mais fácil o entendimento.

Após o acompanhamento do processo e coleta dos dados, os mesmos serão analisados e compilados para identificação de possíveis falhas. A análise iniciar-se-á com a aplicação da metodologia 5W2H com o objetivo de estruturar o gerenciamento dos estoques e do Histograma para a compreensão visual. Em seguida, será utilizado o Diagrama de “Ishikawa” como um guia para o diagnóstico das principais causas do desbalanceamento dos estoques e através da Matriz GUT, ranquear os problemas identificados.

Com o MASP e PDCA, pretende-se identificar, observar, analisar, bloquear e padronizar o gerenciamento de estoque de forma orquestrada. E por fim, com a aplicação da ferramenta Brainstorming, gerar-se ideias criativas para implantações efetivas de planos de ação.

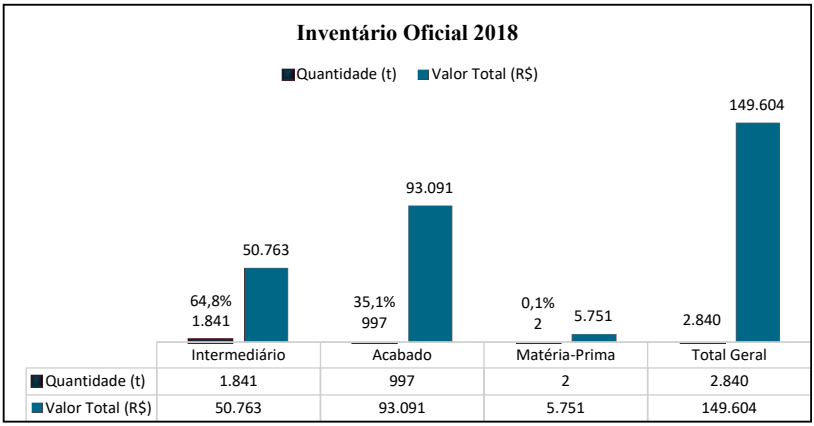
## 2.5 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O estudo de caso se fez necessário por identificar falhas de controle dos estoques da empresa X durante o inventário Oficial de 2018.

O inventário foi realizado no período de cinco dias na Empresa X, com horário e equipe definidos previamente através de documentação oficial. A base de dados para contagem física e sistêmica foi de aproximadamente 12.000 lotes, 82.000 toneladas, gerada no sistema SAP e entregue para todos os envolvidos.

A contagem dos lotes e conferência da posição no físico versus sistema, foram realizadas em 100 % dos lotes e de acordo com a solicitação dos auditores sucedeu-se com amostragem para conferência de peso. Findada a contagem, constatou-se que não foi localizado, fisicamente, um total de 2.840 toneladas de produto de aço, aproximadamente 270 lotes que através do Histograma, gráfico 1 foi possível identificar de forma clara que 65% referem-se ao estoque intermediário e 35% do estoque acabado.

Gráfico 1: Inventário Oficial 2018




Identificou-se também, que 1.649 lotes, cerca de 13,7%, não continham o endereçamento exato do item, isto é, utilizam-se como endereço o nome do depósito sem considerar fileira e ní-

vel, ocasionando morosidade na identificação do material/lote a ser consumido pela produção, perda e dificuldade na realização de inventário. Destes materiais sem endereçamento, 47 lotes perfazem o montante de R$120 mil não localizados durante o inventário, sendo primordial estruturar os depósitos considerando fileiras, nível e de acordo com a nova estrutura atualizar o sistema SAP para melhor controle.

E por fim, comprovou-se que está em estoque sem movimentação, há mais de 180 dias, um total de 3.752 lotes que perfazem aproximadamente R$ 260 mil, que como plano de ação estabeleceu-se elaborar e publicar procedimentos para definir as tratativas a serem utilizadas para os materiais em estoque há longa data.

A partir destas conclusões, constatou-se que os estoques intermediários e acabados possuem grande fragilidade, tornando-se os pilotos para os planos de ação.

## 2.6 ANÁLISE DOS ESTOQUES ACABADOS

Mediante a anormalidade encontrada no estoque acabado, se fez necessária a utilização do Diagrama de causa e efeito também conhecido como Diagrama de “Ishikawa”, como um guia para o diagnóstico das principais causas que influenciaram para que o estoque acabado da Empresa X ficasse acima da capacidade de estocagem. Em seguida foi utilizada a Matriz GUT para a priorização das causas, conforme Quadro 1.

Quadro 1: Matriz de priorização GUT

| MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO GUT | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **PROJETOS OU PROBLEMAS** | **GRAVIDADE** | **URGÊNCIA** | **TENDÊNCIA** | **TOTAL** |
| Falta de ferramenta de controle de produção versus demanda de cliente | 5 | 5 | 5 | 125 |
| Falta de conhecimento da demanda do cliente | 4 | 4 | 4 | 64 |
| Antecipação de Ordem de Venda | 4 | 4 | 4 | 64 |
| Mau posicionamento de layout | 5 | 4 | 3 | 60 |
| Alto volume de materiais descontinuados | 5 | 4 | 3 | 60 |
| Falta de indicadores de temporalidade | 5 | 3 | 3 | 45 |
| Atraso no Recebimento de Matéria-Prima | 5 | 4 | 2 | 40 |
| Falta de prazo de escoamento por parte do cliente | 3 | 3 | 4 | 36 |
| Falta de contrato de escoamento dos materiais descontinuados | 3 | 3 | 4 | 36 |
| Estoque estratégico para suprir desvios | 3 | 4 | 3 | 36 |
| Falta de controle de capacidade de estocagem | 3 | 3 | 3 | 27 |
| Otimização dos Equipamentos | 3 | 3 | 3 | 27 |
| Aumento na demanda não planejado | 3 | 3 | 3 | 27 |
| Entrada de OV fora do Lead Time | 3 | 2 | 2 | 12 |

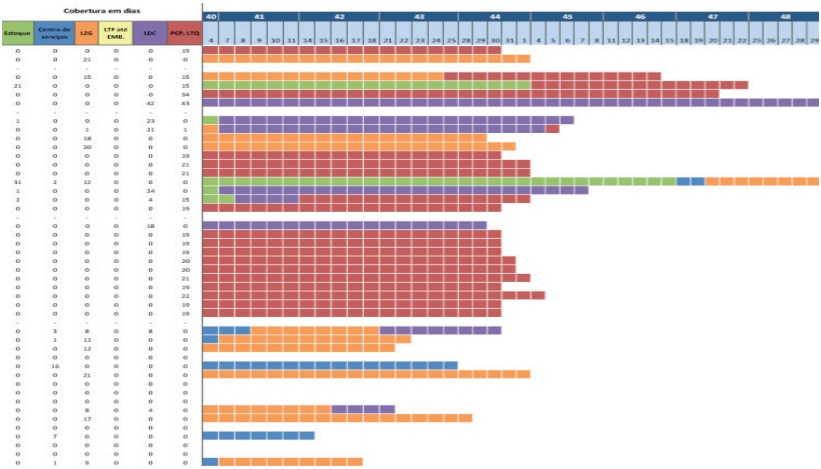
| NOTA | **G – GRAVIDADE** | **U – URGÊNCIA** | **T – TENDÊNCIA** |
|---|---|---|---|
| | **Os prejuízos ou dificuldades são:** | **É necessária uma ação:** | **Se nada for feito a situação irá:** |
| **5** | Extremamente graves | Imediata | Piorar rapidamente |
| **4** | Muito graves | Com alguma urgência | Piorar em pouco tempo |
| **3** | Graves | O mais cedo possível | Piorar a médio prazo |
| **2** | Pouco graves | Pode esperar um pouco | Piorar a longo prazo |
| **1** | Sem gravidade | Não tem pressa | Não vai piorar |

Em atendimento aos dois primeiros problemas definidos pela Matriz GUT, Falta de ferramenta de controle de produção versus demanda de cliente e Falta de conhecimento da demanda do cliente definidos, foi desenvolvido o indicador de atendimento aos clientes.

Na carteira de Clientes, pegaram-se todas as ordens de venda com saldo de atendimento em toneladas e relacionou-se com materiais em fluxo nos equipamentos, com o estoque acabado e com o consumo diário do cliente recebida pela área comercial a partir da demanda mensal. Após relacionamento, converteu-se o atendimento em dias, fazendo o volume de material dividido pelo consumo diário considerando 21 dias que são dias úteis.

Essa cobertura em dias, foi detalhada colorindo os dias com relação ao fluxo de equipamento que está e enviado de quinze em quinze dias para áreas envolvidas na produção, comercial e vendas, conforme ilustra o gráfico 2.

Gráfico 2: Indicador de atendimento aos clientes

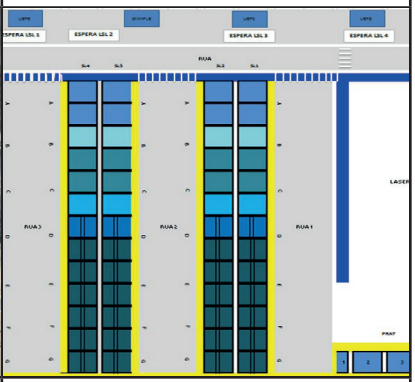



A partir desta implantação, atendeu-se também o projeto número 3, Antecipação de Ordem de Venda, uma vez que conhecendo a demanda do cliente passou-se a produzir analisando a cobertura em dias.

## 2.7 ALTERAÇÃO DO LAYOUT E ENDEREÇAMENTO DOS ESTOQUES

Após diversas reuniões afim de que com a vivência de cada envolvido fossem geradas chuvas de opiniões (“Brainstorming”) e estudos, conclui-se que as maiores dificuldades fisicamente enfrentadas se dão devido ao estoque do equipamento Solda a Laser ser perpendicular ao equipamento o que impede a realização de FIFO por não permitir que as empilhadeiras façam manobras para alcançar o final das fileiras, gerando gargalos logísticos e de estocagem tanto na Solda Laser como nos processos de produção anteriores e também devido aos depósitos de produtos em elaboração e acabados não serem endereçados considerando informações essenciais para sua correta localização como fileiras, níveis, o que impacta diretamente no tempo e acuracidade dos inventários. Diante disso, fez-se necessário a alteração do layout para estoque paralelo

à Solda Laser e adequação de endereçamento dos depósitos fisicamente e após aprimorando sistemicamente no SAP.

| Antes: Estoque perpendicular à Solda Laser | Depois: Estoque paralelo à Solda Laser |
|---|---|
|  |  |
| Figura 1: Estoque perpendicular à Solda Laser | Figura 2: Estoque paralelo à Solda Laser |

## 2.8 IMPLANTAÇÃO DE CONTROLE DE ESTOQUES

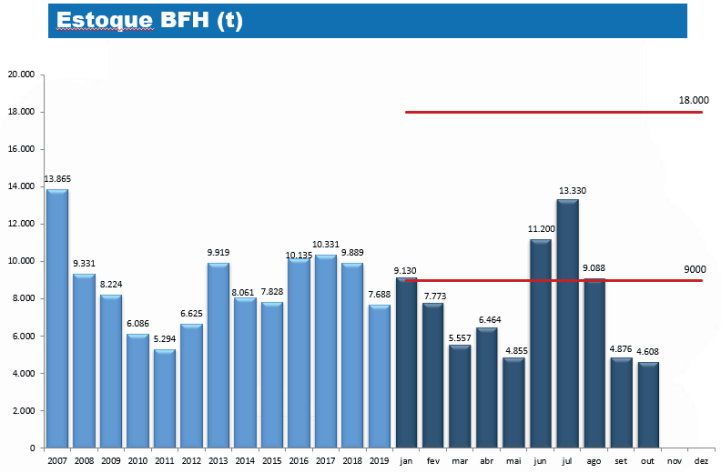
Como plano de ação para controle dos estoques acima da capacidade operacional, foi implantado o Acompanhamento Semanal de Desempenho Operacional. Este acompanhamento é uma análise sistêmica quantitativa do volume dos estoques gerado no sistema SAP, software de gestão empresarial utilizado pela empresa X, manipulado no Excel através do Histograma que são gráficos para melhor visualização e consolidado em Power Point como ferramenta de apresentação gerencial.

Por meio de históricos e estrutura organizacional, definiram-se as metas.

Para o estoque de BFH, ou seja, estoque de matéria prima, definiu-se um volume mínimo operacional de 9.000 toneladas para que seja possível atender às regras de planejamento e programação do equipamento de Zincagem. Como ótimo, considera-se o estoque maior que 9.000 e menor que 18.000 toneladas e acima de 18.000 toneladas, um estoque prejudicial para a Em-

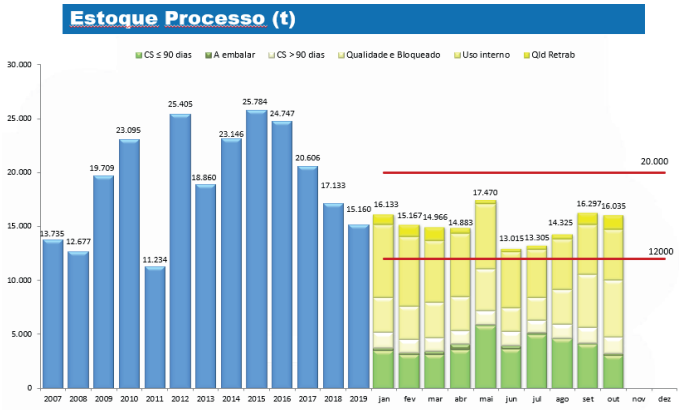
presa, uma vez que dificulta a estocagem, sequencialmente a qualidade do material e o FIFO. Ver gráfico 3, a seguir:

Gráfico 3: Estoque BFH



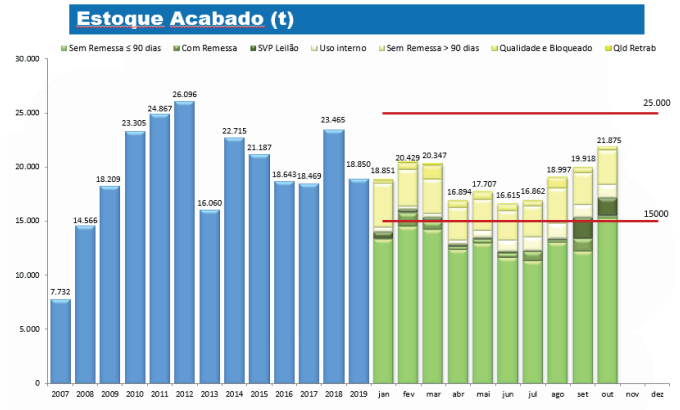

O Gráfico 4 contempla todos os materiais que sofrerão processo de transformação, seja na Linha de Inspeção, Slitter Cortes e/ou Solda Laser. O nível aceitável considerado como controlado para este estoque é entre 12.000 e 20.000 toneladas.

Gráfico 4: Estoque em Processo




O gráfico 5, representado abaixo, tem o objetivo de ilustrar os parâmetros para o estoque de produto acabado baseados na produção Make To Order. Sua ocupação aceitável permite atingir 60% da capacidade, que representa 15.000 toneladas. Acima deste valor, considera-se que o estoque entra em estágio de atenção, necessitando de acompanhamento diário detalhado para que os volumes se mantenham dentro do aceitável.

Gráfico 5: Estoque Acabado

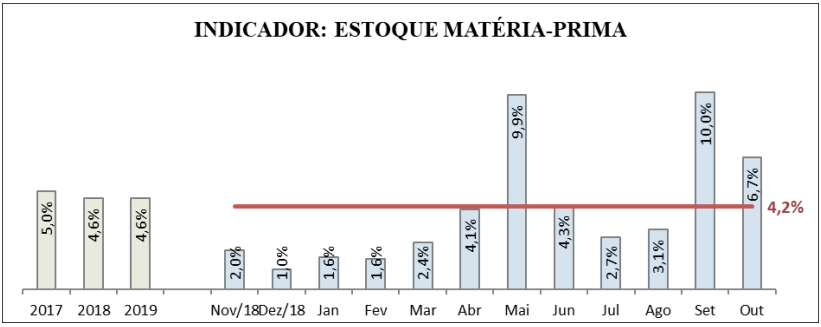


## 2.9 DESENVOLVIMENTO DE INDICADOR DE TEMPORALIDADE

A partir da comprovação, durante o inventário de 2018, de que havia no estoque 3.752 lotes sem movimentação, há mais de 180 dias, desenvolveu-se o indicador de temporalidade de estoque de matéria-prima e intermediário acima de 90 dias onde o objetivo é que seja aplicado o FIFO nos estoques, criando planos de ação, follow-up e definindo responsáveis quando fora da meta.

Como limite, estipulou-se 4,2% para o indicador de Estoque de Matéria-Prima representado a seguir no gráfico 6.

Gráfico 6: Indicador de Temporalidade: Estoque matéria-prima

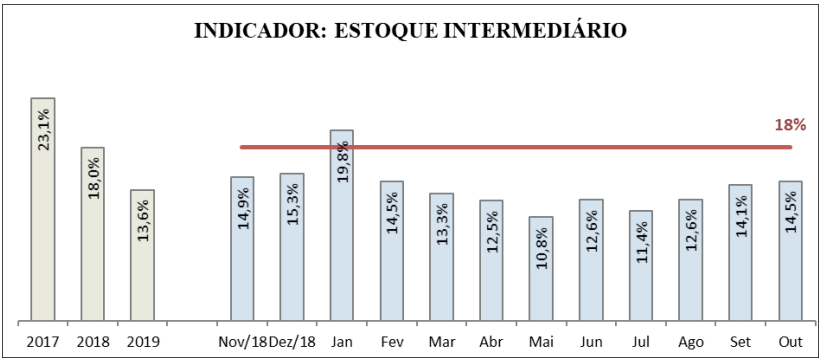



| Análise dos Indicadores | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Informação do Problema | | Ação Imediata | | Análise do Problema | | | | | | |
| Período | Ocorrência | Contenção Disposição | Período | Documento complementar | Causa Fundamental | Extensão | | Ação | Resp | Prazo |
| | | | | | | Não | Sim / Onde? | | | |

E para o indicador de Estoque Intermediário delimitou-se em 18%, conforme mostra gráfico 7.

Ambos limites foram definidos através de média dos anos anteriores.

**Gráfico 7: Indicador de Temporalidade: Estoque intermediário**

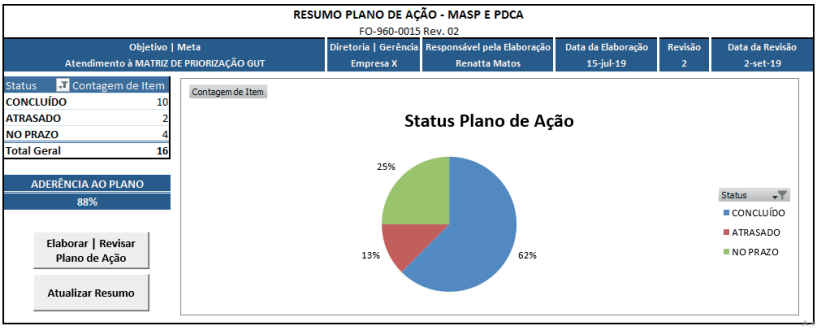



| Análise dos Indicadores | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Informação do Problema | | Ação Imediata | | Análise do Problema | | | | | | |
| Período | Ocorrência | Contenção Disposição | Período | Documento complementar | Causa Fundamental | Extensão | | Ação | Resp | Prazo |
| | | | | | | Não | Sim / Onde? | | | |

## 2.10 IMPLANTAÇÃO SISTEMÁTICA E ESTRUTURADA DOS PLANOS DE AÇÃO

Desenvolveu-se, através da ferramenta MASP e PDCA, uma sistemática estruturada de etapas para atendimento à Matriz de priorização GUT, que permite relatar os problemas, suas causas, traçar as alternativas de solução e acompanhá-las, conforme gráfico 8.

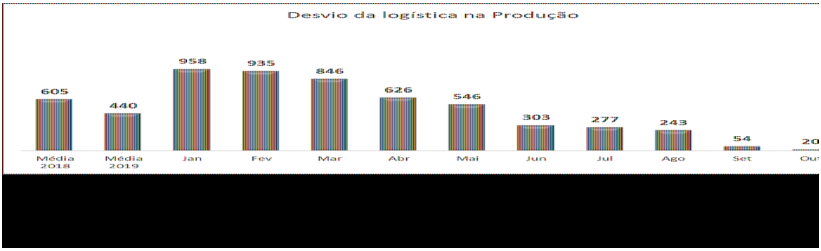
Gráfico 8: Resumo plano de ação - MASP e PDCA



## 2.11 RESULTADOS OBTIDOS

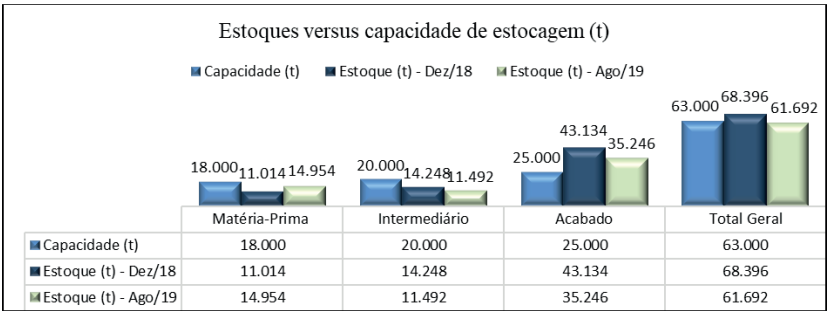
Por meio das implantações de gerenciamento de estoque, a empresa X alcançou diversos ganhos internos e externos, sendo o principal deles a confiabilidade por parte dos clientes, uma vez que a empresa foi certificada com 100% de acuracidade no Inventário Oficial de 2019, conforme figura 3.

**Figura 3: Fechamento do inventário de estoques - 2019**




Mediante ao indicador de atendimento a clientes, que permitiu uma visão ampla das demandas, passou-se a ter um planejamento de produção mais assertivo, impactando diretamente na redução dos estoques, conforme gráfico 9 e na otimização dos equipamentos a partir do agrupamento de materiais com especificações similares.

Gráfico 9: Estoque versus capacidade de estocagem (t) - 2019



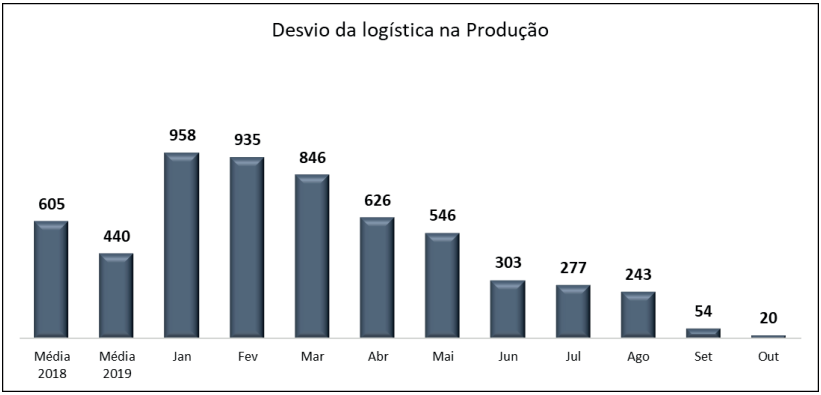

| | Matéria-Prima | Intermediário | Acabado | Total Geral |
|---|---|---|---|---|
| Capacidade (t) | 18.000 | 20.000 | 25.000 | 63.000 |
| Estoque (t) - Dez/18 | 11.014 | 14.248 | 43.134 | 68.396 |
| Estoque (t) - Ago/19 | 14.954 | 11.492 | 35.246 | 61.692 |

Ao estabelecer critérios de decisão para os materiais descontinuados, obteve-se giro de estoque através de aplicação dos materiais para outros clientes e utilização para componentes de embalagem.

A alteração do layout da Solda Laser possibilitou-se a realização de FIFO e redução de gargalos logísticos gerados por dificuldade de manobra das empilhadeiras.

E com o indicador chamado Acompanhamento Semanal de Desempenho Operacional, que é uma análise sistêmica quantitativa do volume dos estoques junto ao Indicador de temporalidade, permitiram-se gerir os estoques e priorizar o processo nos equipamentos e embarque dos materiais acabados com alta temporalidade, minimizando assim, a geração de desvios da logística por avarias de manuseio, conforme mostra no gráfico 10.

**Gráfico 10: Desvio da logística na Produção**




## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou através de análises aprofundadas que processos maduros e consolidados devem sempre ser revisados e ter sua eficiência constatada pelo meio de metodologias. Além disso, provou que a utilização de ferramentas

da qualidade é altamente aderente para o âmbito do estudo e foi capaz de garantir ganhos comprovadamente eficazes.

De acordo com a fundamentação teórica estudada, o alto nível de estoque parado e mal administrado é classificado como um dos maiores custos para as empresas.

Sendo assim, foram realizados estudos e análises no decorrer da elaboração do trabalho, afim de constatar as principais necessidades da empresa X e os pontos a serem melhorados em sua gestão de estoque.

A partir dos resultados apresentados na coleta de dados identificou-se a utilização das ferramentas da qualidade como auxiliar no processo de melhoria continua propiciando melhores tomadas de decisão no que diz respeito a gestão de processos produtivos conforme demostrado na análise de dados. Na coleta de dados e na análise de dados foram montados quadros e gráficos que consolidam as pesquisas quantitativas gerados na empresa X e qualitativas elaboradas a partir de pesquisas científicas.

A metodologia supracitada utilizou diversas ferramentas da qualidade para contrapor o modelo atual de trabalho da empresa, no que diz respeito a sua eficiência. E foi possível identificar em cada uma delas a importância de se detalhar e expor frações do processo para que seja garantida a aplicabilidade de tais métodos.

A ferramenta 5W2H possibilitou quantificar o impacto dos estoques versus sua capacidade de estocagem, demonstrando a ineficiência na gestão da área de produtos acabados.

O Diagrama de Causa e Efeito ou Ishikawa beneficiou na criação do diagnóstico de causas para o efeito de estoque acabado acima da capacidade e alinhado com a Matriz GUT essas causas foram classificadas de acordo com a gravidade e urgência gerando planos de ação.

A Matriz GUT permitiu ainda criar o indicador de atendimento de clientes onde foram relacionados os saldos de atendimento com os materiais em fluxo e em estoque, priorizando as produções de acordo com a cobertura de atendimento em dias.

A partir ferramenta Brainstorming ou chuva de opiniões foi realizado alteração de layout permitindo a partir do novo arranjo físico a realização de FIFO, endereçamento de todos os materiais e consequentemente uma melhor acuracidade dos estoques.

Com o PDCA e o MASP alinhados com outras ferramentas foram implantados planos de ação para materiais descontinuados comprovando uma queda de 74% desse estoque e suas causas foram controladas.

E por meio do Histograma foram criados indicadores de desempenho para melhor gerenciamento e controle dos estoques.

Como parte final da metodologia e para validar todo o trabalho, o setor de estoque estudado foi submetido a um inventário no qual demonstrou 100% de acuracidade e estimados ganhos operacionais.

## REFERÊNCIAS

ARIOLI, E.E. **Análise e solução de problemas: o método da qualidade total com dinâmica de grupo**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

CARVALHO, A. V. de. **Aprendizagem organizacional em tempos de mudança**. São Paulo: Pioneira Administração e Negócios, 1999.

CHIAVENATO, Idalberto. **Administração de materiais:** uma abordagem introdutória**.** 3. ed. Rio de Janeiro. Elsiever, 2005.

FREITAS, A.L.P. A qualidade em serviços no contexto da competitividade. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia de Produção**, v. 5, n. 1, mar. 2008. ISSN 1676 1901.

MARSHALL JUNIOR, Isnard; CIERCO, Agliberto Alves; ROCHA, Alexandre Varanda; MOTA, Edmarson Bacelar; LEUSIN, Sérgio. **Gestão da Qualidade**. 8. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

MARTINS, Petrônio Garcia; ALT, Paulo Renato Campos. **Administração de materiais e recursos patrimoniais**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2009.

OLIVEIRA, Luís Martins de et al. **Manual de contabilidade tributária: textos e testes com as respostas**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

PEINADO, J; GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.

QUINQUIOLO, José M. **Avaliação da eficácia de um sistema de gerenciamento para melhorias implantado na área de carroceria de uma linha de produção automotiva**. Taubaté,

2002. 110 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas).

SIMCHI-LEVI, David et al. **Cadeia de suprimentos**: projeto e gestão. Porto Alegre: Bookman, 2003.

WERKEMA, M. C. C. **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni - Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

# MANUFATURA ENXUTA APLICADA NO PROCESSO OPERACIONAL DO DEPARTAMENTO DE COMPRAS EM UMA MULTINACIONAL DE SEGMENTO EM CONSTRUÇÃO CIVIL E MINERAÇÃO

## LEAN MANUFACTURING APPLIED IN THE PURCHASING OPERATIONAL PROCESS OF A CIVIL CONSTRUCTION AND MINING MULTINATIONAL

Gabrielle Aparecida Fonseca Saldanha[1]
Vitória de Souza Diniz[1]
André Luís de Oliveira Coutinho da Silva[2]

**RESUMO:** Para manter o poder competitivo, é necessário que as empresas não só reciclem seus processos operacionais, como também, aprimorem suas metodologias a fim de proporcionar uma otimização do tempo e do processo em si de uma forma geral. O presente trabalho consiste em um estudo da aplicação de conceitos da manufatura enxuta em uma empresa fornecedora de sistemas condutores para redes de adução e distribuição de água e transporte de efluente, especificamente dentro do departamento de compras nacionais, o objetivo principal do projeto é analisar os processos operacionais no departamento de compras e melhorar o modo de operação das tarefas, desde a identificação/ correção de gargalos, até implantação de ferramentas da qualidade dentro da operação, com auxílio do Lean manufacturing e algumas outras ferramentas complementares que foram necessárias no decorrer da execução do projeto: PDCA, 5S e diagrama de Ishikawa. A ideia proposta é melhorar a viabilidade dos processos dentro da operação e reduzir os desperdícios encontrados, como o tempo gasto com atividades não essenciais e automatização de atividades re-

1 Discente de graduação do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Barra Mansa

2 Docente Mestre do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Barra Mansa


204

petitivas. O resultado esperado é uma melhora significativa na atividade de compras, desde o recebimento da requisição até a chegada/entrega da mercadoria e/ou serviço. Para o estudo o de caso no departamento de compras da empresa foi feita uma pesquisa de campo com observação direta do cenário e conversas informais sem roteiros pré-determinados.

**Palavras-chave**: Otimização. Melhoria. Setor de Compras. Qualidade. Desperdícios. Operação.

**ABSTRACT:** To maintain competitive power, it is necessary that companies not only recycle their operational processes, but also improve their methodologies in order to provide an optimization of time and the process itself in general. The present work consists of a study of the application of lean manufacturing concepts in a company that supplies conductive systems for water supply and distribution networks and effluent transportation, specifically within the national purchasing department. The main objective of the project is to analyze the operational processes in the purchasing department and to improve the mode of operation of the tasks, from the identification / correction of bottlenecks, to the implementation of quality tools within the operation, with the help of Lean manufacturing and some other complementary tools that were necessary during the execution of the project: PDCA, 5S and Ishikawa diagram. The proposed idea is to improve the viability of the processes within the operation and reduce the waste found, such as the time spent on non-essential activities and the automation of repetitive activities. The expected result is a significant improvement in the purchasing activity, from the receipt of the requisition to the arrival / delivery of the goods and / or services. For the case study in the company's purchasing department, a field survey was carried out with direct observation of the scenario and informal conversations without predetermined scripts.

**Keywords***:* Optimization; Improvement; Purchase Department; Quality; Waste; Operation.

# 1 INTRODUÇÃO

As exigências dos consumidores e o crescimento dos concorrentes obrigam as empresas a aprimorarem suas práticas de manufatura. Assim no início da década de 1960, essa dinâmica levou as empresas japonesas do setor automobilístico, em especial a Toyota Motor Company, a desenvolver métodos diferentes de fabricar veículos em relação aos utilizados pela indústria americana, em uma época em que o destaque era a produção em massa da Ford Company. (OHNO, 1996; WOMACK, 2008).

O conceito da Produção Enxuta surge então, não se tratando de um conceito exclusivo da Toyota, mas podendo ser aplicado por empresas de qualquer tipo de negócio e em qualquer país. Ele é visto como uma estratégia de negócios para aumentar a satisfação dos clientes através da melhor utilização dos recursos. (LEAN INSTITUTE, 2011).

O Pensamento Enxuto, base da "Manufatura Enxuta", é uma forma de enxergar o processo de produção com enfoque na eliminação de desperdícios é especificar uma proposta de se fazer cada vez mais com menos: menos esforço humano, menos equipamento, menos tempo e menos espaço, e ao mesmo tempo, estar cada vez mais próximo do que os clientes desejam.

O sistema de Manufatura Enxuta tem como foco principal o encurtamento do tempo entre o pedido do cliente e o envio do produto pela fábrica, para isto torna-se necessário eliminar todo tipo de gargalo existente neste processo, não através da compra de soluções tecnológicas, mas sim com a maximização da produtividade e efetividade dos processos já existentes. Isto se torna possível com a identificação e eliminação dos gargalos utilizando ferramentas simples, como um formulário no qual os funcionários podem expressar suas ideias.

A empresa na qual foi realizado o estudo de caso está inserida no ramo de fabricação de tubos de ferro fundido para canalização de água e esgoto e possui a necessidade de processos enxutos para a sobrevivência no mercado, o que depende de sua habilidade e flexibilidade de inovar e efetuar melhorias contínuas.

Objetivou-se analisar os processos operacionais dentro de um departamento de compras verificando com isso a melhoria que a manufatura enxuta estabelece no desempenho das operações. De forma específica, almejou-se com a pesquisa: Mapear os processos atualmente executados pelo setor de compra da empresa; identificar os tipos de desperdício gerados pela empresa e seus possíveis causadores; selecionar ferramentas da produção enxuta aplicáveis ao estudo de caso, entre outros que serão apresentadas ao longo do trabalho.

Foi usada a pesquisa teórica para a elaboração deste trabalho e um estudo de caso. Com a implementação das ferramentas da manufatura enxuta espera-se que o departamento de compras da empresa comece a controlar o seu fluxo de materiais através de um sistema mais funcional e repleto de informações precisas, tornando o controle de materiais menos complexo, otimizando tempo e retrabalho.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 LEAN MANUFACTURING

O Lean Manufacturing se norteia dos fundamentos do Sistema Toyota de Produção (STP). Para que uma fábrica seja genuinamente enxuta ela precisa transferir, ao máximo, tarefas e responsabilidades para os trabalhadores que agregam valor ao produto e, deve possuir um sistema que identifique os defeitos, assim que eles ocorram e que descubram a causa raiz desses.

Segundo Womack e Jones (2004), uma vez que o “valor” tenha sido especificado com precisão, o “fluxo de valor” dos produtos tenha sido totalmente mapeado pela empresa, e as etapas causadoras de desperdícios, eliminadas de forma ponderada, o próximo passo é fazer com que as etapas restantes, e que criam valor, possam fluir. Surgem então equipes orientadas pela geração de valor.

Em um sistema de produção enxuto é necessário, de acordo com Womack e Jones (2004), que se possa processar prontamente qualquer produto em produção, em qualquer combinação, de modo a adequar imediatamente às mudanças na de-

manda. Ou seja, a empresa deve amoldar-se de acordo com as necessidades dos clientes externos, entendendo que os mesmos são responsáveis por “puxar” a demanda.

De acordo com Souza (2007), no sistema de produção puxada, quem define o que vai ser industrializado é o cliente, uma vez que o processo de puxar a produção transmite a necessidade de demanda particular para cada etapa do processo.

Segundo (BORCHARDT, 2005), busca pela perfeição pode ocorrer por meio de melhorias contínuas, conhecidas como Kaizen, e por meio de melhorias mais incisivas, conhecidas como Kaikaku. Em ambos os casos, se destacam a necessidade de formar uma visão do que seria perfeito e aproximar os tipos de desperdícios que devem ser atacados primeiro.

De acordo com Liker (2007), é de extrema importância que se perceba que nenhuma operação chegará a um nível perfeito de estabilidade, portanto, algum grau dessas condições sempre existirá. De fato, o desenvolvimento do fluxo ajudará as abordagens disciplinadas pela estabilidade. Isso por sua vez trará uma sistemática contínua de melhorias e refinando os controles, numa cadeia em espiral exigindo sempre padrões mais exigentes.

## 2.2 DEPARTAMENTO DE COMPRAS

De acordo com Gaither e Frazier (2001), o departamento de compras desempenha um papel fundamental na realização dos propósitos da empresa. Seu objetivo é perceber as necessidades competitivas dos produtos e serviços, tornando-se responsável pela entrega no tempo certo, custo apropriado, qualidade e outros elementos na estratégia de operações. É necessário que os gerentes de compras se envolvam em várias atividades como: manter banco de dados atualizados, seleção de fornecedores, negociarem contratos e agir como intermediário entre os fornecedores e a empresa. Para Arnold (1999), a função de compras é responsável direta pelo abastecimento do fluxo de materiais da empresa, pelos contatos com o fornecedor e pela agilidade da entrega. O autor ainda alerta que os atrasos na entrega podem criar sérios problemas para outros departamentos

da empresa, como setores da produção e a área de vendas, interferindo negativamente a eficiência da empresa. Desta forma, o ciclo de compras possibilita uma sequência lógica ideal básica para garantir as aquisições. Além disso, Arnold (1999) descreve o ciclo de compras em oito passos: (i) recepção e análises de requisições de compra da empresa; (ii) seleção de fornecedores, que consiste em encontrar os fornecedores potenciais; (iii) analisar as cotações e selecionar o fornecedor certo; (iv) determinar o preço; (v) emitir o pedido de compra; (vi) fazer o acompanhamento de entregas, para garantir a entrega no prazo; (vii) receber e aceitar as mercadorias; (viii) aprovar fatura para pagamento.

Dias e Costa (2003, p.71) afirmam que a "realização das atividades concernentes à aquisição de bens e serviços precisa obedecer a uma dinâmica comum. É inadmissível que cada profissional de compras conduza os processos, sob sua guarda, em conformidade com o seu senso ou julgamento particular". Os níveis de estoque da empresa, por exemplo, afetam o custo de produção e podem trazer outros problemas para a empresa, como a necessidade de um maior controle de pessoal e despesas com a sua manutenção. Assim, a área de compras tem uma função importante de cuidar para que os níveis de estoque da empresa estejam sempre equilibrados (SIMÕES, 2004).

## 2.3 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O método de pesquisa utilizado neste projeto foi à pesquisa de campo, a mesma foi baseada na observação direta do cenário e conversas informais sem roteiros pré-determinados, para coleta de dados. Além da pesquisa de campo, foi utilizado um estudo de caso, estudando obras já publicadas e autores que já estudaram anteriormente o assunto. No estudo de caso é possível comprovar a forma que esta teoria se aplica em uma empresa multinacional fabricante de tubos para canalização.

A pesquisa é qualitativa, desenvolvida através de um caso único.

Yin (2010) define estudo de caso como uma investigação empírica que pesquisa um fenômeno contemporâneo dentro de

seu contexto, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos.

## 2.4 ESTUDO DE CASO

Ao analisar o fluxo no departamento, percebe–se que as demandas estão levando mais tempo que o ideal e que uma parte da equipe está ficando sobrecarregada.

A equipe leva em média quatro horas do dia para geração de relatórios, sendo que é possível fazer em duas horas.

Para resolver esse problema, o gerente determina que dentro de oito semanas, a geração de relatórios deve demorar em média 2,5h diárias.

### 2.4.1 Aplicação do Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa foi utilizado para identificar o problema principal.

Essa ferramenta é utilizada para visualizar a situação com maior clareza e entender todas as suas etapas de maneira mais ampla.

Ela pode ser aplicada para analisar qualquer tipo de problema, desde o mais simples até o mais complexo. Na gestão de pessoas, foi possível identificar as razões que geram determinados comportamentos e saber como eles devem ser trabalhados.

A partir do momento em que você conhece o principal motivo de um problema, é possível tomar ações mais assertivas e descobrir a melhor maneira de ajudar um colaborador.

O diagrama foi elaborado conforme os tópicos abaixo:

1) Definição do problema:

- Identificou-se uma demora nas entregas e funcionários sobrecarregados.

2) Levantamento das possíveis causas que podem ter gerado o problema:

- Falta de treinamento para a equipe;
- Desmotivação na realização da tarefa;

• Informações que não estão chegando no tempo necessário para o trabalho;

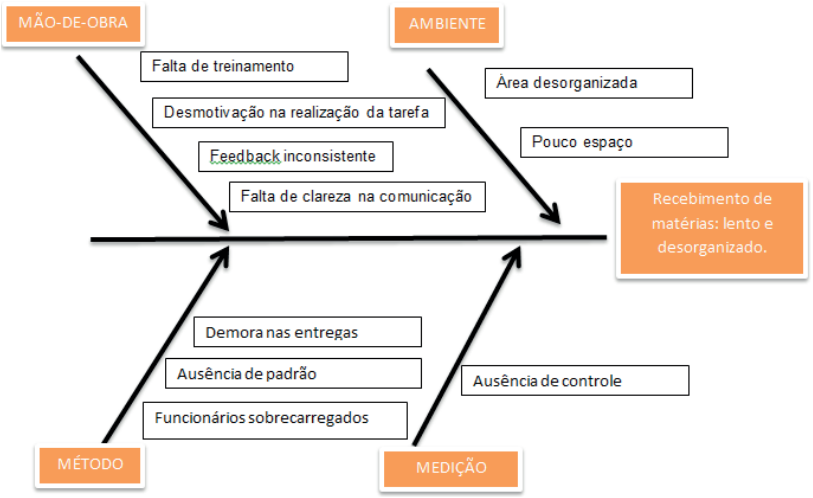
• Gestão de pessoas sem estratégia;

• Feedback inconsistente;

• Falta de clareza na comunicação.

Depois de pronto, foi destacada a causa principal que gerou o problema. De acordo com o contexto, pode ser mais de uma. Encontrando a razão principal, se pensa nas possibilidades de solução que estão ao alcance. A partir disso, foi estabelecido qual delas será tomada e o prazo para ser aplicada. Com a técnica do diagrama de causa e efeito, na Figura 1, foi possível identificar quais as causas que deveriam ser priorizadas.

Figura 1 - Diagrama de causa e efeito




Fonte: Autores.

A empresa fez a escolha de implantar o Lean Manufacturing para enfrentar os grandes desafios de mercado e de competitividade, por se tratar de um modelo de gerenciamento que possui inúmeras vantagens, a destacar: melhora o fluxo de ma-

terial, diminui variações no processo, reduz perdas, custos e tempo de ciclo, aumenta o potencial e a qualidade, diminui o absenteísmo, proporciona alto nível de envolvimento e comprometimento dos colaboradores, etc.

A implantação do Lean Manufacturing na empresa se iniciou através de um cronograma contendo as datas de treinamento do time. A implantação ocorreu desta maneira porque se acredita que assim, aos poucos, os funcionários vão assimilar e começar a utilizar o sistema de produção enxuta Lean Manufacturing de forma cada vez mais efetiva.

Entretanto, o Lean Manufacturing é praticado, não só pelas unidades de fabricação, mas também em todos os escritórios e setores administrativos. Existe também um comitê de dirigentes, o ESC (Executive Steering Committee), composta pela alta administração.

Ocorrem reuniões de ESC semanalmente, seguindo uma agenda pré-estabelecida para discutir as métricas das áreas, identificar problemas, analisar os resultados, estabelecer prioridades, planejar as ações futuras, fornecer recursos e se necessário, realizar auditorias nas células com a finalidade de verificar se os resultados esperados estão sendo alcançados. Para mensurar os resultados e auxiliar na solução dos problemas são utilizadas várias ferramentas, que compõe a estrutura do Lean. São elas:

LDMS - Lean Daily Management System - Gerenciamento Diário do Lean Kaisen Blitzes: Evento com duração de uma semana para melhoria contínua

VSM (Value Stream Map): Mapeamento de processo.

Para a implementação de um sistema efetivo e para atingir os objetivos do Lean Manufacturing, a empresa utiliza algumas essenciais ferramentas. Existe um grupo de trabalho, denominado Leadership Team que tem como função checar e atualizar os quadros PVD frequentemente e estar envolvido com as células de produção. Essas pessoas mostram relatórios de

acompanhamento das métricas de trabalho, seus respectivos resultados e celebra as conquistas da equipe, ou seja, fornecem sempre um feedback ao grupo, mantendo todos informados e envolvidos com os objetivos da célula.

Na empresa, existem células de produção, cada qual com seu respectivo quadro PVD, onde estão indicadas todas as métricas de cada célula. É um quadro que dá uma visão geral dos resultados das atividades do grupo de trabalho, na célula, metas x real, qualificação, etc., e deve ser mantido pelos supervisores, líderes e voluntários do grupo de trabalho.

O quadro PVD é um componente muito importante do LDMS, pois foca as reuniões de início de turno dos grupos de trabalho, capta e rastreia ideias de melhoria contínua, expõem o andamento dos 20 Postos-chave, além de monitorar a organização e métricas do grupo de trabalho.

Os componentes do quadro são: segurança, produção, qualidade, manutenção, assiduidade que são atualizados diariamente; versatilidade, treinamento, agenda, clientes, 5' S que são atualizados sempre que necessário. Há ainda, um espaço reservado para assuntos gerais, onde os funcionários expõem suas necessidades do dia, são afixados assuntos gerais da área.

As Reuniões de Início de Turno ocorrem diariamente, em torno do Quadro PVD, no início de cada turno de trabalho, com a duração entre cinco a dez minutos. São reuniões planejadas, breves e focadas, em que se discutem os pontos mais importantes em relação à célula de trabalho como produção, qualidade, acidentes de trabalho, melhoria contínua, etc.

Essas reuniões de início de turno são fóruns diários para comunicar e compartilhar informações entre os funcionários de cada célula.

## 2.5 RESULTADOS

A partir do momento em que a empresa começou a controlar o seu fluxo de materiais através de um sistema mais funcional e repleto de informações precisas, o controle de materiais tornou-se menos complexo, possibilitando ao com-

prador mais tempo para desenvolver novas melhorias e gerir melhor suas atividades.

Após a elaboração do plano de ação, foi possível elencar alguns benefícios das ações sugeridas. Foi sugerido para a empresa a necessidade de treinar, instruir e motivar seus colaboradores, na realização de suas tarefas, para que haja evolução nos rendimentos dos mesmos contribuindo nos processos produtivos, formando uma equipe de trabalho qualificada. Inspecionar os métodos dos processos e fazer periodicamente a manutenção das máquinas e equipamentos foi outra sugestão dada à empresa de forma que aumente a qualidade dos seus produtos reduzindo desperdícios e retrabalho.

Em função da metodologia proposta, verifica-se que é possível implementar uma sequência de indicadores da qualidade e produtividade, de forma que se possa controlar e melhorar o nível de não-conformidade, além de reduzir o custo processual por meio do rastreamento e eliminação das causas destas não-conformidades.

Gráfico 1 – Geração de pedido de compra



Gráfico 2 – Cotações e Solicitação de Ofertas

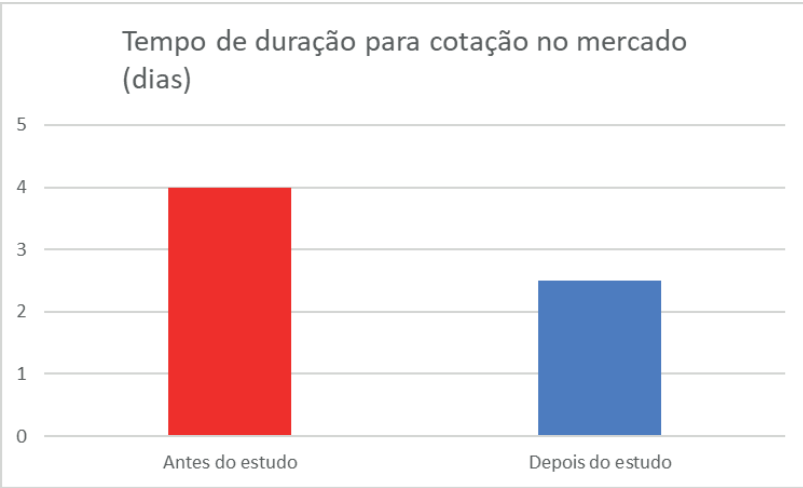



Gráfico 3 – Geração da Ordem de Compra

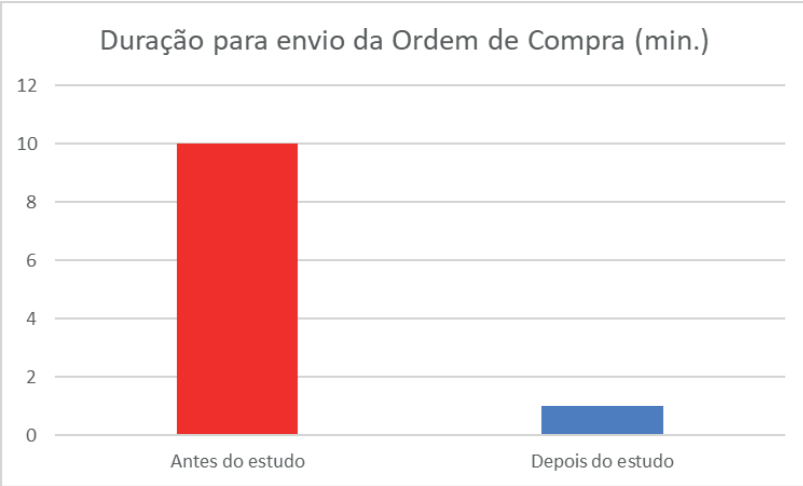
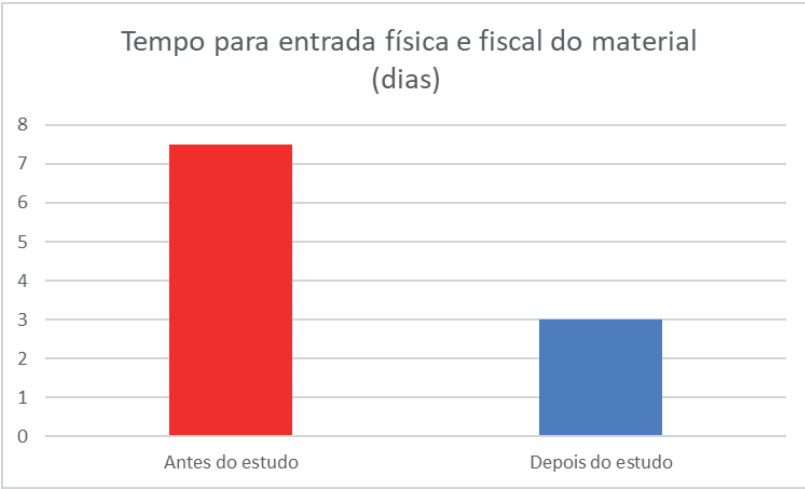


Gráfico 4 – Recebimento Físico/ Fiscal




## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreende-se que o pensamento enxuto auxilia na melhoria da qualidade da produção, pois seu maior princípio é a eliminação de desperdícios, o que torna a produção mais rentável, mais rápida e com maior confiabilidade.

O presente trabalho apresentou a produção enxuta, seus princípios e ferramentas. Foi apresentado um estudo de caso em um departamento de compras de uma empresa fabricante de Tubos.

Procurou-se atingir os objetivos propostos, um deles foi o levantamento das ferramentas que auxiliam na eliminação de desperdícios, são elas: Diagrama de Ishikawa, 5S, Lean Manufacturing. Através dessas ferramentas, foi atingido o resultado tão esperado de produção enxuta! Pois, os treinamentos, capacitações, adaptações a automatizações, ambiente mais confortável, tudo isso gerou um pensamento enxuto e uma total mudança positiva no departamento.

Para começar o estudo, fez-se a análise do processo, onde foi possível identificar os pontos de gargalo e a partir de então, aplicar as ferramentas.

Através do Lean Manufacturing, surgiu à necessidade de aplicar mais ferramentas para auxiliar na tratativa dos problemas, o diagrama de Ishikawa foi fundamental para determinar as causas de certos gargalos e assim corrigi-los.

O 5S ajudou a identificar melhorias para o ambiente de trabalho e conforto dos operadores, bem como, organização e padrão de ordem no setor.

A aplicação das ferramentas foi crucial parar traçar uma nova ordem de procedimentos e automatização do processo, identificando/ tratando e melhorando a forma de conduzir a rotina de compras, de forma a avaliar sempre de forma cíclica, o que está sendo feito e se há proposta de melhoria, buscando sempre a excelência.

Sendo assim, pode-se tirar as seguintes conclusões:

- A manufatura enxuta se destaca pela eficiência na eliminação de perdas, permitindo a empresa produzir mais com menos recursos;

- No caso apresentado as ferramentas aplicadas proporcionaram vários resultados positivos, dos quais cabem destacar: melhora do fluxo de material, diminuição de variações no processo, redução de perdas, custos e tempo de ciclo, aumenta do potencial e a qualidade, diminuição do absenteísmo e proporção de um alto nível de envolvimento e comprometimento dos colaboradores.

## REFERÊNCIAS


BAILY, P. **Compras:** princípio e administração. São Paulo: Atlas, 2000.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos / Logística empresarial.** Porto Alegre: Bookman, 2006.

BARBOSA, B. J. S. **Suprimentos**: procedimentos organizacionais e seu efeito de alavancagem nos lucros**.** São Paulo: IMAM, 1998.

DIAS, M.; COSTA, R. F**. Manual do comprador**. 3.ed. São Paulo: Edicta, 2003.

GABSTER. **Ferramentas de produção enxuta**. Disponível em https://www.gabster.com.br/empreendedorismo/competividade-na-industria/ferramentas-da-producao-enxuta. Acesso em: 28 jun. 2020.

GHINATO, P. **Produção & Competitividade:** aplicações e inovações. Recife: Ed. da UFPE, 2000.

MAICZUK, J.; A. JUNIOR, P. P. Aplicação de ferramentas de melhoria de qualidade e produtividade nos processos produtivos: um estudo de caso. **Qualit@s Revista Eletrônica**, v.14. n.1, 2013 ISSN 1677 4280

PROJECTBUILDER. **Ciclo PDCA**: uma ferramenta imprescindível ao gerente de projetos! Disponível em https://www.projectbuilder.com.br/blog/ciclo-pdca-uma-ferramenta-imprescindivel-ao-gerente-de-projetos. Acesso em: 01 jul. 2020.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar:** mapean-

do o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**.** São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

ROZENFELD et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos – Uma referência para a melhoria do processo.** São Paulo: Saraiva. 2006.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOFTEXPERT. **Melhoria de processo lean**. Disponível em https://blog.softexpert.com/melhoria-de-processo-lean. Acesso em: 01 jul. 2020.

TREASY. 5W2H. Disponível em https://www.treasy.com.br/blog/5w2h. Acesso em: 28 jun. 2020.

# DETECÇÃO DO ESTILO DE APRENDIZAGEM PREFERENCIAL DE UM GRUPO DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA PELO MÉTODO “INDEX OF LEARNING STYLES – ILS”

## DETECTION OF THE PREFERENTIAL LEARNING STYLE OF A GROUP OF ENGINEERING STUDENTS BY THE “INDEX OF LEARNING STYLES - ILS” METHOD

Bruno dos Reis Rangel[1]
Donizeti Sinval de Jesus Freitas[2]
Giselle Gomes Maia Dias[3]
Sâmella Martins de Carvalho[4]
Zilmar Alcântara Júnior[5]

**RESUMO:** Este estudo tem como objetivo detectar o estilo de aprendizagem numa amostra de 71 estudantes do curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Barra Mansa – UBM, em época anterior à pandemia de COVID-19, com base nas disciplinas de “Estudo Socioantropológicos” e “Leitura e Produção de Texto”, nas modalidades presencial e semipresencial. A coleta de dados foi realizada por meio da aplicação de questionário padrão com base no método Index of Learning Styles – ILS (Índice de Estilos de Aprendizagem) proposto por Felder e Silvermann para identificar os estilos de aprendizagem de estudantes de engenharia. A partir das respostas obtidas pelo questionário padrão aplicado aos estudantes da amos-

1 Discente egresso do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: bruno_bmxd@hotmail.com
2 Discente egresso do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: donibm@hotmail.com
3 Discente egressa do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: gisellegmdias@gmail.com
4 Discente egressa do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: samellam.carvalho@gmail.com
5 Docente Mestre do Núcleo de Pesquisa, Inovação e Difusão das Engenharias. Docente do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: zilmar.alcantara@ubm.br

tra foram construídos os mapas cognitivos que permitiram a comparação entre a modalidade presencial e semipresencial, e também a percepção da intensidade das preferências de aprendizagem dos estudantes aos estilos (polos) de cada uma das quatro dimensões abordadas pelo método, onde concluiu-se que para os estilos de tais dimensões as modalidades presencial e semipresencial surtem pouco impacto e que no conjunto das duas modalidades a intensidade das preferências de aprendizagem foi identificada como leve para moderada em toda a amostra.

**Palavras-chave**: Índice de estilos de aprendizagem. Educação em engenharia. Ensino presencial. Ensino semipresencial.

**ABSTRACT:** This study aims to detect the learning style in a sample of 71 students from the Production Engineering course at the "Centro Universitário de Barra Mansa – UBM", at a time before the COVID-19 pandemic, based on the disciplines of "Socioanthropological Study" and "Reading and Text Production", in the presential teaching and semi-presential modalities. Data collection was performed by applying a standard questionnaire based on the Index of Learning Styles - ILS method proposed by Felder and Silvermann to identify the learning styles of engineering students. From the answers obtained by the standard questionnaire applied to the students in the sample, cognitive maps were constructed who allowed the comparison between the face-to-face and semi-face modality, and also the perception of the intensity of the students' learning preferences to the styles (poles) of each one of the four dimensions approached by this method, where it was concluded that for the styles of such dimensions the face-to-face and semi-face modalities have a little impact and that in the set of both modalities the intensity of the learning preferences was identified as low to moderate when considering the entire sample.

**Keywords***:* Index of learning styles. Engineering education. Presential teaching. Semi-presential teaching.

## 1 INTRODUÇÃO

As tecnologias de comunicação avançam em seu desenvolvimento e os indivíduos têm que se adaptar continuamente para acompanhar tais mudanças, em particular no campo da educação em instituições de ensino superior onde os cursos de formação preparam os estudantes para atuarem diretamente no mercado de trabalho.

Portanto, promover melhorias no processo de ensino e aprendizagem é algo que visa a formação de profissionais com potencial de análise crítica, conscientes e capazes de inovar e produzir conhecimento. Mas promover essas melhorias requer uma cuidadosa investigação para aliar as inovações aos conteúdos programáticos das disciplinas. Esta pesquisa visa encontrar e criar o mapa cognitivo de uma amostra de 71 estudantes do curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Barra Mansa - UBM, de modo a traçar o perfil de aprendizagem dos estudantes e verificar a intensidade associada a cada uma das quatro dimensões exploradas por este método.Na ocasião da pesquisa a amostra de estudantes estava matriculada na modalidade presencial, sendo que dentre estes 36 cursavam disciplinas na modalidade semipresencial; daí a seleção de tais disciplinas para a análise pelo método ILS, visando se obter uma análise comparativa entre as duas modalidades até então praticadas.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Segundo Coffield *et al* (2004), há diversos modelos para detecção de estilos de aprendizagem que são utilizados em áreas como a educação, psicologia, sociologia, administração e negócios. Várias pesquisas têm sido feitas em todos os aspectos no campo dos estilos de aprendizagem nos últimos 30 anos, mesmo que em sua maioria estejam mais voltadas para a educação, sobretudo, no ensino superior e profissional.

> Os modelos de estilos de aprendizagem classificam os aprendizes quanto à sua inserção em escalas relativas à forma pela qual eles preferem receber e processar a informação. Muitos desses modelos de estilos de aprendizagem foram elaborados por teóricos da educação para explicar como são os processos que geram o aprendizado. Mostram que as pessoas percebem e processam as novas informações de maneiras diferentes (FELDER; SILVERMAN, 1988).

Neste trabalho foi aplicado o modelo de estilos de aprendizagem desenvolvido por Felder e Silverman (1988) por ser muito utilizado no ambiente educacional, sobretudo no ensino de engenharia.

## 2.1 O MODELO DE ESTILOS DE APRENDIZAGEM DE FELDER E SILVERMAN

Como o ato de aprender está diretamente relacionado a um processo que envolve a recepção e o processamento das informações, para Felder (1996) estilos de aprendizagem se referem às maneiras pelas quais as pessoas preferem receber e processar novas informações. De acordo com Felder os estilos de aprendizagem são habilidade passíveis de serem desenvolvidas.

Felder e Silverman formularam um modelo para identificar as diferenças de estilos de aprendizagem que predominam entre estudantes de engenharia e fornecer aos docentes uma base para criar uma abordagem de ensino voltada para as necessidades de aprendizagem dos estudantes.

Tal modelo denominado Índice de Estilos de Aprendizagem (*Index of Learning Styles* – ILS) faz a classificação dos estudantes em quatro dimensões distintas, onde existem dois polos, ou estilos, para cada dimensão conforme exposto na figura 1.

Figura 1 - Dimensões dos estilos de aprendizagem

| Ativo | Reflexivo | Sensitivo | Intuitivo | Visual | Verbal | Sequencial | Global |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Processamento da Informação | | Percepção | | Modalidade Sensorial | | Processo de Aprendizagem | |
| Como o indivíduo prefere organizar a informação? | | Que tipo de informação o indivpiduo prefere receber? | | De que modo o indivíduo prefere captar a informação? | | De que forma o indivíduo compreende a informação? | |

Fonte: Adaptado de Felder e Silverman, 1988.

As dimensões de aprendizagem consistem em quatro escalas com dois polos cada. Felder e Spurlin (2005) resumiram as quatro dimensões da seguinte forma:

**Dimensão I: Processamento da Informação**

• **Ativos:** aprendem por meio da experiência, tendem a reter e compreender informações mais eficientemente discutindo, aplicando conceitos e/ou explicando para outras pessoas. Gostam de trabalhar em grupos.

• **Reflexivos:** aprendem internalizando as informações individualmente. Eles necessitam de um tempo para pensar sozinhos sobre as informações recebidas. Preferem os trabalhos individuais.

**Dimensão II: Percepção**

• **Sensitivos**: são práticos e preferem lidar com situações concretas, gostam de aprender fatos. São detalhistas, memorizam procedimentos e fatos com facilidade.

• **Intuitivos:** são inovadores, preferem descobrir possibilidades e relações. Direcionam mais a atenção para as teorias e significados. Sentem-se mais confortáveis em lidar com novos conceitos, abstrações e fórmulas matemáticas. São ágeis em seus trabalhos.

**Dimensão III: Modalidade Sensorial**

• **Visuais:** memorizam mais facilmente por meio de figuras, diagramas, fluxogramas, filmes e demonstrações.

• **Verbais:** tiram maior proveito das palavras explanações orais ou escritas.

Dimensão IV: Processo de Aprendizagem

• **Sequenciais:** tendem a trilhar caminhos mais longos, são organizados, aprendem mais facilmente os conteúdos apresentados de forma linear e progressiva.

• **Globais:** aprendem em grandes saltos, lidando de forma aleatória com os conteúdos, compreendendo-os por intuições. Depois de terem clara a visão geral, têm dificuldade para explicar o caminho que traçaram para chegar a essa visão.

### 2.1.1 Índice de Estilos de Aprendizagem (*Index of Learning Styles* – ILS) de Felder e Silverman

Este instrumento trata de um questionário utilizado para identificar os estilos de aprendizagem preferenciais dos estudantes conforme as dimensões de aprendizagem propostas pelo modelo de Felder e Silverman. Com as respostas fornecidas pelos estudantes é possível identificar qual o estilo de aprendizagem preferencial e ainda qual a posição em uma escala de aprendizagem. Uma vez identificados os estilos de aprendizagem e as intensidades dos estilos, os aprendizes podem conhecer suas preferências por aprender, entender como eles aprendem e até explorar melhor, conforme suas preferências, as situações de aprendizagem.

O questionário para se chegar ao ILS é formado de 44 questões, onde há apenas duas alternativas de respostas para cada uma das questões. As quatro dimensões são abordadas em 11 questões cada e o resultado fornece indicações das preferências individuais de aprendizagem.

Baseado na interpretação do modelo, segundo Felder e Silverman (1988), a preferência pode ser leve ou quase inexistente

(escores 1 ou 3) moderada (escores 5 ou 7) ou forte (escores 9 ou 11), para cada par de polos, como exemplificado na figura 2 para a dimensão Processamento da Informação.

Figura 2 - Escala de intensidade dos estilos de aprendizagem para a dimensão Processamento da Informação.




Fonte: Adaptado de Felder e Silverman, 1988.

## 2.2 COLETA DE DADOS

Foi feita uma coleta de dados com a aplicação do questionário padrão do ILS aos estudantes das disciplinas de “Estudos Socioantropológicos” e “Leitura e Produção de Textos” oferecidas pelo curso de Engenharia de Produção, do Centro Universitário de Barra Mansa – UBM, durante o primeiro semestre de 2017 (2017.1), onde analisou-se o aproveitamento dos estudantes nas modalidades do ensino presencial e semipresencial. A amostra é constituída de 71 estudantes, sendo na ocasião da pesquisa 35 estudantes do 7° período matriculados na matriz curricular com a modalidade presencial para as disciplinas citadas e 36 estudantes do 1° período matriculados na matriz curricular com a modalidade semipresencial para as mesmas disciplinas. O Índice de Estilos de Aprendizagem permitiu identificar as preferências de aprendizagem dos estudantes, bem como a sua intensidade.

## 2.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise e discussão dos resultados tem como base os dados obtidos pelo questionário padrão do ILS, os quais foram respondidos pelos 71 estudantes da amostra. Serão discutidos na sequência do trabalho os estilos de aprendizagem detectados e a intensidade das preferências de aprendizagem.

### 2.3.1 Estilos de aprendizagem

A partir da análise dos resultados referentes ao questionário ILS é possível identificar as porcentagens das dimensões de aprendizagem dos estudantes, apresentadas nas figuras 3 e 4 para as modalidades presencial e semipresencial, respectivamente.

Figura 3 - Porcentagem total dos estilos de aprendizagem, por dimensão dos estudantes matriculados sob a modalidade presencial.

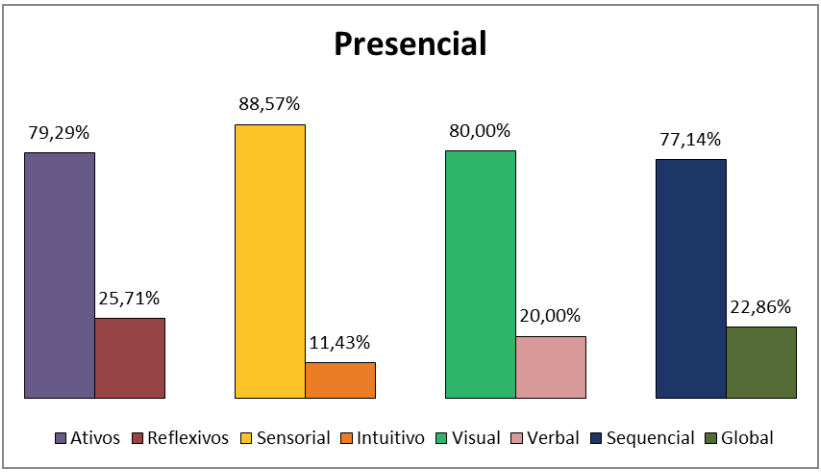
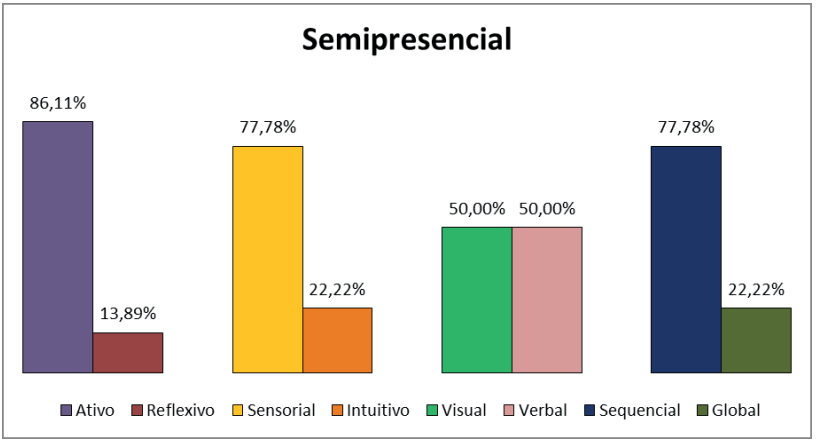


Figura 4 - Porcentagem total dos estilos de aprendizagem, por dimensão dos estudantes matriculados sob a modalidade semipresencial.




As frequências percentuais observadas nas quatro dimensões, observa-se que o estilo de aprendizagem que predomina na modalidade presencial é ativo, sensorial, visual e sequencial. Para a modalidade semipresencial o perfil segue o mesmo, exceto na dimensão Modalidade Sensorial onde se detectou a preferência de 50% tanto para visual, quanto para verbal.

### 2.3.2 Intensidade das Preferencias de Aprendizagem

A fim de identificar a intensidade nos estilos de aprendizagem de toda a amostra, foram utilizados para análise os dados dos estudantes matriculados nas modalidades presencial e semipresencial. Os dados foram agrupados e divididos de acordo com os seus respectivos escores e estão expostos nas figuras 5, 6 e 7 onde estão apresentados os gráficos com a distribuição pelos escores 1 e 3; 5 e 7; e 9 e 11, respectivamente.

Figura 5 - Porcentagem da intensidade dos estilos de aprendizagem dos estudantes, escores 1 e 3.

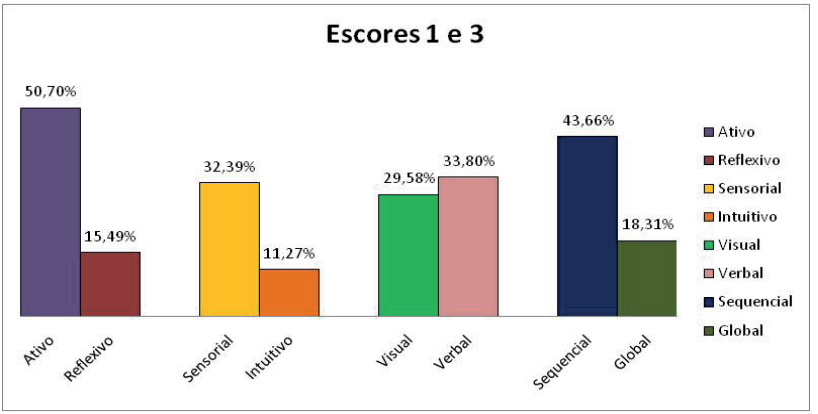



Figura 6 - Porcentagem da intensidade dos estilos de aprendizagem dos estudantes, escores 5 e 7.

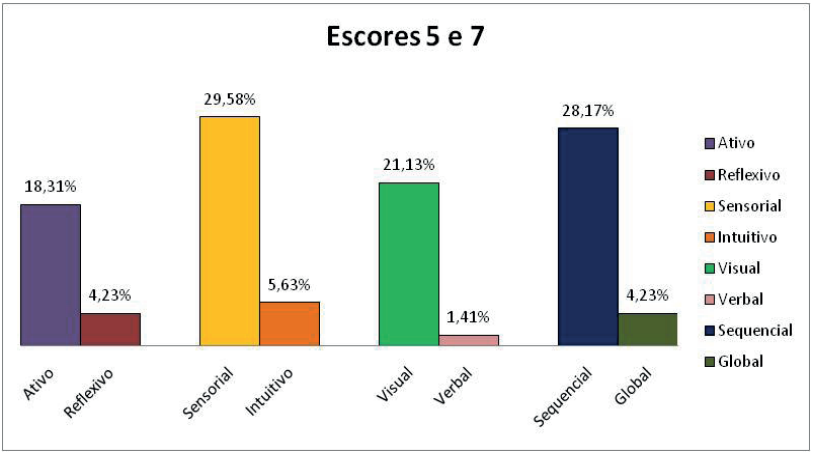
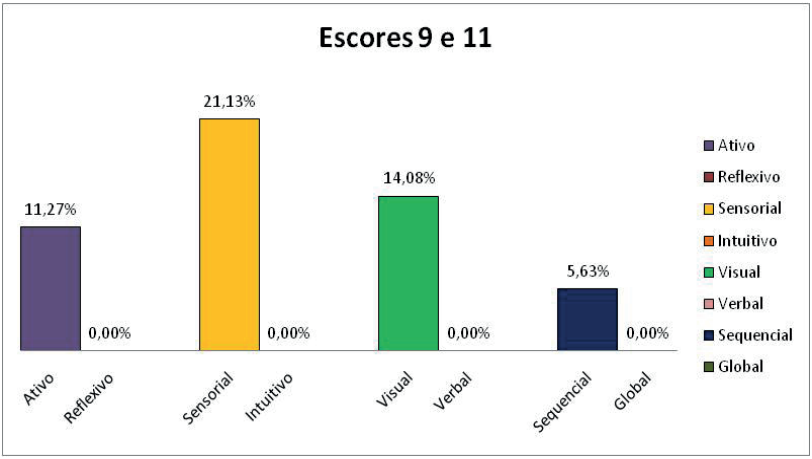


Figura 7 - Porcentagem da intensidade dos estilos de aprendizagem dos estudantes, escores 9 e 11.




Observa-se que a predominância no nível de intensidade se concentra nos escores 1 e 3, enquanto nos escores 9 ou 11 as frequências são baixas, chegando a ser nula em reflexivo, intuitivo, verbal e global.

Pode-se notar que a maior proporção da amostra está concentrada na escala entre 1 e 3, ou seja, leve, sendo que os estilos de aprendizagem que se destacam são o ativo e o sequencial. Portanto, os estudantes levemente ativos não encontram tanta dificuldade em aprender sozinhos.

Observa-se, também, que dentre os estudantes com perfil sequencial, 43,66% está localizada nos escores 1 ou 3, isso significa que os mesmos têm preferência leve por aprender seguindo uma ordem, assimilando as informações conforme o ritmo com que ela transcorre. Estudantes sequenciais utilizam processos mentais lineares na solução de problemas, percorrendo caminhos mais longos. No entanto, essa porcentagem de estudantes levemente sequenciais também não encontra grandes dificuldades em aprender da maneira como os globais o fazem: em saltos intuitivos, trabalhando com conteúdos de forma aleatória, compreendendo os mesmo por “insights”.

Identifica-se que 32,39% dos estudantes são levemente sensoriais, ou seja, não encontram dificuldades em aprender de forma intuitiva. Aqueles classificados nessa categoria preferem trabalhar com fatos e/ou situações concretas, ou seja, são pessoas detalhistas e memorizam procedimentos. Porém faz-se necessário observar que existe uma quantidade de 21,13% com perfil fortemente sensorial, e 29,58% com preferência moderada; estes, quando de frente com teorias, conceitos ou equações matemáticas encontram certa dificuldade para assimilar o aprendizado.

Já na dimensão visual/verbal, os estudantes possuem um perfil levemente verbal (33,80%) o que indica que aprendem melhor por meio de palavras, sejam elas por meio oral ou pela escrita. Porém nas outras intensidades a predominância é do estilo visual, onde a preferência chega a ser 21,13% na escala 5 ou 7; e 14,08% visual na escala 9 ou 11, ou seja, moderada/fortemente visual, o que leva os estudantes a encontrar dificuldade em aprender quando não por figuras, diagramas, fluxogramas, filmes e/ou demonstrações visuais sob outras formas.

## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados associados às escalas de aprendizagem serão demonstrados na sequência, de forma mais detalhada, como forma de complementar os resultados anteriormente apresentados e contribuir para o melhor conhecimento da amostra e seu aproveitamento com relação às disciplinas consideradas nesta pesquisa.

Os resultados constantes da tabela 1 mostram a frequência absoluta dos estudantes, por estilo de aprendizagem e escala de intensidade.

Tabela 1 - Distribuição de frequência dos estudantes da amostra, por estilo de aprendizagem e escore de intensidade.

| Dimensões | Estilos (polos) | Intesidade LEVE escore 1 ou 3 nº estudantes | Intensidade MODERADA escore 5 ou 7 nº estudantes | Intensidade FORTE escore 9 ou 11 nº estudantes | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|
| **Dimensão I** Processamento da Informação | Ativo<br>Reflexivo | 36<br>11 | 13<br>3 | 8<br>0 | 57<br>14 |
| **Dimensão II** Percepção | Sensorial<br>Intuitivo | 23<br>8 | 21<br>4 | 15<br>0 | 59<br>12 |
| **Dimensão III** Modalidade Sensorial | Visual<br>Verbal | 21<br>24 | 15<br>1 | 10<br>0 | 46<br>25 |
| **Dimensão IV** Processo de Aprendizagem | Sequencial<br>Global | 31<br>13 | 20<br>3 | 4<br>0 | 55<br>16 |

**Dimensão I – Processamento da Informação:** pode-se notar que a maior parte dos estudantes ativos se encontram nos escores 1 ou 3, ou seja, há uma preferência levemente ativa. Já os reflexivos, de um total de 14 alunos, sendo que 11 estão situados nos escores 1 ou 3, ou seja, por mais que tenham uma preferência por aprender reflexivamente, não encontram dificuldades em aprender ativamente.

**Dimensão II – Percepção:** nessa dimensão, 59 estudantes são classificados como sensoriais, porém os mesmos estão divididos de forma equilibrada nos escores de 1 a 11, sendo eles

divididos entre 1 ou 3, 5 ou 7 e, também 9 ou 11. Ou seja, o perfil do estudante é classificado com sensorial, porém alguns podem encontrar dificuldade em aprender intuitivamente, visto que 15 alunos são fortemente sensoriais.

Já os estudantes indicados com intuitivos, estão distribuídos nos escores de preferência leve e moderada. Ou seja, podem não encontrar dificuldade em aprender de forma sensorial.

**Dimensão III – Modalidade Sensorial:** nota-se que a maior parte da amostra está localizada no estilo visual, sendo 21 alunos localizados nos escores de preferência leve, 15 nos escores 5 ou 7 (preferência moderada) e 10 nos escores 9 ou 11 (preferência forte), totalizando 46 estudantes.

Enquanto os estudantes verbais encontram-se situados no escore 1 e 3, por mais que possuam preferência por aprender verbalmente, não possuem tanta dificuldade em aprender visualmente. Já nos escores 9 e 11, a frequência é nula.

**Dimensão IV – Processo de Aprendizagem:** segundo os resultados, a maior parte dos estudantes, preferem o estilo de aprendizagem sequencial, e que os mesmos estão distribuídos no escore 1 e 3, com 31 estudantes e no escore 5 e 7, com 20 estudantes, enquanto no escore 9 e 11 a quantidade é mínima (4). Enquanto apenas 16 tem preferência pelo estilo global, sendo que 13 estudantes estão classificados como levemente globais e 3 de forma moderada.

Esta dimensão está relacionada com a forma com a qual os estudantes progridem no entendimento do conteúdo ministrado ou informação com a qual estão lidando, de forma gradual no domínio de cada detalhe em pequenos passos até a aquisição de sua compreensão ou de uma maneira mais rápida na absorção das informações.

Vale ressaltar que o modelo desenvolvido por Felder e Silverman não é categórico, ou seja, não se pode afirmar que um indivíduo é, por exemplo, completamente ativo ou reflexivo; visual ou verbal.

Para se tornar um profissional de destaque existe a possibilidade de desenvolvimento dos estudantes em habilidades associadas a ambos os estilos ligados a cada dimensão da aprendizagem, assim, se for dada a eles a oportunidades de praticar seus estilos menos preferidos, desenvolverão habilidades inerentes a ambos os estilos de aprendizagem.

Pretende-se ainda dar continuidade aos estudos envolvendo o ILS, comparando os resultados discutidos neste trabalho com resultados obtidos durante a época de pandemia de COVID-19, visando assim expandir a amostra para outros cursos de engenharia e também demais cursos do UBM, para verificar se houve alteração no estilo de aprendizagem e na intensidade da preferência por determinados estilos em tempos onde as aulas de todas as disciplinas migraram abruptamente e integralmente para a modalidade a distância (EAD), tendo sido esta a única possibilidade de se ter a continuidade do período letivo em conformidade com as orientações e restrições impostas pelas instituições governamentais.

## REFERÊNCIAS


COFFIELD, F. D. *et al*. **Should we be using learning styles**? What research has to say to practice. The Learning and Skills Research Centre, London. 2004b.

FELDER, R. M.; SILVERMAN, L. K. Learning and teaching styles in engineering education. **Journal of Engineering Education**, v. 7, n. 7, p. 674-681, 1988.

FELDER, R. M. **Matters of style**. American Society of Electrical Engineers: Prism North Carolina, 1996. Disponível em: http://www.ncsu.edu/felder-public/Papers/LS-Prism.htm. Acesso em: 17 ago. 2017.

FELDER, R. M.; SPURLIN, J. Applications, reliability and validity of the Index of Learning Styles. **Journal of Engineering Education**, v. 21, n. 1, p. 103-112, 2005.

KALATZIS, A. C. **Aprendizagem baseada em problemas em uma plataforma de ensino a distância com o apoio dos estilos de aprendizagem**: uma análise do aproveitamento dos estudantes de engenharia.113 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2008.

# ANÁLISE DE PERDAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE EMBALAGENS METALICAS

## LOSS ANALYSIS IN A METAL PACKAGING PRODUCTION PROCESS

Iago Pimentel de Almeida[1]
Izabeli C. Fontes dos Santos[1]
Kaio Santos da Silva[1]
André Luís de Oliveira Coutinho da Silva[2]

**RESUMO:** O gerenciamento de processos está totalmente relacionado a um bom controle e planejamento diário, independente da organização. Além disso, as ferramentas da qualidade são de fundamental importância para medir, verificar e solucionar os gargalos de processo. Portanto, com o auxílio delas, obtém-se os dados, transformando-os em análises para possíveis soluções para a principal anomalia, que é a perda de materiais, bem como, para a reclamação de clientes relacionada ao processo de produção de embalagem. A embalagem destaca-se entre as atividades industriais, pelo volume que representa no consumo de diversas matérias-primas, sinalizando qualquer alteração no mercado. Sua fabricação inadequada pode alterar a qualidade do produto, deixando sua credibilidade mal vista pelos consumidores. Então, foi necessário identificar a maior parte dessas perdas que afetam o sistema de produção e mostrar o impacto das embalagens a fim de alcançar melhores resultados. Para tanto, a ferramenta da qualidade "Diagrama de Pareto", auxiliou na identificação do problema juntamente com as ocorrências surgidas no processo e a ferramenta "5 Porquês" será utilizada para apontar a causa raiz do gargalo, em que se faz necessária a elaboração de um plano de ação com possíveis propostas de melhoria.

1 Discente do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM)

2 Docente Mestre do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**Palavras-chave:** Gerenciamento de processos. Controle de perdas. Planejamento. Embalagens metálicas.

**ABSTRACT:** As it's commonly known the process management is totally related to good control and daily planning, independent of the organization. Furthermore, quality tools are of fundamental importance to measure, verify and solve the process bottlenecks. Therefore, with their help, data are obtained, transforming them into analyzes for possible solutions to the main anomaly which is the loss of materials as well as customer complaints related to the packaging production process. Packaging stands out among industrial activities, due to the volume it represents in the consumption of various raw materials, indicating any change in the market. Its inadequate manufacture can modify the quality of the product, transforming its credibility into disapproval by consumers. So, the goal is to reduce most of this losses that affect the production system and show the impact of packaging to achieve better results. To do so, the "Pareto Diagram" quality tool will assist in identifying the problem jointly with the occurrences that have arisen in the process and the "5 Whys" tool will be used to find the root cause of the bottleneck, in which it is necessary to develop an action plan with possible proposals for improvement.

**Keywords***:* Process management. Loss control. Planning. Metal packaging;

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as empresas pretendem tornar seu processo cada vez melhor e continuo não deixando de lado a rapidez e espirito de inovação, visto que a economia está cada vez mais globalizada. Portanto, é necessário um conjunto de capacidades para permanecer no mercado competitivo, melhorando sua flexibilidade, desempenho produtivo, inibindo perdas e garantindo as necessidades dos clientes com excelência.

O gerenciamento de processos é necessário em qualquer cadeia de processo produtivo, visando o controle e padronização das atividades, direcionando por prioridades, de forma a otimizar o tempo e ganhar produtividade.

Essa metodologia faz-se necessária principalmente ao observar-se que muitos projetos de controle estatístico não obtêm o resultado almejado por falta de uma abordagem sistemática de implementação (SALADA, 2002). Portanto, visando reduzir as variações de processo e manter a estabilidade a partir de projetos de melhoria, a metodologia de gerenciamento da rotina, propõe simplicidade de execução, ligação entre os segmentos e rapidez na resposta aos desvios de processo.

Segundo Campos (2013), o gerenciamento da rotina permite que profissionais da base sejam capazes de resolver problemas do dia a dia e de minimizar a sobrecarga de supervisores e gerentes. Utilizada para garantir os resultados esperados de cada processo, a solução propicia aos clientes bens e serviços com qualidade, custo e prazo acordados.

Com o intuito de utilizar o método como instrumento de melhoria, este trabalho apresentará um estudo de caso no processo produtivo de uma siderurgia de grande porte, fim de reduzir as perdas do processo e promover uma melhoria em sua produtividade.

Envolvendo parte dos funcionários, a fim de obter o máximo de informações necessárias para coleta de dados, transformando em análises comparativas os resultados obtidos, enfatizando a elaboração de planos de ação e execução do mesmo.

As ferramentas da qualidade (Diagrama de Ishikawa, Fluxograma, Diagrama de Pareto, 5W2H, PDCA) irão auxiliar no planejamento, execução e detecção de problemas, com objetivo de solucionar anomalias e padronizar processos.

Sendo de grande importância a aplicação da sistemática exposta, não só para adequação, mas devido ao potencial que o estudo tem para diminuir os prejuízos.

Tendo em vista a identificação dos gargalos, torna-se necessário inspecioná-los com base nas ferramentas de qualidade e propor melhorias no processo de produção.

## 1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo identificar as perdas no processo de produção de embalagens metálicas utilizando como base as ferramentas da qualidade para implementação das análises e resultados.

# 2 DESENVOLVIMENTO

## 2.1 GERENCIAMENTO DDE PROCESSO

Gerenciar é planejar e agir adequadamente no tempo devido visando uma qualidade específica, a um custo pré-planejado. Além disso, o gerenciamento procura realizar as atividades pré-planejadas com a finalidade de fazer com que a execução de um trabalho se materialize conforme o planejado e programado. (PESSOA, 2003)

Um bom gerenciamento consiste em determinar um bom plano de ação para toda meta de melhoria que se queira atingir. Toda meta de melhoria gera um plano de ação. (CAMPOS, 2004)

Conceitua Gerenciamento da Rotina como a “ação de coordenar e executar as atividades do dia-a-dia em nível operacional, praticando o ciclo PDCA (Planejar, Desenvolver, Checar e Agir) e executando as atividades de acordo com as políticas e diretrizes da empresa”. (MOURA, 1997, p. 30)

Gerenciamento de rotina é a monitoração dos resultados dos processos e comparação com as metas, utilizando ação corretiva, nas operações e no processo, buscando perfeição contínua. Portanto, um bom gerenciamento consiste em determinar um bom plano de ação para toda meta de melhoria que se queira atingir. Toda meta de melhoria gera um plano de ação. (Campos, 2013)

O gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia deve ser definido na autoridade e responsabilidade de cada pessoa, na padronização dos processos de trabalho, na monitoração dos resultados dos processos comparando-os com as metas, na ação corretiva no processo com base dos desvios encontrados nos resultados, em um bom ambiente de trabalho, na máxima

utilização do potencial mental das pessoas e por fim, na contínua procura pela perfeição. Então, gerenciar é planejar e agir adequadamente no tempo devido visando uma qualidade específica, a um custo pré-planejado. (CAMPOS, 2004)

O gerenciamento da rotina é realizado de modo durável e consecutivo em base diária, ocorrendo, portanto, 'na' e 'durante' a prática de cada micro processo do departamento/setor. (CARVALHO; PALADINI, 2005 *apud* CASTRO, 2011, p. 32)

## 2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE EMBALAGENS

O processo de embalagem se inicia no corte das folhas de aço, aplicado no verniz protetor. Na litografia, ocorre a impressão das folhas de aço em retângulos menores para conformação do corpo. Ao final do processo é aplicado o fundo e o corpo da embalagem, afim que o material fique melhor acomodado. A figura 1 mostra uma síntese da sequência de etapas de produção de uma embalagem metálica.

Figura 1 - Modelo de processo de embalagem




Fonte: ABEAÇO (2018)

## 2.3 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A elaboração deste trabalho é de natureza aplicada, no qual pretende gerar conhecimento definido e específico. Com o objetivo de contextualizar o gerenciamento da rotina, aplicando seus princípios e práticas, utilizando como base para o estudo de caso na organização X. Quanto a abordagem é de forma descritiva e qualitativa, apontando cada parte do processo a ser analisado.

Segundo Toulmin apud FREITAS (2011) a pesquisa qualitativa apresenta alguns aspectos essenciais: tendência à formulação de teorias, realização de estudos empíricos e na manifestação da necessidade de dispor os problemas a serem estudados e as soluções a serem desenvolvidas dentro de seu contexto e de descrevê-los a partir dele.

## 2.4 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Com base no estudo de caso, foram utilizados questionários elaborados pela observação física dos processos, onde havia X perguntas respondidas por gestores, ligadas a manutenção de máquinas, indicadores, metas, descartes e cálculo de perdas. Outro método utilizado foi o livro de qualidade, no qual auxiliou com informações extremamente precisas de cada processo. Por último foi feito uma entrevista presencial com colaboradores, fazendo com que cada um explicasse o processo de sua área.

Tendo em vista as ferramentas da qualidade, o Diagrama de Pareto será utilizado como auxílio para evidenciar o problema mais relevante do processo. Após identificação, o Diagrama de Causa e Efeito contribuirá para encontrar a causa raiz relacionado ao problema. Ao final, para descobrir a solução para o problema a ferramenta 5W2H irá auxiliar no plano de ação após o diagnóstico.

## 2.5 ESTUDO DE CASO

### 2.5.1 Análise do processo

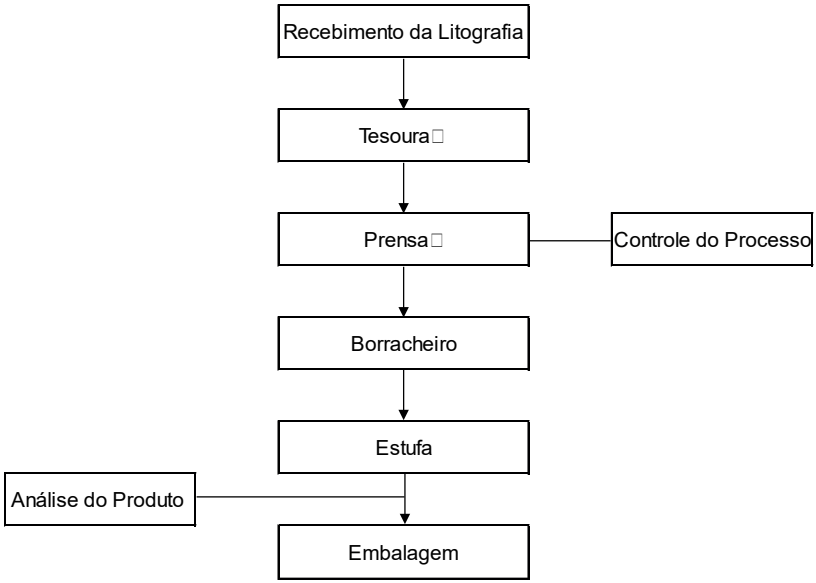
O processo inicia se no setor de litografia, onde provém toda matéria prima para início da transformação. Após, o material é transferido pelo funcionário para a tesoura, no qual são cortadas placas de folhas no modelo padrão utilizado. Em seguida, o material é transportado para máquina de prensa, visto que, neste processo as placas são moldadas de acordo com o diâmetro da embalagem. Então, no borracheiro, é inserido a peça para que possua o vedante em sua borda, passando pela estufa a uma temperatura de 90 a 100°C, obtendo, portanto, a secagem do mesmo. Por fim, todo o material é encaminhado para o resfriador, e em seguida enviado para o embalador, visando acondicioná-los de forma padrão nos paletes juntamente com a etiqueta de codificação.

Ao final do processo, os itens que estão em desacordo são enviados para o descarte. O processo de descarte se inicia através das anotações diárias de perdas por cada colaborador, utilizando uma folha de processo em cada máquina. Ao final de cada processo, é transferido as informações para o sistema utilizado (SAP), facilitando a junção das informações para calcular o valor total de perdas.

As peças inadequadas para o processo, são depositadas em um recipiente, no qual é recolhido, pesado e descartado em uma “caçamba” de maneira separada. Quando o local alcança seu nível máximo, o mesmo é transportado para fora da área de produção. Logo após essas peças são vendidas como sucata para uma empresa especializada, onde não é retornado para produção.

A seguir o fluxograma de processo:

Figura 2 – Fluxograma do processo de produção




### 2.5.2 Identificação dos problemas

Com base no que foi observado na empresa, considerando visitas, entrevistas e questionários realizados, constata-se que a perda do produto final é a principal anomalia presente no processo, visto que, todo material não conforme perceptível pelos funcionários é descartado.

Em consideração as ferramentas de gestão, utilizou-se o Diagrama de Pareto como principal ferramenta para início das análises, tendo em vista a realização de visitas na empresa, onde foi observado os cinco processos de produção, juntamente com suas ocorrências.

Assim, entre as etapas do processo obtiveram-se ao final, cinco ocorrências na primeira visita, sendo elas:

Quadro 1 - Análise do processo de produção - 1ª visita

| **Etapas** | **Ocorrências** |
|---|---|
| Tesoura | Folha amassada |
| Prensa | Falha mecânica |
| Borracheiro | Falta de vedante |
| Estufa | Falha de temperatura |
| Embalagem | Embalagem extraviada |

Conforme observado os dados acima foi feito uma distribuição de perdas do mês, de acordo com o processo de produção, levando em consideração as ocorrências em cada etapa do processo, assim fazendo a sua distribuição separadamente por etapa na produção do produto, que foram observadas durante as visitas a empresa.

A seguir pode ser observado as distribuições:

Tabela 1 - Perdas de Janeiro

| **Máquinas** | **Número de Perdas** | **Porcentagem (%)** |
|---|---:|---:|
| Tesoura | 144 | 10 |
| Prensa | 316,8 | 22 |
| Borracheiro | 792 | 55 |
| Estufa | 115,2 | 8 |
| Embalagem | 72 | 5 |
| Total | 1.440 | 100 |

Tabela 2 - Perdas de Fevereiro

| **Máquinas** | **Número de Perdas** | **Porcentagem (%)** |
|---|---|---|
| Tesoura | 355 | 10 |
| Prensa | 710 | 20 |
| Borracheiro | 2130 | 60 |
| Estufa | 177,5 | 5 |
| Embalagem | 177,5 | 5 |
| Total | 3550 | 100 |

Tabela 3 - Perdas de Março

| **Máquinas** | **Número de Perdas** | **Porcentagem (%)** |
|---|---|---|
| Tesoura | 275 | 10 |
| Prensa | 687,5 | 25 |
| Borracheiro | 1512,5 | 55 |
| Estufa | 220 | 8 |
| Embalagem | 55 | 2 |
| Total | 2750 | 100 |

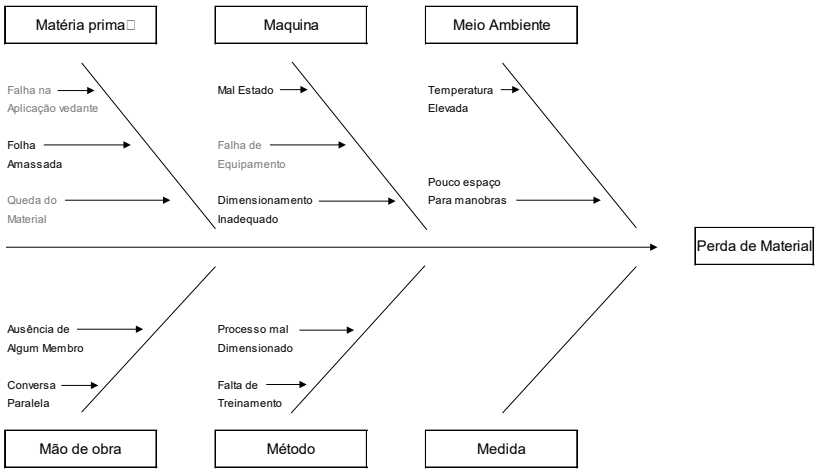
Após análise dos gráficos de distribuição percebe-se que o maior gargalo no processo de produção tem sido na máquina borracheiro, representando em média 55% das perdas do processo de produção.

### 2.5.3 Aplicação do diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, está relacionado a perda de material como problema principal, tendo em vista todas as causas identificadas pela equipe no processo de produção. Contudo, em destaques estão as principais causas, onde serão exploradas para possíveis soluções.

A seguir, uma aplicação do diagrama de ISHIKAWA no processo de produção:

Figura 2 - Diagrama de ISHIKAWA




### 2.5.4 Análise dos 5 porquês

Os “5 Porquês” é uma ferramenta para encontrar a causa raiz de um defeito ou problema. É uma técnica de análise que parte do argumento que após perguntar 5 vezes o porquê um problema está acontecendo, sempre relacionado a causa anterior, será definida a causa raiz do problema ao invés da fonte de problemas (BICHENO,2006). Portanto, a tabela a seguir apresenta os problemas encontrados em relação a perda de material, seguindo os questionamentos até chegar ao último por quê, o que servirá como base para realização do plano de ação.

A seguir, aplicação dos 5 Porquês no processo:

Quadro 2 - Análise dos 5 Porquês

| Problema | Por quê | Por quê | Por quê | Por quê | Por quê |
|---|---|---|---|---|---|
| **Falha de Equipamento** | Excesso de resíduos | Peças em não conformidades | Falha na Inspeção | Não reconhece a importância da realização | |
| **Falha de Equipamento** | Excesso de resíduos | Peças em não conformidades | Falta de manutenção planejada | | |
| **Queda do Material** | Falta de Atenção | Conversas Paralelas | Não compreende a importância do processo | Falta de treinamento adequado | |
| **Falha na aplicação de vedante** | Falta de alinhamento | Equipamento irregular | Falha na inspeção | | |

### 2.5.5 Plano de ação e resultados esperados

Com intuito de relacionar a causa raiz com a ação a ser tomada, o plano de ação a seguir, exemplifica cada item, evidenciando o responsável e a data de execução a ser realizada de cada um deles. Portanto é necessário revisar diariamente e atualizar as ações.

Com base nos dados e nas observações, logo no quadro 9 segue a aplicação do Plano de Ação:

Quadro 3 - Plano de ação

| **PLANO DE AÇÃO** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Assunto**: Melhoria no processo de produção | | | Solucionar anomalias encontradas no processo de produção. | | |
| **Ação** | **Por Quê ?** | **Local** | **Respon-sável** | **Inicio** | **Como?** |
| Realizar inspeção diária dos equipa-mentos | Garantir que não haja falhas inespera-das | Area de produce | Inspetor de ma-nutenção | 01/08/2020 | Seguindo o procedi-mento da inspeção |
| Realizar manuten-ção pre-ventiva em todas as maquinas com maior frequência | Garantir que não haja falhas inespera-das | Área de produção | Opera-dores | 04/08/2020 | Criando rotina de ma-nutenção |
| Revisar o treinamen-to dos fun-cionários e intensificar a impor-tância de cumprir com os procedi-mentos | Assegurar que não haja fun-cionários destreina-dos | Área de produção | Supervi-sores | 01/08/2020 | Realizan-do audi-torias nos processos de pro-dução de todos os funcioná-rios |
| Realizar inspeção diária dos equipa-mentos | Certificar que não haverá falha na aplicação de vedante | Área de produção | Inspetor de ma-nutenção | 01/08/2020 | Seguindo o procedi-mento de inspeção |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Mostrar o impacto de uma inspeção mal realizada | Prevenir os danos causados nas peças | Área de produção | Líder Operacional | 01/08/2020 | Reunião diária com a equipe |

Portanto, após aplicação do plano de ação mostrado, espera-se que há uma diminuição de em média 55% de perdas no processo produtivo de embalagens metálicas, sendo a maior parte dessas perdas provindas do processo ocorrido no equipamento borracheiro.

## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude dos fatos mencionados, percebe-se que a aplicação do gerenciamento da rotina se faz necessário em qualquer organização, tendo em vista a facilidade em identificar gargalos no processo e apontar melhorias.

Contudo, é perceptível que a coleta de dados, identificação e analise dos problemas, detecção da causa raiz e possíveis propostas de melhorias, só é possível realizar através do auxílio das ferramentas da qualidade que está totalmente ligada ao gerenciamento da rotina, onde se faz intensificar a extrema importância de aplicá-las corretamente.

Além disso, as visitas realizadas também demonstraram que é fundamental para se observar o processo como todo e analisar individualmente cada detalhe dos problemas, em conjunto com os colaboradores.

Então, acredita-se que as entrevistas e os questionamentos provocados, contribuíram de fato para a identificação do principal problema e o seu desdobramento até a possível diminuição do desperdício.

É notório que as perdas em um processo de produção, implicam diretamente na lucratividade da empresa, por isso é extremamente necessário resolvê-las o mais rápido possível. Logo,

constata-se que após o seguimento das sequencias de aplicação do método estudado, torna-se mais fácil chegar à causa principal do problema e elimina-los.

Dessa forma, tendo em vista a redução de perdas e o aumento de produtividade na produção, espera-se que com as propostas de melhoria mencionadas obtenha-se uma diminuição de em média de 55% das perdas e um aumento considerável na produtividade, já que estão totalmente interligados. Este, contribui diretamente para o indicador de perdas e o aumento da lucratividade da organização

## REFERÊNCIAS


ABNT. NBR ISO 9000:2000. **Sistema de gestão da qualidade**: requisitos. Rio de Janeiro, Dezembro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM DE AÇO. ABEACO. **Como as latas são feitas.** Disponível em: http://abeaco.com.br/latastexto.html. Acesso em: 13 jun. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM DE AÇO. ABEAÇO**. Nosso Aço – Uma história para ser contada.** São Paulo: Editora B&B, 2010.

BRAVO, I. **Gestão da qualidade em tempos de mudança**. 3. ed. São Paulo: Editora Alínea,2010.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Gestão da qualidade**: conceitos e técnicas. São Paulo: Atlas, 2010. Disponível em: http://www.las.inpe.br/~perondi/31.10.2011/Carpinetti_Cap-2.pdf. Acesso em: 11 jun. 2020.

CSN. **Segmentos siderurgia**. Disponível em: http://www.csn.com.br/images/segmentos-siderurgia-01.jpg. Acesso em 11 jun. 2020.

CUIKET. **Solução para todos os tipos de embalagem.** Disponível: https://galeria.cuiket.com.br/foto/solucao-para-todos-os-tipos-de-embalagem_48562.html. Acesso em: 7 jun 2020.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**.9 ed. Belo Horizonte: Editora Falconi, 2013.

DOCSITY. **Embalagem metálica**. Disponível em: https://www.docsity.com/pt/embalagem-metalica/4834764/. Acesso em 28

mai. 2020.

FERRAMENTAS DA QUALIDADE. **Fluxo de aplicação dos 5 porquês**. Disponível em: https://ferramentasdaqualidade.org/app/uploads/2019/05/fluxo-de-aplicacao-do-5-porques.png. Acesso em: 10 jun. 2020.

INEMUR. **Linhas chave na mão**: fabricação de embalagens. 2018. Disponível em: https://www.inemur.com/pt-pt/servicos/linhas-chave-na-mao/fabricacao-de-embalagens/. Acesso em: 20 jun. 2020.

MOURA, Luciano Raizer. **Qualidade simplesmente total**: uma abordagem simples e prática da gestão da qualidade. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1997.

NASCIMENTO, Ivana. **A influência do gerenciamento da rotina na cultura organizacional**. 3 out. 2011. Disponível em: https://administradores.com.br/artigos/a-influencia-do-gerenciamento-da-rotina-na-cultura-organizacional. Acesso em: 7 jun. 2020.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade**: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2009.

REZENDE, Edilaine Conceição; MOL, Marcos Paulo Gomes; PEREIRA, Aline Aparecida Thomaz. Produção mais limpa em indústria farmacêutica: avaliação das ações preliminares. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**. [Online]. 5. 130-145. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Etapas-do-processo-de-producao-de-medicamentos-na-Unidade-de-Producao-Fonte_fig1_287330404. Acesso em 8 jun 2020.

SANTOS, Anderson Barbosa dos; NETO, João Alves da Sil-

va; RODRIGUES, Luiz Fernando Meira. **Gestão da qualidade da embalagem metálica easy open**: um estudo de caso na JBS Divisão Latas de Lins - SP. 2014. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Administração) - Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UNISALESIANO, [S. l.], 2014. p. 77. Disponível em: http://www.unisalesiano.edu.br/biblioteca/monografias/57469.pdf. Acesso em: 16 maio 2020.

SANTOS, Diônatas Simões dos; CECCATO, Maicon Silvio; MICHELON, Maikel Handerson. **Eficiência da ferramenta 8D aplicada em uma indústria do setor metal-mecânico-estudo de caso**. 2011. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia de Produção) - FAE Centro Universitário, [S. l.], 2011. Disponível em: https://img.fae.edu/galeria/getImage/1/23567898199447012.pdf. Acesso em 28 mai. 2020.

SEBRAE. **5W2H**: tire suas dúvidas e coloque produtividade no seu dia a dia. Disponível em: http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/5w2h-tire-suas-duvidas-e-coloque-produtividade-no-seu-dia-a-dia,06731951b837f510VgnVCM1000004c00210aRCRD. Acesso em 7 jun 2020.

SILVA, Vander Luiz da; OLIVEIRA, Claudilaine Caldas de. **Análise da aplicabilidade de ferramentas da qualidade em empresas**: um mapeamento de estudos aplicados. 2016. Disponível em: http://www.fecilcam.br/anais/x_eepa/data/uploads/4-engenharia-da-qualidade/4-02.pdf. Acesso em: 29 maio 2020.

SOARES, Flávia Leite; OLIVEIRA, Willame Pereira de. **Controle da qualidade total**. 2012. Disponível em: https://www.cin.ufpe.br/~processos/TAES3/Livro/00-LIVRO/06-TQC-v8_CORRIGIDO_Willame.pdf. Acesso em: 15 maio 2020.

# ENGENHARIA ELÉTRICA

# COMPLEMENTARIEDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA HÍBRIDA COM FONTES SUSTENTÁVEIS: SOLAR E EÓLICA

## COMPLEMENTARY HYBRID ELECTRICITY GENERATION WITH SUSTAINABEL SOURCES: SOLAR AND WIND

Hérick Bellei Martuscelo[1]
JIago de Almeida Fagundes Soares[1]
Dener Martins dos Santos[2]
Bianca Carneiro Ferraz[3]

**RESUMO:** Este trabalho simulou a viabilidade técnica da geração híbrida de energia elétrica por meio de fontes renováveis (solar e eólica). Esta pesquisa se desenvolveu a partir do levantamento das condições geográficas e climáticas da cidade Parazinho (RN), também conhecida como “Cidade dos Ventos”, localizada no Nordeste do Brasil. A metodologia empregada usou o mapeamento do consumo energético da estação de telecomunicação; horas de sol a pico e velocidade do vento. Os resultados indicaram que ambos os sistemas sustentáveis poderiam ser combinados em um único e seriam bem atrativos economicamente. Devido à possibilidade de operarem com menor risco de interrupção tanto em termos de consumo diário quanto sazonal de energia elétrica. Além disso, a produção híbrida sustentável de energia elétrica foi compatível tanto diária quanto anualmente com relação ao consumo médio diário observado de aproximadamente 97 kWh/dia ou 609 Ah/dia.

**Palavras-chaves**: Energia Solar Fotovoltaica. Energia Eólica. Geração Híbrida de Energia Elétrica. Telecomunicação.

1 Discentes do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM)

2 Docente Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e Docente Doutor do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

3 Docente Mestra e Coordenadora do Curso de Engenharia Elétrica e do Curso de Controle e Automação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**ABSTRACT:** This work simulated the technical feasibility of hybrid electric Power generation usig renewable sources (solar and Wind). This research was developed from the survey of the geographical and climatic conditions of the Parazinho (RN) city, also know “Cidade dos Ventos”, located in northeastern Brazil. The methodology used the mapping of the energy consumption of the telecommunication station; hours of peak Sun and Wind speed. The results indicated that both sustainable systems could be combined into one and would be very attractive economically. Due to the possibility of operating with lesrisk of interruption both in terms of daily and seasonal electricity consumption. In addition, the sustainable hybrid production of electricity was compatible both daily and annually with respect to the average daily consumption of approximately 97kW/day or 609Ah/day.

**Keywords***:* Photovoltaic Solar Energy. Wind Energy. Electric Power Hybrid Generation. Telecommunication.

## 1 INTRODUÇÃO

Embora a energia elétrica esteja presente na vida de muitas pessoas e é cada vez mais indispensável, ainda há uma grande parte da população não agraciada por ela. Um dos principais motivos da ausência de energia elétrica na vida de milhares de cidadãos mundo afora, consistiria na condição de isolamento em que elas se encontram.

Esse panorama vem sendo alterado com os avanços tecnológicos na área de fontes renováveis. O uso de tais energias traz consigo um fator social importante que se trata da diminuição da exclusão proporcionada pela ausência de energia elétrica e dissemina a consciência para os crescentes problemas ambientais. Tecnologicamente as fontes renováveis estão se tornando cada vez mais competitivas, e por muitas vezes, mais viáveis do que as convencionais. Sistemas renováveis cujas fontes primárias são do tipo solar fotovoltaica e eólica, estão entre as opções mais pesquisadas atualmente.

### 1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi simular a viabilidade técnica de um sistema híbrido capaz de gerar energia elétrica, mediante fontes solar fotovoltaica e eólica para abastecer uma estação de telecomunicação em um município de pequeno porte do Nordeste do Brasil. O sistema proposto visa permitir a geração de energia simultânea pelo sistema híbrido e, também, individualmente no momento que uma das fontes não estivesse em operação. Essa característica de arranjo objetiva proporcionar a geração de energia elétrica por todo o dia.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Brasil é um país cuja produção de eletricidade baseou-se, historicamente, na dependência de duas principais matrizes: hidrelétrica e termoelétrica. A primeira, predominante e prioritária. A segunda cuja maioria das usinas opera somente em tempos de baixa da primeira. Por esse motivo, a expansão da energia eólica no Brasil surgiu a partir da necessidade de diversificação das fontes energéticas para que o mesmo ficasse menos suscetível a crises no setor e também gere menos impactos ao meio ambiente (FERREIRA *et. al*., 2017).

A energia cinética do vento normalmente é convertida em energia mecânica por moinhos e cataventos, ou em energia elétrica por turbinas eólicas ou aerogeradores; conforme demonstrado pela figura 1. A aplicação da energia eólica em trabalhos mecânicos por moinhos e cataventos, como a moagem de grãos e o bombeamento de água, remonta à origem da utilização dessa fonte de energia pela humanidade, a qual só passou a ser considerada uma alternativa para a geração de energia elétrica a partir da crise do petróleo, na década de 1970 (ABEEólica, 2018).

**Figura 1: Parque Eólico de Osório (RS).**



Fonte: ABEEólica (2018)

No ano de 2002 o governo brasileiro criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), cujo objetivo foi ampliar as matrizes que gerariam menos impactos ambientais, dentre elas a eólica, a solar, a geotérmica e outras. Esse ato permitiu a expansão da energia eólica por meio de parcerias entre o poder público e a iniciativa privada por intermédio da realização de leilões e concessões públicas para empresas interessadas durante um período de, geralmente, 20 anos. O primeiro leilão ocorreu no ano de 2009 e envolveu empreendimentos em cinco estados da região Nordeste.

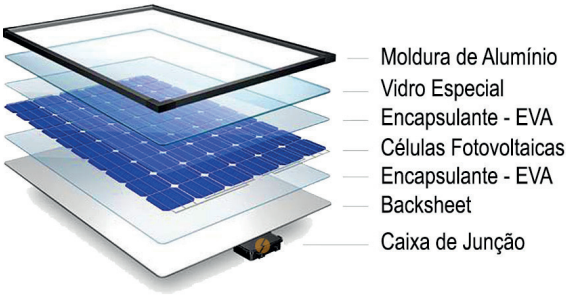
Segundo o último Boletim Anual da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), o ano de 2018 terminou com 583 usinas no total e 14,71 GW de potência eólica instalada, o que representou um crescimento de 15,19% de potência em relação a dezembro de 2017, quando a capacidade instalada era de 12,77 GW. A expectativa para o setor eólico em 2019 é chegar ao final do ano com quase 16 GW instalados e fortalecer o setor como a segunda fonte da matriz. (ABEEólica, 2018)

O planeta Terra recebe do sol algo como a energia de 10 bilhões de Itaipus diariamente. E isso é apenas uma pequena parcela da luz e calor que o sol emite. Esta parcela de luz e calor que efetivamente alcança o planeta seria suficiente para dar vida e movimento aos oceanos, ventos, florestas e a todos os organismos vivos. A luminosidade, que é a potência que o Sol produz, tem medidas que mostram que cada metro quadrado na Terra recebe do Sol uma potência (energia/segundo) de 1400 watts, isto é, a potência de 14 lâmpadas de 100 watts. Essa potência recebida determina a luminosidade do Sol em 4 x 1026 watts, ou 4 x 1033 ergs/s. (STENSMANN, 2014).

No Brasil a utilização de energia solar aumenta a cada ano. A geração distribuída de energia solar no Brasil vem crescendo desde o ano de 2012 com o mercado consumidor dobrando a cada ano. No ano de 2018 os preços aos consumidores caíram quase 30% e impulsionaram ainda mais o seu desenvolvimento. (MEYER, 2019)

As células solares são interligadas em série por malhas de fios de prata e são encapsuladas em acetato vinilo de etileno (EVA), conforme demonstrado na figura 2, que garante o isolamento elétrico, na parte posterior do módulo solar fica a caixa de conexão às quais chegam os terminais positivo e negativo da série de células, saindo a tensão total da somatória das células.

Figura 2: Composição do módulo solar.




Fonte: Portal Solar (2019)

Segundo as novas regras da Resolução Normativa 482 da ANEEL, que valem desde 2016, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e minigeração distribuída, aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 482/2012 (Nova Resolução Normativa nº 687/2015 revisando a Resolução Normativa nº 482/2012), o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Caso a energia injetada na rede seja superior à consumida, cria-se um "crédito de energia", mas pode ser utilizado para abater o consumo da unidade consumidora nos meses subsequentes ou em outras unidades de mesma titularidade (desde que todas as unidades estejam na mesma área de concessão), com validade de 60 meses (antes 36), ou seja, o que o consumidor irá pagar para a distribuidora no fim do mês é a diferença entre o que ele consumiu da rede elétrica e o que ele injetou na rede. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado "autoconsumo remoto" (ANEEL, 2016).

## 2.1 SISTEMA HÍBRIDO

Nas áreas onde a rede elétrica convencional não existe, a alternativa mais usual para o atendimento dessas demandas, sejam em pequenas comunidades ou aplicações especiais como sistemas de telecomunicação, é o uso de grupos geradores a diesel. Tais unidades de geração são comumente denominadas de sistemas diesel-elétricos. Contudo, a forma de operação dos sistemas diesel-elétricos não é trivial. As principais dificuldades incluem o custo do óleo combustível e a necessidade de manutenção constante, principalmente do motor e do grupo gerador. Além da questão ambiental relacionada principalmente com a queima do combustível fóssil e consequentemente, emissão de

gases de efeito estufa (PINHO, 2006).

Fontes de energia renováveis, tais como solar, eólica, hídrica ou biomassa; constituem exemplos reais para geração de eletricidade em áreas remotas. Porém, os custos de investimento para instalação desses sistemas são bastante elevados, sendo essencial uma boa caracterização dos recursos energéticos e da demanda elétrica, de forma a dimensionar o sistema de geração que melhor atenda à necessidade de energia com o menor custo. Há áreas onde mais de uma fonte renovável se destaca. Assim elas podem ser combinadas em um único sistema, que em muitos casos mostram-se bem confiável, flexível e atrativa economicamente. Essa combinação introduz a definição de sistema híbrido de energia, ou simplesmente sistema híbrido. Ele é definido como sendo aquele que utiliza mais de uma fonte de energia disponível localmente e deve gerar e distribuir energia elétrica, de forma otimizada com custos mínimos, com determinada carga, isolada ou conectada a outras redes (BARBOSA, 2006). Esse tipo de sistema tem capacidade de operar com menor risco de interrupção. Os sistemas elétricos baseados na geração híbrida renovável, com a acumulação ou não de energia feita em baterias, representam hoje uma alternativa madura para o suprimento de energia, devido aos seguintes fatores:

- Avanços na conversão elétrica de energia através do desenvolvimento da eletrônica de potência;
- Contínuo aumento da eficiência e robustez dos equipamentos geradores (principalmente dos módulos fotovoltaicos e aerogeradores);
- Desenvolvimento de sistemas de controle automático mais confiáveis;
- Desenvolvimento da tecnologia de baterias chumbo-ácido livre de manutenção para sistemas de eletrificação com fontes renováveis.

Entretanto, assim como em qualquer outro sistema elétrico de geração, a utilização dos sistemas híbridos possui vantagens e desvantagens. A indicação dessas características, obtida através de uma análise qualitativa de fatores técnicos, econômicos, ambientais e sociais, é mostrada no quadro 1.

Quadro 1: Vantagens e desvantagens dos sistemas híbridos para eletrificação.

| | VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|---|---|---|
| **Local de Implantação** | Recursos Energéticos – Utilização dos recursos que estão disponíveis no local. | Recursos Energéticos – A disponibilidade energética dos recursos precisa ser favorável para geração de eletricidade. |
| **Equipamento e Investimento** | Flexibilidade – Sistemas facilmente ampliáveis, devido à mudularidade dos subsistemas de geração. | Investimento Inicial – Bastante elevado em face da necessidade da importação dos principais equipamentos de geração. |

| | | |
|---|---|---|
| **Operação e Manutenção** | Sistemas Independentes – Não precisam estar ligados a rede de energia elétrica convencional. Confiabilidade – Pouca necessidade de manutenção para as tecnologias de geraçao renovável e sua redução para os sistemas diesel- elétrico de pequeno porte. Geração – Proximidade da carga a ser atendida. Qualidade de energia – Qualidade maior da energia fornecida, em comparação com a diesel-elétrica. | Sistema de armazenamento – Necessida de armazenamento de energia, em função da intermitência das fontes primárias. Baterias – Ciclo de vida relativamente curto comparado aos demais equipamentos do sistema. Sistema de controle – Pode ser bastante complexo, dependendo do porte do sistema. |
| **Questões Ambientais** | Sistema comissionado – Ambientalmente benigno, dado o baixo nível de emissão de $CO_2$ e outros gases, comparado a geração exclusivamente a partir de combustíveis fósseis. | Baterias – Descarte e reciclagem das baterias são pontos fracos. Porte do sistema – Para sistema de grande porte têm-se a ocupação de grandes áreas (arranjo fotovoltaico), além do aspecto visual (aerogeradores). |
| **Organização** | Usuários – Completamente adaptável às necessidades energéticas dos usuários. | Usuários – Necessidade de maior envolvimento do usuário com os sistemas durante e após a implantação, através do uso racional de energia. |

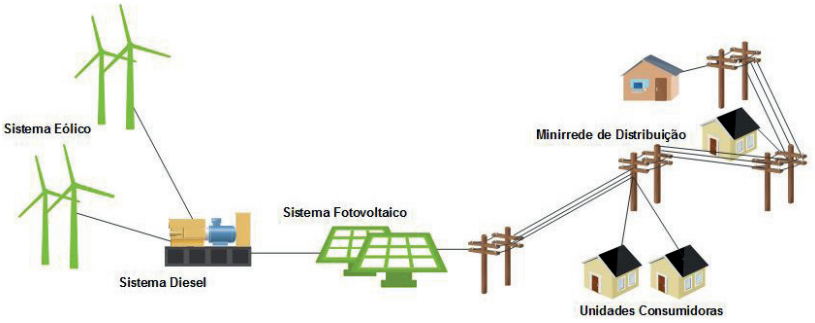
Fonte: Sistemas Híbridos: Soluções Energéticas para a Amazônia, 2008.

Atualmente não há uma base de dados que aponte o número de sistemas híbridos implantados e em funcionamento no mundo, e nem há registro do ano de implantação do primeiro sistema. Entretanto há registros que indicam que os sistemas híbridos tiveram seu início na década de 1970, provavelmente decorrente da busca de uma alternativa energética frente à crise do petróleo de 1973. O primeiro sistema híbrido do Brasil correspondeu ao sistema eólico-diesel na ilha de Fernando de Noronha (PE). Esse sistema foi implantado no ano de 1986, sendo composto por uma potência eólica de 75 kW e diesel-elétrica de 50 kW. Posteriormente o sistema foi "repotenciado" e é hoje o maior sistema eólico-diesel do país, contando com uma capacidade nominal de geração de 2,1 MW, a saber: 75 kW + 225 kW eólica e 1,8 MW diesel-elétrica (FEITOSA *et al*. 2002). Os demais sistemas híbridos implantados no Brasil encontram-se na Região Amazônica suprindo vilas isoladas.

## 2.2 SISTEMAS HÍBRIDOS ISOLADOS

São aqueles que suprem uma determinada carga de forma totalmente independente, isto é, sem estar conectado à rede elétrica do sistema interligado como demonstrado na figura 3.

Figura 3: Sistema híbrido isolado.




Fonte:Autores (2019)

Para o transporte e distribuição da energia elétrica advinda da geração desses sistemas até as unidades consumidoras são utilizadas as minirredes, compostas por postes, transformadores, cabos, chaves, isoladores. A rede de energia elétrica pode ser monofásica ou trifásica, dependendo da demanda de potência e do tipo de carga. No caso de cargas de pequena potência, como televisores, rádios, lâmpadas e alguns motores de pequeno porte, pode-se utilizar a rede monofásica, que apresenta um baixo custo. Onde existem grandes demandas de potência, seria mais indicada a utilização da rede trifásica, que proporciona a utilização de cargas monofásicas que demandam potências mais elevadas, tais como motores e bombas.

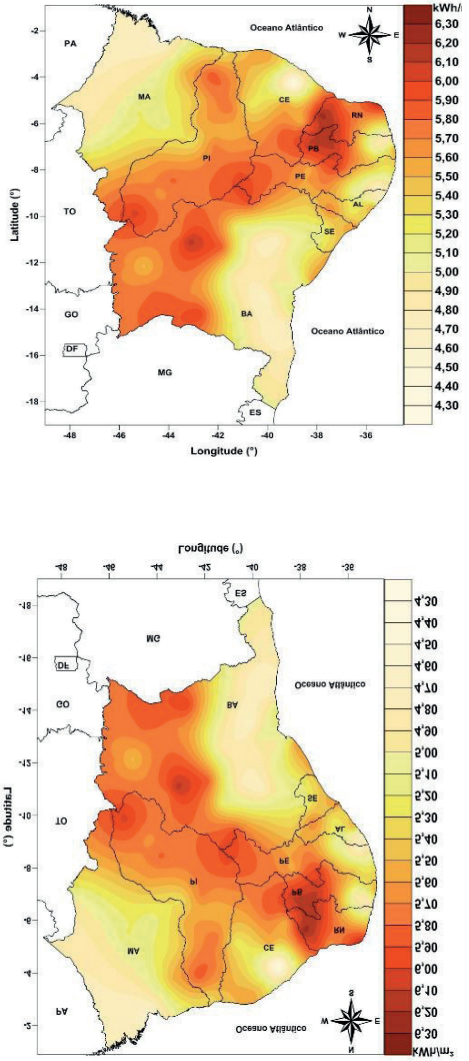
## 3. PROJETO DE SISTEMA HÍBRIDO

Neste trabalho a primeira etapa para o dimensionamento de um sistema híbrido foi à análise do recurso disponível para aproveitamento das energias solar e eólica no local da futura implantação do sistema. Também se realizou a identificação e a avaliação preliminar das potenciais áreas para a instalação dos sistemas de geração e distribuição de energia elétrica. A etapa de avaliação do recurso disponível do local pode ser executada conjuntamente para as fontes solar e eólica.

### 3.1 AVALIAÇÃO PRELIMINAR

A avaliação preliminar, como o próprio nome sugere, foi o primeiro passo para se identificarem as possíveis áreas onde o aproveitamento solar e eólico seria mais viável. Esse tipo de avaliação ocasiona como vantagem a rapidez e baixo custo. A desvantagem consistiria na imprecisão da avaliação, pois forneceria apenas o indicativo de potencial, mas nunca como local definitivo. As formas de avaliação utilizadas foram consulta a atlas eólico e solarimétrico. A figura 4 mostra conjuntamente estes dois atlas para a região Nordeste do Brasil. Na figura 4A é apresentado o mapa do potencial eólico; na figura 4B é demonstrado o índice de irradiação solar; para esta região do país.

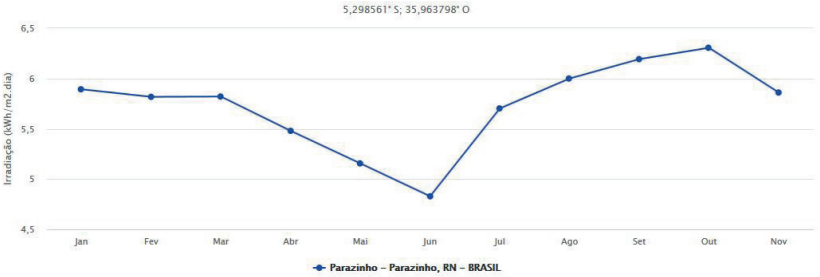
Figura 4: Atlas da região Nordeste do Brasil. Figura 4A: Mapa do potencial eólico. Figura 4B: Mapa da sua radiação solar média.




Fonte: Figura 4A: Cresesb/Cepel – Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2019). Figura 4B: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2019).

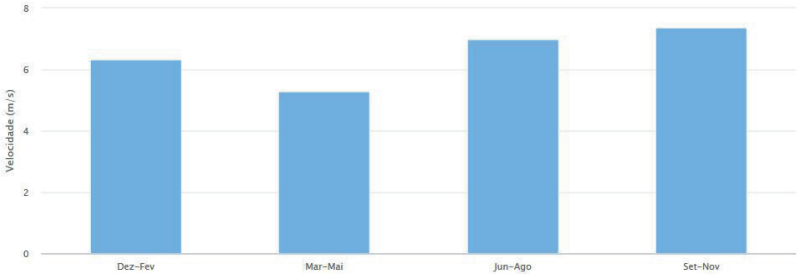
Ao se aprofundar os estudos sobre o potencial energético na região Nordeste, se obteve dados específicos do município de Parazinho (RN), também conhecida como “Cidade dos Ventos”. Esta cidade possui população estimada em 5.201 habitantes segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). No gráfico 1 é demonstrado o índice de irradiação solar e no gráfico 2 a velocidade média do vento nas cercanias dessa cidade.

Gráfico 1: Índice de irradiação solar da cidade de Parazinho (RN)




Fonte: Cresesb/Cepel (2019).

Gráfico 2: Velocidade do vento da cidade de Parazinho (RN).




Fonte: Cresesb/Cepel (2019)

Diante do exposto sobre a complementaridade e que se observa nos gráficos 1 e 2 entre as fontes solar e eólica; percebeu-se que durante no mês de junho houve uma diminuição de irradiação solar. Enquanto neste mesmo período houve um aumento na velocidade média do vento. Outro detalhe foi que no mês de março se inicia a diminuição do índice de geração de irradiação solar concomitantemente com a menor velocidade do vento nesta região.

### 3.2 DIMENSIONAMENTO

Nesta etapa se especificou a carga a ser abastecida pelo sistema gerador e se realizou os cálculos do consumo médio diário de energia elétrica, seja contínuo ou sazonal. A partir do resultado da medição se conseguiu dimensionar um gerador que atendesse as demandas de carga durante todo o ano. Esse procedimento tornou mais eficiente e capaz de manter o fornecimento de energia de modo contínuo.

Esta foi uma fase complexa e necessitou de um trabalho detalhado de levantamento das potências de cada equipamento a ser conectado ao sistema, bem como sua tensão de alimentação e consumo de corrente para projeção de fios e cabos dentro do sistema. O resultado deste trabalho é listado em um quadro junto com os dados de cada equipamento, bem como a descrição do consumo de energia por hora de funcionamento e o tempo de funcionamento de cada equipamento. A partir dessa informação foi possível chegar a uma estimativa de consumo diário de toda a carga. O quadro 2 demonstra esse trabalho realizado durante a execução do projeto.

Quadro 2: Levantamento de Carga

| APARELHOS | Quant. | Tensão alimentação (Vca) | Potência unitária (W) | Potência total (Kw) | Corrente de consumo (A) | Tempo de operação (horas/dia) | Consumo diário (Ah/dia) | Consumo diário (kWh/dia) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lâmpadas externas – Vapor metálico | 5 | 127 | 500 | 2.5 | 19.7 | 11 | 216.7 | 27.5 |
| Lâmpadas internas - Led | 10 | 127 | 15 | 0.15 | 1.2 | 4 | 4.8 | 0.6 |
| Transmis-sores | 3 | 127 | 100 | 0.30 | 2.4 | 24 | 57.6 | 7,2 |
| Recepto-res | 3 | 127 | 100 | 0.30 | 2.4 | 24 | 57.6 | 7.2 |
| Câmeras de moni-toramento remoto | 8 | 220 | 45 | 0.36 | 1.7 | 24 | 40.8 | 8.64 |
| Rádios ethernet | 3 | 127 | 100 | 0.30 | 2.4 | 24 | 57.6 | 7.2 |
| Ar condi-cionado | 1 | 220 | 1990 | 1.99 | 7.27 | 24 | 174.4 | 38.79 |
| TOTAL | | | | 5.9 | 37.07 | | 609.5 | 97.09 |

Fonte: Autores (2019)

### 3.2.1 Descritivo de Cálculos

Todos os aparelhos que foram usados no projeto, bem como a quantidade de cada um, sua tensão de alimentação e potência de consumo elétrico, foram especificados levando em consideração uma central de telecomunicações básica, presente em várias regiões do país. Através destes dados se obteve a potência de consumo elétrico de cada equipamento, segundo a equação 01:

$$\text{Potência Total} = \frac{\text{Potência unitária} \times \text{Quantidade de aparelhos}}{1000} \quad \textbf{(01)}$$

Ao se efetuar o cálculo para cada aparelho obteve–se a potência de consumo total em cada aparelho. No cálculo do consumo de energia de cada aparelho, usou-se a potência total e levou em consideração a quantidade de horas em funcionamento de cada aparelho.

$$\text{Consumo Diário } \left(\frac{Kwh}{dia}\right) = \text{Potência Total} \times \text{tempo de Operação/dia} \quad \textbf{(02)}$$

A partir do dimensionamento do cabeamento elétrico do sistema se calculou o consumo de corrente elétrica de cada equipamento:

$$\text{Corrente de Consumo (A)} = \frac{\text{Potência Unitária} \times \text{Quantidade de Aparelhos}}{\text{Tensão de Alimentação}} \quad \textbf{(03)}$$

Ao final se efetuou o somatório do consumo de energia elétrica de cada aparelho:

$$\text{Consumo Diário Total } \left(\frac{\text{Kwh}}{\text{dia}}\right) = \sum \text{Consumo Individual dos Aparelhos} \quad \textbf{(04)}$$

### 3.2.2 Dimensionamento Solar

No dimensionamento do sistema gerador fotovoltaico foi necessário levantar uma série de dados a partir da sua localidade, como dados solarimétricos, cálculo do plano inclinado, plano horizontal, média de kWh/m² dia, etc.

#### 3.2.2.1 Dados Solarimétricos

Na obtenção dos dados solarimétricos foi utilizado o programa *SunData*, do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB). Este programa destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa do CRESESB de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Produzido pelo próprio CRESESB, a partir de um total de 17 anos de imagens de satélite e com informações de mais de 72.000 pontos em todo o território brasileiro, o Atlas Brasileiro de Energia Solar - constitui no que se tem de mais moderno em informações de irradiação solar no Brasil. (CRESESB, 2018).

### 3.2.2.2 Horas de sol a Pico

Neste caso para se descobrir a média de irradiação solar em kWh/m² foi feito o uso da coordenada geográfica do local onde se encontra o município de Paraizinho. A partir da utilização do aplicativo Google Maps, obtém-se a latitude e longitude do local, sendo consecutivamente, 5.226688°S e 35.840141°O. Mediante tais dados da coordenada e da utilização do SunData, foi encontrado a irradiação solar diária média de 5,68kWh/m². dia, como demonstrado na figura 5.

Figura 5: Irradiação solar diária média (kWh/m².dia)

**Latitude:** 5,226688° S
**Longitude:** 35,840141° O

| # | Estação | Município | UF | País | Irradiação solar diária média [kWh/m².dia] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Latitude [°] | Longitude [°] | Distância [km] | Média | Delta |
| ☐ | Pedra Grande | Pedra Grande | RN | BRASIL | 5,201° S | 35,849° O | 3,0 | 5,65 | 1,39 |
| ☑ | Parazinho | Parazinho | RN | BRASIL | 5,301° S | 35,849° O | 8,3 | 5,68 | 1,43 |
| ☐ | Sao Miguel do Gostoso | Sao Miguel do Gostoso | RN | BRASIL | 5,201° S | 35,749° O | 10,5 | 5,65 | 1,42 |

Fonte: CRESESB (2019)

### 3.2.2.3 Dimensionamento das Cargas Abastecidas pelo Sistema Fotovoltaico

Conforme estratégia de operação se adotou no sistema de geração fotovoltaico que o mesmo funcionasse de 10:00 às 15:00h. Portanto, o sistema fotovoltaico teve autonomia para abastecer a demanda de carga deste horário, tanto em conjunto com outros sistemas quanto de forma autônoma. A carga a ser abastecida pelo sistema fotovoltaica foi, então, dimensionada. No caso de cargas em funcionamento: Transmissores, receptores, câmeras de monitoramento, rádios ethernet e ar condicionado. Ao se somar a potência desses cinco dispositivos encontrou–se o seguinte valor:

$$\text{Carga (kW)} = 0.3 + 0.3 + 0.36 + 0.3 + 1.99 = 3.25 \quad \textbf{(05)}$$

O total de carga a ser abastecida foi de 3.25 kW. Ao se multiplicar a potência da carga pela quantidade de horas de funcionamento, obteve-se a quantidade de energia demandada.

$$\frac{\text{Energia}}{\text{dia}}\,(\text{kWh}) = 3.25 \times 5 = 16.25 \quad \textbf{(06)}$$

O total de Energia a ser disponibilizada pelo sistema fotovoltaico foi de 16.25kWh/dia.

### 3.2.2.4 Potência Total dos Painéis

$$\text{Pot. Total (Painéis)} = \frac{\text{Energia}}{\text{Tempo} \times \text{Rendimento}} = \frac{16.25\ \text{kWh/dia}}{5.68 \times 0.8} = 3.57\text{kWh/dia} \quad \textbf{(07)}$$

### 3.2.2.5 Quantidade de Painéis

$$\text{Quantidade de Painéis} = \frac{3.57\ \text{kWh/dia}}{390\text{W}} = 9.15 \quad \textbf{(08)}$$

Diante do resultado encontrado escolheu-se para o projeto proposto o painel Solar de 390 W. O resultado encontrado foi de 9.15 painéis. Esse valor ficaria a critério do projetista a escolha de arredondar para mais ou manter o número de painéis. Neste caso se optou pelo arredondado para 10 painéis.

### 3.2.2.6 Inversor

Neste trabalho se escolheu para o projeto o Inversor Solar de 5.750kW e 220V. Partiu-se da premissa de que o inversor deveria ter um range de 20% de potência da placa:

$$\text{Range} = 390 + 20\% = 468\text{W/placa} \quad \textbf{(09)}$$

$$\text{Quantidade de Painéis/inversor} = \frac{5750\ \text{kW}}{468} = 12.2 \quad \textbf{(10)}$$

Conforme dimensionamento realizado, foi visto que o inversor suporta todo o sistema de geração fotovoltaico composto por 10 painéis solares, concluindo a necessidade de utilizar apenas 1 inversor AC/DC.

### 3.3 AEROGERADOR

A incorporação ao projeto da turbina eólica deveria atender a dois requisitos principais: operar na faixa de velocidade do vento de acordo com as características do local e oferecer um impacto reduzido ao ambiente. A principal característica do sistema híbrido seria que cada dispositivo de geração de energia fosse capaz de atuar de maneira simultânea uns com os outros, e também, de forma isolada e autônoma. Assim ele seria capaz de suprir toda a carga e garantir o fornecimento contínuo de energia. Mediante tais características mencionadas, neste projeto, se optou em escolher o aerogerador de 100kW de potência, sendo necessário o uso de uma unidade no projeto.

A turbina operaria com uma velocidade do vento em torno de 10m/s oferecendo 100% de sua potência nominal e atenderia as características eólicas da cidade de Parazinho (RN) de acordo com o gráfico 2. Este equipamento opera com uma velocidade do vento mínima de 3m/s e oferece 20% de potência estável e disponível para uso e sua velocidade máxima de operação a 25m/s ofereceria 120% de sua potência nominal. Este aerogerador possuiria conversor de energia incluso no seu sistema gerador, para garantir uma tensão de saída de 220VAC que seria capaz de efetuar o paralelismo e o faseamento de sua tensão de saída de acordo com a rede em que a turbina seria instalada.

### 3.4 GERADOR A MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA (SISTEMA BACKUP)

Ao se partir das mesmas premissas usadas na escolha dos outros componentes; o gerador para o projeto também levaria em consideração a forma construtiva de modo a diminuir ao máximo o impacto no ambiente. Neste caso, optou-se pelo gerador a diesel com 100kVA de potência. Este gerador possui

um tanque com 200L de autonomia podendo ser ampliado ao se dobrar sua capacidade, característica está de total relevância. O gerador escolhido possui quadro de comando manual e automático, podendo ser operado de forma automática, tanto local quanto de forma remota. Possui também um sistema de medição de suas principais variáveis tanto do sistema de geração quanto do sistema de combustão.

Uma característica importante seria que este gerador possui unidade de controle (USCA) que efetua o paralelismo automático do gerador com a rede e possibilita-o trabalhar de forma isolada ou simultânea a outras fontes geradoras.

### 3.5 OPERAÇÃO

O sistema foi projetado para operar de forma isolada e contínua, com o objetivo de abastecer com 220VCA trifásico uma central de telecomunicações localizada onde não há abastecimento de energia elétrica.

De acordo com os gráficos 1 e 2 apresentados pela carta solarimétrica e eólica, definiu-se a ordem de funcionamento e revezamento dos dispositivos de geração incluídos no projeto. De acordo com os dados relativos à irradiação solar do local definiu-se que os painéis solares abasteceriam a carga no período diurno de 10:00h da manhã à 15:00h da tarde. Assim como os dispositivos aerogeradores abasteceriam a carga simultaneamente durante o dia e também durante a noite.

O gerador a diesel é configurado como gerador de apoio para dias em que a potência da irradiação solar não seja suficiente ou a velocidade do vento não seja adequada para o funcionamento da turbina eólica.

Ainda de acordo com os dados de irradiação solar e eólicos do local, percebeu-se durante o ano um período de baixa velocidade dos ventos que coincide com o período de maior irradiação solar no local, assim como, o período de baixa irradiação solar também coincide com o período de alta velocidade dos ventos, com isso, usamos a estratégia de complementariedade dos sistemas eólico e solar, tendo cobertura com geração de energia em todo o período. O gerador à diesel é acionado em caso de

falha no funcionamento de um dos dois dispositivos anteriormente citados, seja por defeito de funcionamento, manutenção ou falta de energia primária.

Os painéis solares trabalhariam com geração em corrente contínua (CC), e abasteceria o inversor, que converte a energia gerada para corrente alternada (CA). A turbina eólica tem em seu sistema interno um conversor acoplado que converte a energia gerada ainda dentro da turbina, ao injetar em sua saída energia já em CA. O gerador a diesel foi dimensionado para geração em CA alimentando diretamente a carga.

O inversor/conversor de energia utilizado no projeto, teria a função de converter a energia proveniente dos painéis solares (CC/CA) e também efetuar o paralelismo ou faseamento do sistema trifásico criado pela geração dos três dispositivos geradores. O faseamento seria necessário sempre que se tivesse mais de um dispositivo gerador abastecendo o mesmo barramento. Isso garantiria a estabilidade e segurança da instalação.

## 4. DISPOSITIVO BACKUP/EMERGENCIAL

O Projeto foi elaborado sem o uso de baterias, e inseriu-se o módulo gerador a diesel como dispositivo backup e emergencial. O uso de baterias nos sistemas híbridos contribuiria para o aumento de custo desde a aquisição da quantidade de baterias necessárias para abastecer a carga escolhida, até a adoção de métodos de descarte destas. As baterias necessitariam de um circuito de controle de carga, para que funcionassem com a eficiência necessária, por isso, tornariam o sistema mais complexo e exigiria um controle de manutenção mais detalhado.

O uso do Gerador a diesel como sistema emergencial e *backup*, reduziria o custo no que diz respeito a aquisição e controle de geração. Uma vez que o próprio módulo gerador já possui sistema de estabilização e filtro de energia, que reduz também a agressão e risco ao meio ambiente. E, também, se considerou que o gerador funcionaria em período reduzido. Os equipamentos selecionados para uso no projeto, bem como sua capacidade energética estão demonstrados no quadro 3.

Quadro 3: Levantamento de Carga 2

| DISPOSITIVOS | DESCRIÇÃO | Quantidade | POTÊNCIA TOTAL |
|---|---|---|---|
| Gerador a diesel | Gerador a diesel 100kVA/ 220VCA | 1 | 100kVA |
| Sistema foto-voltaico | Painel Solar 390 W | 10 | 100kW |
| Aerogerador | Turbina eólica 100 kW/220V-ca | 1 | 100kW |
| Inversor | Inversor Solar de 5.750Kw/220V | 1 | 100kW |

Fonte: Autores (2019)

## 5. CONCLUSÕES

O sistema de geração isolada e híbrida de energia se mostrou eficiente, pois o mesmo não necessitou de outras fontes de energia além da irradiação solar e dos ventos para seu funcionamento, o que tornou o sistema autossuficiente mesmo em situações de extremo isolamento e se confirmou com a complementariedade das fontes sustentáveis da região.

Mediante os resultados demonstrados no quadro 3 com levantamento de carga da estação e quantidade de equipamentos indicaram que a potência oferecida pelo conjunto de equipamentos escolhidos para geração se faz suficiente para o consumo médio diário levantado inicialmente de aproximadamente 97 kWh/dia ou 609 Ah/dia. O presente trabalho mostrou a possibilidade do estudo de fontes de energia limpa que estão em amplo crescimento na atualidade. A partir deste trabalho pôde-se apresentar uma visão de como poderia superar a intermitência dos recursos, de forma parcial ou totalmente, quando

se utiliza conjuntamente de tais fontes em sistemas híbridos. Os principais impactos observados quando da implantação de sistemas híbridos, em sua grande maioria, apresentariam características mais benéficas do que prejudiciais.

## REFERÊNCIAS


STENSMANN, Berenice H. W. **Energia Emitida Pelo Sol**. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/mef008_02/Berenice/aula4.html. Acesso em: 10 set. 2019

FERREIRA, S. C. A., de et al. **Técnica de otimização robusta aplicada ao problema de planejamento energético com geração solar**. *In*: LATIN AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION, 12th, 2017, Mar Del Plata. 2017.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Energia eólica no Brasil – 2017**. Disponível em: https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/energia-eolica-no-brasil.html. Acesso em: 04 ago 2019

MEYER, Rodolfo. **Geração distribuída - desenvolvimento do mercado brasileiro**, 2019. Disponível em: https://www.intersolarglobal.com/pt/webinars/past-webinars/webinars-2019/geracao-distribuida. Acesso em: 04 ago. 2019

PINHO, J. T. et al. Sistemas híbridos: soluções energéticas para a Amazônia. **Programa Luz Para Todos**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 1-398, jan. 2008.

CONAMA. **Resolução nº 257**, de 30 de junho de 1999, do Conselho do Meio Ambiente-CONAMA - Gestão de Resíduos e Produtos Perigosos, pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990.

CUSTÓDIO, R. D. S. **Energia eólica para produção de energia elétrica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2013. p. 1-319.

CRESESB. **Tipos de aerogeradores para geração de energia elétrica**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.

php?section=com_content&lang=pt&cid=231. Acesso em: 28 out. 2019.

OS 4 TEMPOS de um motor a combustão interna. **Loxam Degraus.** Disponível em: https://www.degraus.com.br. Acesso em: 29 out. 2019.

COMO funciona uma célula fotovoltaica? **Solsticio Energia**. Disponível em: https://www.solsticioenergia.com/2017/08/17/como-funciona-celula-fotovoltaica/. Acesso em: 30 out. 2019.

CÉLULA fotovoltaica. **Portal Solar.** Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html. Acesso em: 30 out. 2019.

CABRAL, Isabela Cavalcanti. **Especificação e análise das avarias que influenciam no funcionamento dos aerogeradores**. 2015. 58 p. Orientador: Prof. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes. Monografia (Bacharelado em Engenharia Industrial Mecânica) – Curso de Engenharia Industrial mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. *E-book* (28 p.).

WEBNÁRIO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA - CENÁRIO ATUAL 2018, 2019, São Paulo. **Webnário** [...]. [*S. l.*]: ABSOLAR, 2019. Tema: Geração Distribuída. Apresentação: Bárbara Rubim. Disponível em: YouTube. Acesso em: 4 abr. 2019.

BARBOSA, Claudomiro Fábio de Oliveira. **Avaliação tecnológica, operacional e de gestão de sistemas híbridos para geração de eletricidade na região Amazônica**. Orientador: João Tavares Pinho. 2006. 210 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Pará, Belém - Pará, 2006. *E-book* (210.p).

# ESTUDO DA IMPORTÂNCIA DO SISTEMA TERRA-ISOLADO (IT) EM EQUIPAMENTOS HOSPITALARES

## STUDY OF THE IMPORTANCE OF THE EARTH ISOLATED SYSTEM (EI) IN HOSPITAL EQUIPMENT

Bruno da Silva Moura[1]
Márcio A. E. Cerqueira Júnior[1]
Mateus Gomes Corrêa Melo[1]
Dener Martins dos Santos[2]
Priscylla Angélica da Silva Oliveira[3]

**RESUMO:** Este trabalho aborda a importância do emprego de sistemas eletroeletrônicos de última geração na rede hospitalar e a sua menor susceptibilidade à variação de corrente e a rápida resposta à detecção de falhas. A pesquisa enveredou por um levantamento técnico-teórico, para demonstrar a necessidade do uso, nos dias atuais, do sistema IT em equipamentos hospitalares. Apesar do indicativo do elevado custo de implantação desse sistema, os benefícios posteriores acabariam por compensar o investimento financeiro inicial mesmo com a obrigatoriedade imposta pela legislação vigente do uso do sistema IT e suas variações nas EAS.

**Palavras-chave**: Sistema Terra-Isolado (IT). Equipamento hospitalar. Proteção à vida.

1 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Docente Doutor Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Docente Mestra do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).


280

**ABSTRACT:** This work shows the importance of using state of the art electronic systems in the hospital network and their less susceptibility current variation and the quick response to failure detection. The research followed a technical theoritical survey, to demonstrate the need for the use of the IT system in hospital equipment today. Despite the indicative of the high cost of implementing this system, the subsequent benefits would end up offsetting the initial financial investment even with the mandatory imposed by the current legislation on the use of the IT system and its variations in the EAS.

**Keywords***:* Earth-Isolated system. Hospital equipment. Life protection.

## 1 INTRODUÇÃO

A partir da globalização nasceram novas tecnologias e, com elas novos procedimentos como de monitoramento, controle e proteção dos sistemas elétricos das indústrias, prédios, hospitais, etc. Essas áreas estão recebendo continuamente equipamentos mais sofisticados e com características muito peculiares, assim atenção especial para sistema bem ajustado forneceria ótima funcionalidade dos processos. Dentre elas se destaca a área da saúde com o uso de equipamentos de última geração para atenção à saúde humana. Tais equipamentos e instalações são especialmente sensíveis e possuem características particulares de alimentação de cargas críticas, onde o cuidado com o paciente é de suma importância, pois essas instalações suprem circuitos destinados à sustentação e monitoramento da vida do paciente (CASTELLARI, 2009). Portanto, um projeto de instalação do Sistema Terra-Isolado (**Sistema IT**) para equipamentos modernos para estabelecimentos assistenciais de saúde é rigorosamente fundamentado por normas e regulamentos técnicos na busca de operacionalidade com qualidade e eficiência frente a outros já existentes.

### 1.1 OBJETIVO

Demonstrar a importância do sistema IT para os estabelecimentos que dão assistência a saúde dos pacientes e comparar a segurança e a eficiência deste com relação àqueles utilizados.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

A norma reguladora brasileira NBR 13534:2008 – *Instalação Elétrica em estabelecimentos assistenciais de saúde*; descreve as condições necessárias para instalações elétricas de todos os estabelecimentos assistenciais de saúde. Esta norma também rege condições para novas instalações de estabelecimentos de saúde e reformas dos existentes. Outra característica é que ela pode ser aplicada também para ambientes que de certa forma sejam destinados a fins não assistenciais de saúde, quando estes se integram na característica funcional dos estabelecimentos assistenciais.

A NBR 13534 apresenta as definições e especifica a divisão dos grupos e suas características como demonstrado na tabela 1. Ela apresenta três grupos de locais médicos, numerados de 0 a 2. O Grupo 0 tem como definição os ambientes dos quais não utilizam partes de equipamentos eletromédicos que são alimentados pela rede de energia de elétrica. O Grupo 1, são áreas que possuem uso de equipamentos eletromédicos, mas sem aplicação cardíaca direta. Já no Grupo 2 esses locais têm uso de equipamento diretamente com aplicação cardíaca.

Tabela 1: Quadro Demonstrativo

| | Local médico Grupo 0 | Local médico Grupo 1 | Local médico Grupo 2 |
|---|---|---|---|
| |  |  |  |
| Uso de parte aplicada de equipamento eletromédico | Não | Sim, em partes: externas do corpo internas do corpo (exceto as do Grupo2) | Sim, em procedimentos: intracardíacos cirúrgicos de sustentação de vida |
| Descontinuidade da alimentação pode resultar em morte | Não | Não | Sim |

Fonte: SISTEMA It Médico. Locais médicos do Grupo 2.

Neste trabalho se focou no grupo 2 pois o sistema IT Médico seria capaz de prever certos tipos de falhas dentro da malha elétrica. Então se esse sistema funcionaria com o caso mais complexo dos locais médicos. Ele possui maior exigência porque nesse ambiente o contato com equipamentos eletromédicos é muito grande, tanto da equipe médica quanto dos pacientes.

A Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) 50, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) aborda a característica do regulamento técnico para os processos de planejamento, programação, elaboração e avaliação de projeto físico de Estabelecimento Assistencial de Saúde (EAS). Ela contém também definições de variáveis do grupo 2. Uma dessas definições consiste no grau de atendimento deste tipo de local, chamado de Urgência ou Emergência, onde tem equipamentos para a realização de procedimentos invasivos, de emergências (politraumatismos e parada cardíaca). No ano de 2011 a ANVISA dispôs de uma RDC que tratou das análises e aprovações desses projetos físicos dos EAS e as demais providências que podem surgir.

A Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) é uma organização mundial de padronização de equipamentos elétricos e eletrônicos que compreende todos os comitês nacionais de ele-

trotécnica. O objetivo da IEC consiste promover cooperação internacional em todas as questões relativas à padronização nos campos elétrico e eletrônico. A primeira é norma da IEC é a 60364-4-44: 2007: Proteção para segurança – Proteção contra distúrbios de tensão e distúrbios eletromagnéticos. Esta norma se divide em quatro cláusulas: A cláusula número um descreve sobre a proteção de instalações de baixa tensão devido à sobretensões temporárias devido a falhas a terra no sistema de alta tensão e devido a falhas no sistema de baixa tensão. A segunda descreve sobre a proteção do sistema contra sobretensões de origem atmosférica ou devido à comutação. A terceira e a quarta relatam, respectivamente, sobre medidas contra influências eletromagnéticas e proteção sobre subtensão.

Esta norma não aborda regras que se destinam a sistemas de distribuição de energia ou mesmo geração. A normativa IEC 60364-1 faz parte da 60364-4-44:2007 e descreve sobre procedimentos desenvolvidos nos sistemas ou instalações que possam ser conduzidos nos sistemas de abastecimento. Esta última contém o conteúdo do sistema IT que aborda dentro de todo o contexto de proteção. Outra normativa importante consiste na IEC 60364-7-710: 2002: Instalações elétricas de edifícios e estabelecimentos. Esta aborda os requisitos para instalações ou locais especiais – Locais Médicos. Por isso ela se relaciona com equipamentos eletromédicos para cada atividade em salas para fins médicos, e os requisitos especiais para garantir a melhor segurança. Destaca-se também, nesta norma, o uso de dispositivos médicos elétricos requeridos em pacientes de terapia intensiva, nos hospitais, confiabilidade nas instalações reforçada e a permanência das fontes de energia. Além dos padrões aceitáveis de confiabilidade e segurança dessas instalações segundo normalização.

Nas Referências Normativas da NBR 13534/2008 há alguns assuntos como a IEC 513/1994 que se refere à filosofia de segurança no uso de equipamentos elétricos na prática da medicina e a NBR IEC 601-1/1994 – Equipamento eletromédico. Uma característica é que ela dispõe de prescrições gerais para seguranças e normas associadas que tratam e analisam todo o contexto do sistema IT médico e os equipamentos eletromédi-

cos e elétricos. A NBR 13534 verte para instalação elétrica para estabelecimento assistencial de saúde. Esta norma descreve o conjunto de componentes e equipamentos devidamente interligados e adequadamente dispostos em áreas e locais de um estabelecimento assistencial de saúde, tendo em vista o suprimento, transformação, armazenamento, distribuição e utilização da energia elétrica de modo compatível com as necessidades e a segurança especificadas de cada recinto para fins médicos, diagnósticos ou terapêuticos.

## 3 APLICABILIDADE DO SISTEMA IT MÉDICO

Segundo a Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade (ABRACOPEL), os choques elétricos matam em média dois brasileiros por dia e 30% dos casos acontecem dentro de casa. A estatística fica mais intrigante, quando, 10 % das vítimas desses casos de choque elétrico tem uma média de idade de 0 a 15 anos. A norma NBR 5410/2008 aborda sobre o uso obrigatório de Dispositivo Diferencial Residual (DR) em áreas consideradas molhadas de residências, como cozinhas, áreas externas e lavanderias. A mesma instalação é exigida em construções prediais, públicas, supermercados, shoppings e hotéis. Áreas hospitalares não complexas também seguem esta norma, quanto a exigência de DRs. Porém, existem normas que regem uma certa padronização, dependendo de cada local e em o local de grupo médico ele se encaixa (CASTELLARI, 2009).

A NBR 13534 traz informações sobre as respectivas classificações de classe e grupo que são os prévios requisitos de projeto dos EAS. Juntamente com a NBR 5410 acrescenta que em locais de grupo 1 (ver tabela 1) que os circuitos de tomada devem ter proteção de DR com sensibilidade de 30 mA (proteção para pessoas). Já para os locais de grupo 2 (ver tabela 1) em cada posto de tratamento do paciente (leitos), são necessários alimentações de circuitos distintos e tomadas de corrente protegidas individualmente. Nos ambientes abrangidos pelo grupo 2, estes utilizam as exigências de total responsabilidade do sistema IT, que garantem, assim, a proteção dos pacientes e a

constante funcionalidade operacional mesmo em situação de falha (CASTELLARI, 2009). Sabe-se que conforme orientação da NBR 13534 a utilização do sistema IT para local médico de grupo 2 consiste em garantir então a confiabilidade e normalização da energia elétrica e segurança dos pacientes que estão expostos a esses locais.

No caso de qualquer tipo de falha elétrica dentro da instalação com sistema IT em funcionamento, há três principais fatores que devem ser analisados: baixo isolamento, sobrecarga e sobreaquecimento. Tais itens devem ser permanentemente supervisionados e um alarme é acionado assim que o sistema detecta um problema. Isso ocorreria para não representar perigo às pessoas, equipamentos e instalações e permitir continuidade dos procedimentos. Uma pessoa não receberia o choque elétrico ao tocar um condutor energizado, pois não haveria um caminho direto de retorno dessa corrente mesmo que ela estivesse segurando o condutor. A aplicabilidade do sistema IT para os locais de grupo médico 2 é a mais indicada, pois torna os sistemas desses ambientes mais seguros e totalmente confiáveis. Também existem os Interruptores Diferenciais Residuais (IDRs) que são dispositivos que diferem dos DRs que enxergam a sobrecarga e a sensibilidade a corrente de fuga. Eles só detectam a corrente de fuga no sistema e não tem aplicação alguma para os ambientes da classificação do grupo médico 2.

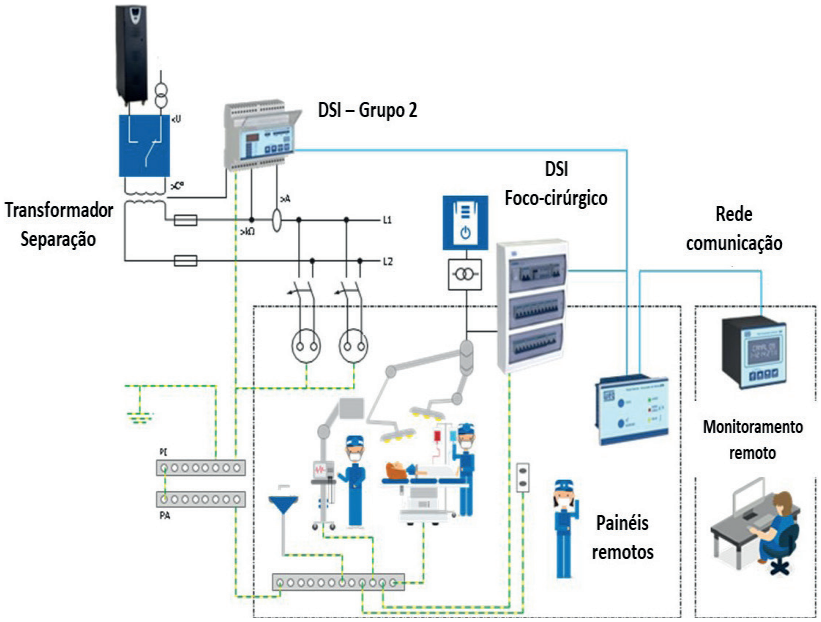
Nas salas de cirurgia (grupo médico 3 – tabela 1) os procedimentos não podem ser interrompidos por questões de correntes de fuga. Por isso há a proibição do uso do DR em locais que tem os seguintes circuitos: alimentação de equipamentos eletromédicos, sistemas de sustentação a vida, sistemas de aplicações cirúrgicas e equipamentos eletromédicos que estão dispostos no ambiente em que o paciente se encontra.

## 3.1 EQUIPAMENTOS DO SISTEMA IT MÉDICO

Existe uma diferença muito grande entre os aparelhos eletromédicos e os dispositivos e aparelhos usados do sistema IT médico, como demonstrado na Figura 1. Dispositivos eletromédicos são aquelas cuja função consiste em auxiliar no de-

partamento de saúde, por auxiliar no diagnóstico, tratamento ou procedimentos como monitoração de sistemas vitais para manutenção corpórea do paciente.

Figura 1: Estrutura dos Equipamentos do Sistema




Fonte: WEG, Catálogo do Sistema IT.

Preliminarmente destaca-se o funcionamento nos sensores, pois são neles que se registram as condições operacionais de todo processo, compreendendo a eletrônica que avalia essas condições. A recepção dos estados, condições enviadas pelos sensores, propiciam a avaliação dos valores medidos, para que possam receber a tratativa adequada. Em um segundo momento têm os atuadores que indicam os potenciais riscos, ao indicar as falhas, sinalizar e executar a desconexão do fornecimento em uma máxima circunstância. Também há os dispositivos de sensoriamento do sistema IT médico. Ressalta-se que existem várias soluções do modelo desse sistema, desde

a clássica (básica) até a moderna (avançada).

### 3.2 DISPOSITIVOS SUPERVISORES DE ISOLAMENTO (DSI)

Este dispositivo tem por finalidade monitorar continuamente o isolamento da rede elétrica dedicada a equipamentos eletromédicos. Ele realiza a injeção de um sinal através do gerador de sinais, entre a alimentação do mesmo e o condutor de proteção. A norma IEC 61557-8:2014 descreve características dos componentes ôhmicos que são dimensionados para suportar um nível máximo de dispersão total.

Nessa verificação do DSI se ocorrer valores distintos da normalidade da resistência de referência (RF) RF< 50K ohms, o mesmo atua de forma instantânea, sinalizando que há uma falha. Os módulos dos dispositivos supervisores de isolamento possuem um microprocessador interno que exerce a função de comunicação entre os dispositivos do sistema com o propósito de minimizar o tempo de resposta. Existem alguns DSIs que também supervisionam sobrecargas e sobretemperaturas do transformador, por questões de degradação dos condutores, conforme exigido pela ABNT NBR 13534.

As principais características de operação são as seguintes: a corrente máxima de medição de 1mA e tensão de isolamento de 2,5KV em 1min. Realiza também testes de autodiagnóstico a falhas internas do dispositivo e verificação da continuidade com a rede e controle de funcionamento do sistema. Ainda existe a possibilidade de possuir o ajuste do delay no sinal de alarme para evitar sinalizações indevidas.

O isolamento de uma instalação é de vital importância para todos os sistemas. Danos ao isolamento podem causar perdas de energia, mas também podem colocar em risco vidas humanas. Por isso a medição do isolamento da instalação é fundamental. Problemas como fuga de alta tensão pode colocar em risco a vida das pessoas. Além de proteger os seres humanos desses problemas de fuga, a finalidade do teste de isolamento garante de certa forma a operação contínua das instalações.

Torna-se evidente que o dispositivo supervisor de isolamento (DSI) faz com que o sistema IT seja superior as soluções já

pré-definidas em muitas instalações, como a manutenção preventiva, por utilizar a medição de isolamento por megohmetro. Os megohmetro são dispositivos utilizados para medir a resistência do isolamento de uma instalação. Extremamente eficaz o sistema e o dispositivo DSI controla e monitora o isolamento todo o tempo, ao possuir uma interface de resposta rápida em qualquer anormalidade do sistema.

### 3.3 DISPOSITIVO SUPERIOR DE TEMPERATURA (DST)

Todos os dispositivos mantêm uma comunicação entre si, pois assim se tem um controle e monitoramento ambos de qualidade, ao se comparar todas as variáveis como, temperatura, corrente e isolamento do sistema. O funcionamento do DST constitui-se de uma supervisão da temperatura do sistema ao aferir e monitorar a variável do enrolamento secundário do transformador de separação (isolamento). Diferentemente do DSI que injeta um sinal para obter esse valor do próprio equipamento, o DST faz um papel de controlador primário de um circuito de termorresistância, que prevalece o princípio de variação da resistência ôhmica em função da temperatura.

O DSI também poderia supervisionar as sobretemperaturas do transformador, por conta das degradações. Contudo neste momento em que os dispositivos estariam interligados e trabalhando em conjunto para manter a normalidade do sistema. Isso se torna possível pois o transformador de separação ou isolamento nos traz a vantagem de manter o circuito do sistema IT isolado, sem contato com outras saídas de energia para quaisquer outros pontos que não fazem parte do sistema.

### 3.4 DISPOSITIVOS SUPERIOR DE CORRENTE (DSC)

Por definição o DSC é um dispositivo do sistema que tem a função de monitorar as correntes no transformador e sinalizar quando a corrente atinge os valores de 90 % da capacidade do transformador de isolação (separação). O sistema IT apresenta várias soluções, por isso o DSC pode na maioria das vezes ser empregado juntamente ao DSI de forma a simplificar e remodelar a instalação. Esses dispositivos supervisores de correntes

fazem suas medições ao correlacionar as correntes contínuas geradas em cada canal do dispositivo. O DSC também possui comportamentos ôhmicos e capacitivos. Caso haja a necessidade, o mesmo intervém, emitindo sinais de anormalidade nos parâmetros. A principal característica do DSC é medir eventuais estados de sobrecargas, como se exercesse um papel de “transformador de corrente”, facilitando assim a supervisão logo, o sistema responderia mais rápido a qualquer problema. (CASTELLARI, 2009).

### 3.5 DISPOSITIVO GERADOR DE SINAIS (DGS) E ANUNCIADOR DE FALHAS (DAF)

O dispositivo DGS possui por finalidade a geração de sinais de corrente elétrica a fim de localizar falhas de isolação individual no sistema de aterramento. Este opera em conjunto com o localizador de falhas e os dispositivos DSI, DST e DSC; conforme especificações exigidas pela norma IEC61557. O procedimento para a realização de vários testes consiste em injetar um baixo sinal de corrente elétrica inferior a 1mA; porém suficiente para encontrar qualquer falha de isolação. A importância desse dispositivo para o funcionamento do sistema reside no fato de que, sem ele os equipamentos já citados não funcionariam corretamente. Isso se daria junto ao dispositivo anunciador, que representa o sistema identificador de falha. Ele atua por agilizar o reparo a ser feito pelo profissional de manutenção (CASTELLARI, 2009).

Quando os dispositivos detectam alguma falha eles tendem a se comunicar com o anunciador para que os mesmos emitam um sinal de alarme que por sua vez, de forma imediata, emite sinais audíveis e visuais da ocorrência desses alarmes (MONTEIRO, 2016). Eis algumas características elétricas do dispositivo anunciador para sinalização dos alarmes a distância, de acordo com a NBR 13534.

- Led verde: equipamento ligado.
- Led vermelho: sobrecarga.
- Led amarelo: sinalização de falha.

• Botão silenciar: para desligar o alarme acústico sobre o quadro de sinalização à distância, ativado quando for ultrapassado o nível de intervenção.

• Botão de teste: para verificar periodicamente a eficiência do dispositivo, como recomendado pela norma.

• Tipo de Alarme: sonoro.

### 3.6 DISPOSITIVO LOCALIZADOR DE FALHA INDIVIDUAL (DLFI)

O funcionamento deste dispositivo está interligado com aquele gerador de sinais. Quando o mesmo injeta um sinal de varredura no sistema de isolação, e este por sua vez apresenta valores acima do especificado, ele é acionado. De maneira diferente de um disjuntor residual (DR), o localizador de falhas não desliga o equipamento defeituoso, ele sinaliza através de um LED mostrando qual equipamento encontra-se defeituoso. Depois de resolvido o problema, este dispositivo desliga automaticamente a sinalização de falha do equipamento defeituoso (MONTEIRO, 2016).

Este dispositivo está regido pela IEC 61557 que descreve a função do dispositivo é localizar falhas de isolação no sistema de aterramento IT Médico. Quando equipamentos ou circuitos apresentam anormalidades, colocando em risco o sistema de isolação, o dispositivo se adéqua as características de segurança dos demais dispositivos e localiza a falha, anunciando uma avaria para que o circuito não seja simplesmente desativado (NBR13534, 2008).

### 3.7 IMPEDÂNCIA DO SISTEMA IT

Os demais equipamentos situados dentro da área de atuação e proteção do sistema IT médico possuem suas massas interligadas através de um condutor de proteção, e este por sua vez encontra-se aterrado. Dentro desse contexto, no esquema de aterramento IT, o neutro da fonte é conectado a terra através de uma impedância (geralmente mais resistiva) de elevado valor, na faixa de 1000 a 2000 ohms, com a finalidade de limitar a corrente de curto, numa eventual falta, para que na primeira

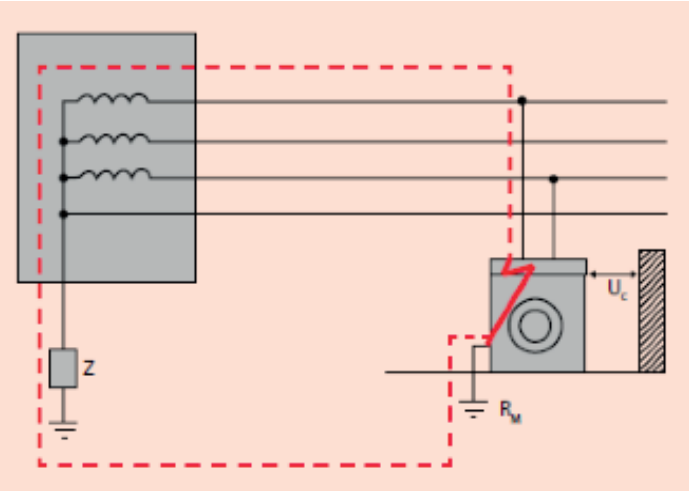
falta não desligue o sistema (CASTELLARI, 2009).

A corrente se comporta de uma maneira bem simples, por exemplo: onde o caminho é mais fácil e sem resistência. Na Figura 2 observou-se que a aplicação de uma impedância para limitar essa corrente, ela passaria pelo condutor de proteção e retornaria no neutro do transformador, usando a terra como condutora.

## 4 CONCLUSÕES

O sistema IT atualmente consiste de suma importância no projeto de EAS, e ele deveria ser desde o início mereceria atenção em conformidade com as normas ABNT e IEC. Necessariamente o projeto deve seguir as normas ABNT NBR 5410 e 13534, pois elas possuem todas as regras e padronizações relacionadas diretamente à segurança dos pacientes e do corpo médico.

Figura 2: Caminho da Corrente de Falta a Terra




Fonte: http://www.eletricistaconsciente.com.br/pontue/fasciculos/guia-nbr-5410-fasciculo-4/guia-nbr-5410-fasciculo-4/

Locais que assistem à vida das pessoas priorizam cada vez

mais a excelência em seus processos e procedimentos. A energia elétrica consiste em um dos pilares para que todas as rotinas se desenvolvam de modo mais organizado e seguro. Assim os profissionais engenheiros voltados à melhoria e desenvolvimento de equipamentos e dispositivos eletroeletrônicos hospitalares, podem contribuir efetivamente na evolução da medicina.

As aplicações e estudos da viabilidade econômica desse tipo de sistema apontam um elevado custo na implementação. Via de regra, os benefícios posteriores acabariam por compensar o investimento financeiro inicial. Na legislação há a obrigatoriedade da utilização do sistema IT e suas variações nas EAS. Demonstrou-se também que para os estabelecimentos assistenciais de saúde a norma estabelece o uso do sistema IT como garantia de eficácia contra os problemas, possíveis falhas, dentro dos ambientes hospitalares. Esse fato torna evidente a importância dos dispositivos e outros sistemas existentes, para as EAS.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **RDC Nº 50.** Projetos de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde – Elaboração de Projetos Físicos. 2002. 144 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **RDC Nº 50.** Requisitos de Análise, Aprovação e Avaliação de Projetos Físicos dos EAS. 2011. 09 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410.** Instalações Elétricas de Baixa Tensão I. Rio de Janeiro, 2008. 209 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60364-4-44.** Proteção para Segurança – Proteção Contra Perturbações de Tensão e Perturbações Eletromagnéticas. Rio de Janeiro, 2018. 246 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60364-7-710.** Instalações Elétricas dos Edifícios – Requisitos para Instalações Elétricas em Locais Especiais – Locais Médicos. Rio de Janeiro, 2002. 39 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13534.** Instalações Elétricas em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde – Requisitos para Segurança. Rio de Janeiro, 1995. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13534.** Instalações Elétricas em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde – Requisitos para Segurança. Rio de Janeiro, 2008. 21 p.

CASTELLARI, Sérgio. **Artigo de pesquisa profissional.** Instalações Elétricas em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde, 2009. 09 p.

CM COMANDOS LINEARES. **Catálogo do Sistema IT Médico.** Proteção Elétrica Hospitalar. São Paulo, 2017.

MONTEIRO, Aloizio. **Requisitos Técnicos de um Projeto de Instalações para uma Sala Cirúrgica.** 2016. 04 p.

WEG. **Catálogo do Sistema IT Médico.** Automação – Sistema de Isolação e Aterramento IT Médico. Santa Catarina. 12 p.

# PRINCÍPIO DE CONEXÃO PARA CENTRAL DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA EM CONCESSIONÁRIA DE ENERGIA

## CONNECTION PRINCIPLE FOR HIDROELECTRIC GENERATION CENTER IN ENERGY CONCESSIONAIRE

Elton Breves de Almeida[1]
Dener Martins dos Santos[2]
Rener Gazano[3]

**RESUMO:** O estudo dos critérios mínimos de uma Central de Geração Hidrelétrica (CGH) é um importante fator que deve ser realizado antes de seu projeto de implantação e conexão. O presente trabalho aborda as definições de uma CGH, bem como o seu funcionamento e seus principais equipamentos, considerando todos os critérios mínimos necessários para a sua implantação, liberação e conexão. O trabalho apresentou por meio de dados coletados de uma determinada Central Geradora Hidrelétrica da região, pontos principais do seu sistema de proteção e esquema de conexão. A partir das informações obtidas da CGH em estudo, conclui-se que esse tipo de implantação apresenta requisitos de acesso mais fáceis comparados aos outros tipos de geração de energia hidrelétrica. Além dos custos gerados serem menores e proporcionarem uma degradação ao meio ambiente reduzida, sendo assim indicados aos acessantes para conexão.

**Palavras-Chave:** Central de Geração Hidrelétrica. Critérios mínimos. Conexão

1 Discente do Curso do Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Docente Doutor Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Docente Mestre do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**ABSTRACT:** The study of the minimum criteria of a Hydroelectric Generation Plant is an important factor that should be carried out before the implementation and connection project of the Same. The present work address the definitions of a CGH, as well as its operation and its main equipment, considering all the minimum criteria necessary for its deployment, release and connection. The work presented through data collected from a given Hydroelectric Generating Plant in the region, your protection system and connection scheme. With the information obtained from CGH under study, it is concluded that this type of implementation presents easier access requirements compared to other types of hydroelectric power generation. In addition to, the costs generated being lower and providing a reduced degradation to the environment, thus being indicated to the accessors for connection.

**Keywords***:* Power Generation Plant. Minimum Criteria. Connection.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a energia hidráulica tem uma grande importância no desenvolvimento econômico em vários setores como industrial, comercial, agricultura e até mesmo na vida da sociedade, auxiliando na qualidade de vida das pessoas. (ANEEL, 2002). No ano de 2012, entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 que possibilitou o consumidor produzir a sua própria energia elétrica, por meio de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Além disso, pôde também fornecer a rede de distribuição de uma determinada concessionária de sua localidade, todo o excedente de energia gerada. A partir das Micro e Minigeração é possível agregar consciência socioambiental, autossustentabilidade e economia financeira. (ANEEL, 2015). Uma maneira de explorar as fontes hídricas de forma mais econômica e com uma redução de impactos negativos ao meio ambiente, seria a adoção do uso de CGHs ou de PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas) em substituição as Usinas

Hidrelétricas (UHEs). No caso das CGHs, elas podem trabalhar de forma a auxiliar as distribuidoras de energia elétrica com a geração distribuída. (PREVE, 2018). O presente trabalho é baseado em uma revisão bibliográfica bem detalhada sobre Central de Geração Hidrelétrica.

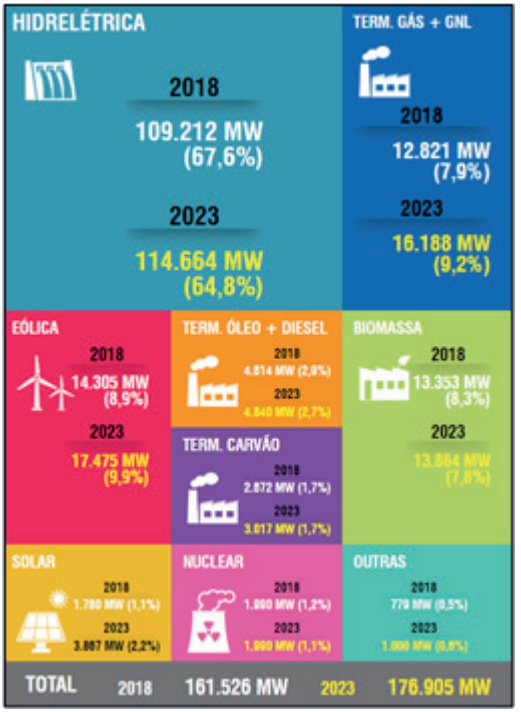
### 1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi realizar analise dos mínimos critérios para conexão de uma Central de Geração Hidrelétrica (CGH) em uma determinada concessionária, em consonância às normas brasileiras do sistema elétrico. Diante disso se buscou realizar um levantamento bibliográfico para abordar os sistemas de proteção de uma CGH; e também, analisar os sistemas de proteção existentes, determinando qual é o tipo mais adequado para determinada concessionária e o tipo de conexão.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A principal base da matriz energética no Brasil é a hídrica. Porém nos últimos anos, as usinas hidrelétricas vêm diminuindo por motivos de custos de implantação, impacto ambiental e devido às novas fontes de energias renováveis. (PREVE, 2018). No Brasil, as usinas hidrelétricas podem ser classificadas em três categorias como: Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e Grandes Centrais Hidrelétricas (UHEs) (ELETROBRAS, 2000 *apud* ABREU, 2015). A figura 1 apresenta a Matriz de Geração de Energia do Brasil, segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2019), com uma estimativa de 5 anos. Segundo Preve (2018) para reduzir alguns fatores negativos como tais como: impacto ambiental e os altos custos de investimentos focaram-se na utilização de CGHs e PCHs.

Figura 1: Matriz de Geração de Energia do Brasil.




Fonte: ONS (2019)

As CGHs podem ser definidas como usinas de pequeno porte que utilizam a pressão da água, mesmo mecanismo de uma hidrelétrica, para produzirem energia elétrica. Segundo a Hidroenergia (2019) as CGHs se diferem das PCHs, devido a capacidade e tamanho. Enquanto as PCHs podem produzir potências entre 1 e 30 MW, as CGHs produzem potências inferiores ou iguais a 5 MW. Além disso, o fator que difere esses dois tipos de usinas hidrelétricas, é o fato de as barragens não serem utilizadas como armazenamento de água, pois as CGHs, por possuírem estruturas e potências menores, acabam as usando apenas como forma de garantir a tomada d'água.

Alguns benefícios e vantagens podem ser destacados com a implantação de uma CGH. Esses benefícios são: durante a

fase de implantação, o impacto ambiental é menor e há uma geração de empregos na região; simplicidade na operação e implantação, pois não possui reservatórios; durabilidade dos equipamentos; aderimento ao sistema de compensação de energia e etc. (LIBERUM ENERGIA, 2019).

Uma Central Geradora pode ser caracterizada como Micro ou Minigeração distribuída. (ANEEL, 2016). Micro e minigeração são caracterizados por produzirem energia elétrica a partir de PCHs e CGHs, ao utilizar fontes como energia hidráulica, eólica, solar, biomassa ou cogeração qualificada, ligadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, (ANEEL, 2016). Segundo a Aneel (2014), a Microgeração Distribuída pode ser entendida como uma CGH com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW) e já a Minigeração Distribuída pode ser entendida como uma central geradora hidrelétrica com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 Megawatt (MW). (ANEEL, 2016). O que caracteriza Micro ou Minigeração Distribuída, é que a CGH necessita cumprir as etapas de Solicitação de Acesso e de Parecer de Acesso. (ANEEL, 2016).

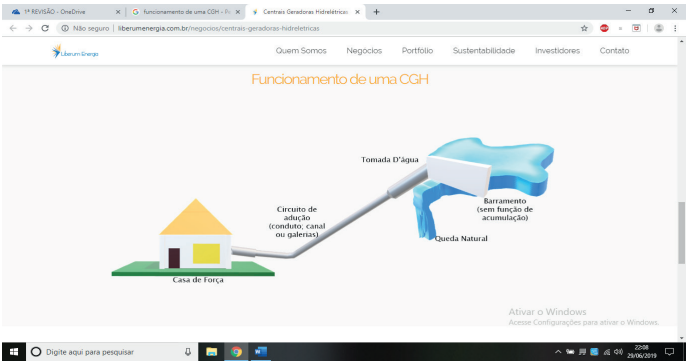
## 2.1 FUNCIONAMENTO DE UMA CGH

Estruturalmente, as CGHs são formadas por: condutos forçados e reguladores de entrada de água (que têm as finalidades de válvulas e comportas), por casa de máquinas (que possuem turbinas, geradores e painéis de regulação e controle) e por uma estrutura que envolva a água para o rio. Além desses componentes, as CGHs podem apresentar ou não barragem, (HIDROENERGIA, 2019).

O funcionamento, conforme mostrado na figura 2 é baseado na captação da água do rio por meio da tomada d'água que é levada para as turbinas pelas tubulações (condutos forçados). A água chega à turbina com pressão, gerando assim uma rotação e movimentação do eixo. Como consequência dessa movimentação, o rotor do gerador também é girado, transformando assim a energia mecânica do movimento (energia hidráulica) em energia elétrica. Desta maneira, a água que

passa por dentro da turbina é despejada novamente no rio (HIDROENERGIA, 2019).

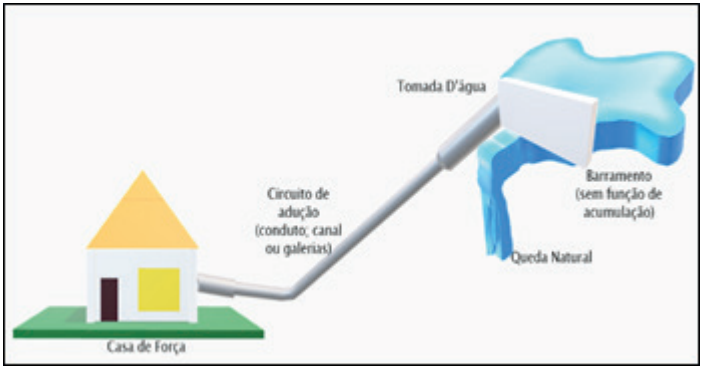
Figura 2: Funcionamento de uma CGH




Fonte: Liberum Energia (2019)

Segundo Prevê (2018), os componentes de uma CGH são: barragem, vertedouro, estrutura de tomada de água, conduto forçado, casa de força (ou casa de máquinas), canal de fuga e sistema de adução. O funcionamento, em função dos componentes da CGH, pode ser dado de acordo com o fluxograma demonstrado na figura 3.

Figura 3: Fluxograma do Processo de Geração




Fonte: Preve (2018)

## 2.2 NORMAS TÉCNICAS PARA A CONEXÃO

As normas técnicas para conexão são estabelecidas pelas concessionárias, e por esse motivo, essas normas variam em função de cada concessionária. O objetivo de todas as normas, independentemente de cada concessionária, é apresentar aos Acessantes os critérios mínimos para autorização de acesso (BERTONCELLO, 2011). Define–se Acessante como aquele que deseja realizar a conexão na distribuidora de energia (Acessada). Os Acessantes precisam realizar estudos relacionados ao projeto hidrelétrico para solicitação da conexão na Acessada. (PREVE, 2018).

Segundo Aneel (2017), os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) visa estabelecer as normas elétricas de conexão das CGHs em redes comerciais de energia. PRODIST consiste em um conjunto de documentos elaborados pela ANEEL que para a normatização e padronização das atividades técnicas referentes ao desempenho e funcionamento dos sistemas de distribuição de energia elétrica. O PRODIST é descrito por onze módulos, porém o que orienta quanto aos procedimentos e regulamentação da Conexão de Centrais Geradoras, está no Módulo 3: Acesso ao Sistema de Distribuição, visando as características de cone-

xão das CGHs. (ANEEL, 2017)

O módulo 3 da PRODIST possui introdução e mais sete seções conhecidas como: Procedimentos de Acesso; Critérios Técnicos e Operacionais; Requisitos de Projetos; Implantação de Novas Conexões; Requisitos para Operação, Manutenção e Segurança da Conexão; Contratos; e Acesso de Micro e Minigeração Distribuída. Os procedimentos de acesso ao sistema de distribuição podem ser descritos pelas etapas de: Consulta de Acesso, Informação de Acesso, Solicitação de Acesso e Parecer de Acesso. Algumas etapas de caráter opcional ou obrigatório estão descritas na tabela 1 (ANEEL, 2017).

Tabela1: Etapas para viabilização do acesso em caráter permanente por tipo de acessante.

<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2">ACESSANTE</th><th colspan="2">ETAPAS</th></tr>
<tr><th>Consulta de Acesso / Informação de Acesso</th><th>Solicitação de Acesso / Parecer de Acesso</th></tr>
<tr><td colspan="3">Unidade Consumidora</td><td colspan="2">Procedimento definido nas Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Central Geradora</td><td rowspan="2">Fora de Leilão</td><td>Registro</td><td>Opcionais</td><td>Obrigatórias</td></tr>
<tr><td>Autorização</td><td>Obrigatórias</td><td>Obrigatórias</td></tr>
<tr><td colspan="2">Dentro de Leilão</td><td>Não aplicáveis</td><td>Obrigatórias</td></tr>
<tr><td colspan="2">Concessão</td><td colspan="2">Procedimento definido no edital de licitação</td></tr>
<tr><td colspan="2">Alteração de Autorização</td><td>Obrigatórias</td><td>Obrigatórias</td></tr>
<tr><td colspan="3">Distribuidora</td><td>Opcionais</td><td>Obrigatórias</td></tr>
<tr><td colspan="3">Agente Importador ou Exportador</td><td>Opcionais</td><td>Obrigatórias</td></tr>
</table>

Fonte: ANEEL (2017)

## 3 DESENVOLVIMENTO

No presente trabalho, para análise de alguns critérios mínimos de proteção e implantação de uma CGH, foram utilizados dados de uma determinada central localizada no município de Miguel Pereira – RJ. Verificou-se sua conexão e equipamentos como: relés de proteção, geradores e transformadores. A CGH Santa Branca é composta por duas unidades geradoras idênticas. As características constituintes da CGH e dos geradores estão descritas no quadro 1.

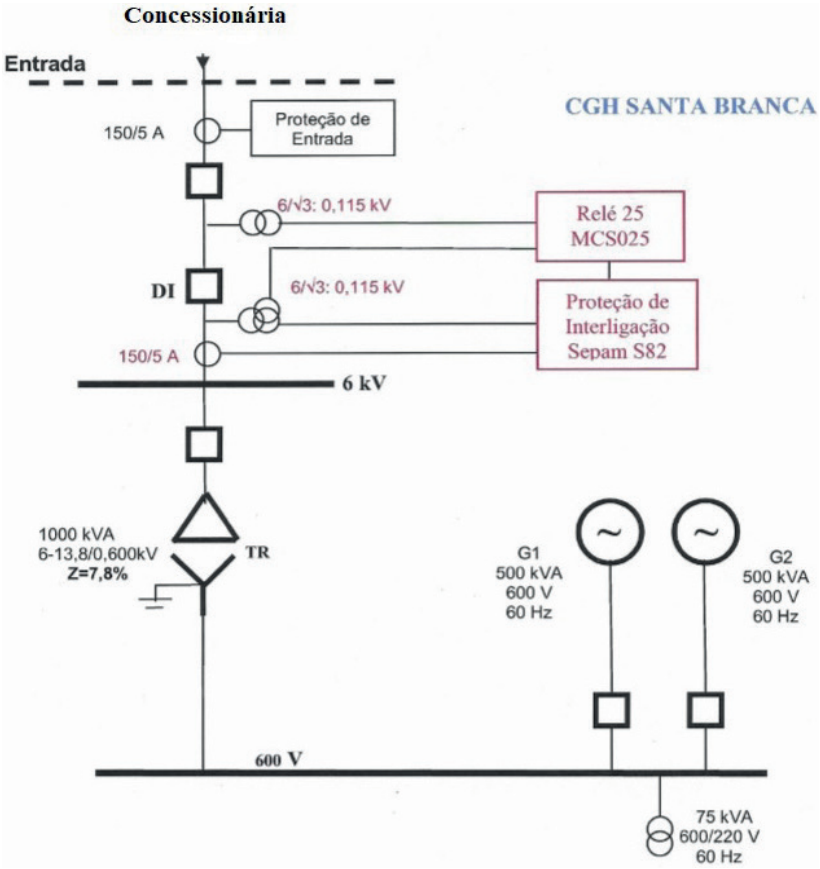
O esquema de conexão da CGH Santa Branca é unifilar simplificado, conforme mostrado na figura 4. O modelo esquemático de conexão mostrado na figura 4 de conexão da CGH Santa Branca encontra-se de acordo com as exigências da Concessionária da região, sendo composta por: geradores, ramal de entrada, relés de proteção, disjuntores e entre outros equipamentos.

Quadro 1: Dados da CGH Santa Branca e dos Geradores

| CARACTERÍSTICAS | VALORES |
|---|---|
| Tensão de Conexão | 6,3 kV |
| Alimentador do Empreendimento | Arcadia V |
| Subestação de Conexão | SESD Governador Portela. |
| Geradores | Trifásico |
| | Síncrono de polos salientes |
| | Com excitação do tipo rotativa |
| | 500 kVA |
| | 600 V |
| | Cos Ø 0,80 |
| | 900 rpm |
| | 60 Hz |

Fonte: Adaptado de CGH Santa Branca (2019)

Figura 4: Esquema de Conexão da CGH Santa Branca.




Fonte: Adaptado de CGH Santa Branca (2019).

A Parametrização de Seletividade utiliza o programa PTW (*Power Tools for Windows*) que é um software da SKM *Systems Analysis* para sistemas elétricos de potência e para projeto. Ele possui uma linguagem gráfica e interativa com base de dados que com sua eficácia organiza, processa e apresenta resultados. (ENGMASTER, 2018). O PTW possibilita a criação de um sistema elétrico (projeto) com os seus elementos como: transformadores, cabos, motores, barras e linhas de transmissão. (ENGMASTER, 2018).

Os dados das bases fornecidos em função do Sistema Internacional (S.I.), como o descrito no quadro 1, devem ser convertidos em valores por unidades (pu). Estes se relacionam às características das máquinas (geradores, transformadores e etc), os dados referentes às tensões e aos valores nominais de potência, geralmente são fornecidos em valores percentuais, como mostrado na equação 01. Por esse motivo deve haver a compatibilização (mudança de base) desses valores com as bases definidas para a rede, conforme a equação 02.

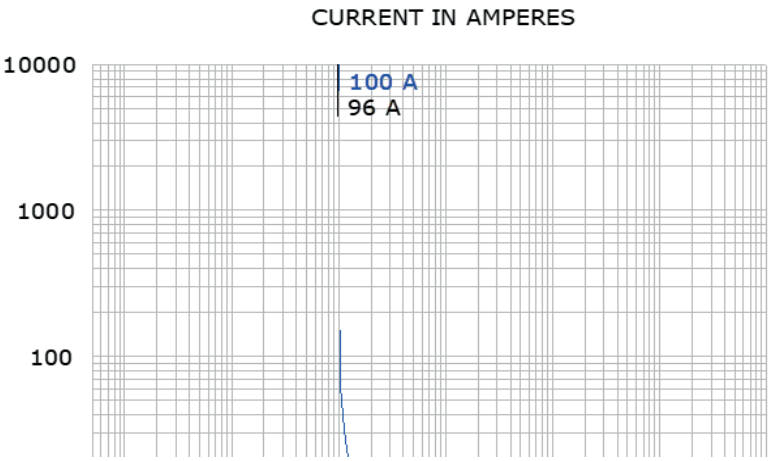
$$\text{Valor percentual} = \text{Valor pu} \times 100\% \quad \textbf{(01)}$$

$$\text{Valor pu} = \frac{\text{Valor na unidade da grandeza}}{\text{Valor base}} \quad \textbf{(02)}$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

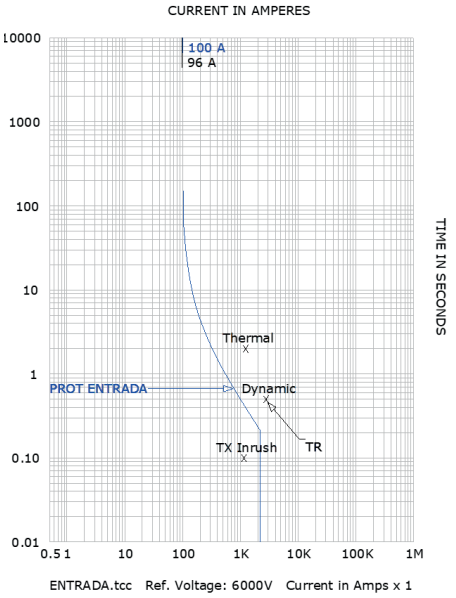
A partir dos dados coletados da CGH Santa Branca e com o uso do programa PTW, foi gerado o Diagrama Unifilar, representado pela figura 5. Através do PTW também foi possível obter a Folha de Verificação Gráfica de Seletividade conforme mostrado na figura 6.

Figura 5: Diagrama Unifilar realizado pelo PTW.




Fonte: Autores.

Figura 6: Folha de Verificação Gráfica de Seletividade.




Fonte: Autores

Durante o curto-circuito a máquina síncrona irá desenvolver três regimes diferentes conforme mostrado no quadro 2. As mudanças de bases dos geradores da CGH Santa Branca são descritas no quadro 3.

Quadro 2: Regimes das máquinas síncronas

| CONDIÇÕES | RESULTADOS OBTIDOS |
|---|---|
| **Corrente de Regime Permanente.**<br>≥ 20 ciclos.<br>Xd: Retorna ao seu valor original.<br>Reatância de eixo direto | $X_d = 125\% = X_d(pu) = 125/0,5 =$ **250 pu** |
| **Corrente Transitória (Regime Transitório da Máquina)**<br>Dura de 5 a 20 ciclos.<br>X'd: Reatância transitória de eixo direto. | $X'_d = 70\% = X'_d(pu) = 70/0,5 =$ **140 pu** |
| **Corrente Subtransitória (Regime Subtransitório da Máquina)**<br>Dura até 5 ciclos, depende das constantes de tempo da máquina.<br>X"d: Reatância subtransitória de eixo direto. | $X''^{q} = 30\%^{o} = X''^{q}(bn) = 30\backslash 0^{1}2 =$ **e0 bn** |

Fonte: Autor (2019)

Quadro 3: Dados das Tensões dos Geradores

| DADOS DOS GERADORES E DA BASE |
|---|
| Potência do Gerador: $S_{base}$ = 500 kVA<br>Tensão da Base do Gerador $V_{base}$ = 600 V<br>A base do sistema: $V_{base}$ = Tensão Nominal do Sistema 6 kV<br>No lado do Gerador: $V_{base}$ = 600 V<br>$S_{base}$ = 10 MVA |

Fonte: Adaptado de CGH Santa Branca (2019)

Já a mudança de base do Transformador de Força (TR1) da CGH Santa Branca são descritos no quadro 4.

Quadro 4: Dados do Transformador de Forca (TR1)

| DADOS DO TRANSFORMADOR DE FORÇA (TR1) E DA BASE | RESULTADO OBTIDO |
|---|---|
| $S_{TR}$ = 1000 kVA = $X_{TR}$ = 7,8 % (Na base do Trafo)<br>A base do sistema: $S_{base}$ = 100 MVA | $_{R}$(pu) = 7,8/1,0 = **7,8 pu** |

Fonte: Adaptado de CGH Santa Branca (2019)

Dados os valores percentuais e por unidade (p.u) relacionam a uma mudança nas escalas das grandezas de grande importância no SEP (Sistema Elétrico de Potência), bem como: Corrente, Impedância, Potência, Susceptância e Tensão. Essa alteração auxilia nos cálculos de redes, particularmente na existência de transformadores no sistema em análise. Os seguintes cálculos são relacionados à equivalência da Concessionária Regional que alimenta a CGH Santa Branca. Essa equivalência é determinada em função da Corrente Elétrica (I) em Ampére (A). O

quadro 5 mostra os dados convertidos e os respectivos resultados das equivalências encontradas para a CGH Santa Branca.

Quadro 5: Relação de Equivalência entre a Concessionária de Energia e a CGH Santa Branca.

| CONCESSIONÁRIA DE ENERGIA | CGH SANTA BRANCA |
|---|---|
| $Ncc_{3\phi}$ = 2728 A | $Ncc_{3\phi}$ = 518 A |
| $I_{Base\ -\ 6kV}$ = 9622,5 A | $I_{Base\ -\ 6kV}$ = 9622,5 A |
| $I_{cc\ (pu)}$ = 0,2835 pu | $I_{cc\ (pu)}$ = 0,05383 pu |
| $Xeq^{+}$ = 1/0,2835 = **j 3,5273 pu** | $Xeq^{+}$ = 1/0,05383 = **j 18,5762 pu** |
| Icc - 1φ = 3 * Van/ $(X^{+} + X^{-} + X^{0})$ | Icc - 1φ = 3 * Van/ $(X^{+} + X^{-} + X^{0})$ |
| $Ncc_{1\phi}$ = 1047 A = 0,1088 pu | $Ncc_{1\phi}$ = 283 A = 0,0294 pu |
| $X^{0}$=3*Van / (Icc - 1φ ) -$(X^{+}+ X^{-})$ | $X^{0}$=3*Van / (Icc - 1φ ) - $(X^{+}+ X^{-})$ |
| $X^{0}$=3*1/0,1088 - 2*j 3,5273 | $X^{0}$=3*1/0,0294 - 2*j 0,05383 |
| **$X^{0}$ = j 20,5189 pu** | **$X^{0}$ = j 101,933 pu** |
| $Xfeeder^{+}$= ($Xequiv,Santa\ Branca^{+}$ - $Xequiv,\ Concessionária^{+}$) | |
| $Xfeeder^{+}$= j 18,5762 - j 3,5273 = **j 15,0489 pu (Alimentador)** | |

Fonte: Autores.

O quadro 6 apresenta os resultados dos valores do alimentador da CGH em estudo com as seguintes características de equivalência e a verificação de curto-circuito na Barra da CGH Santa Branca.

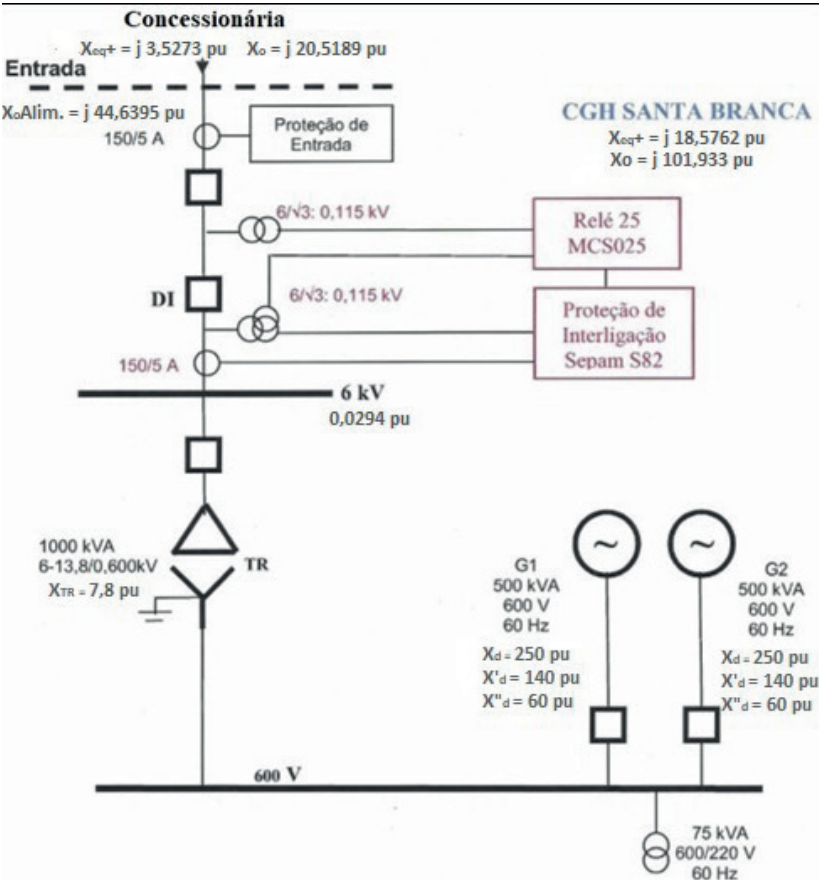
Quadro 6: Relação dos valores dos Alimentadores e Averiguação de Curto-Circuito.

| ALIMENTADOR | CURTO CIRCUITO |
|---|---|
| | $I_{cc-3\varphi}(pu) = Van /(X\ equiv,\ C.^{+} + X\ A.)$ |
| | $I_{cc-3\varphi}(pu) = 1/ (j\ 3{,}5273^{+} + j\ 15{,}0489)$ |
| | $I_{cc-3\varphi}(pu) = 0{,}05383 < -90^{o}$ |
| $Icc - 1\varphi = 3 * Van/ (x^{+} + x^{-} + x^{0})_{(C.+A.)}$ | $I_{cc-3\varphi}(A) = 518\ A$ |
| $X^{0}=3*Van / (Icc - 1\varphi) - (X^{+} + X^{-})$ | $I_{cc-1\varphi}(pu) = 3* Van / (X\ equiv,\ Conces.^{+} +$ |
| $X^{0}=3*1/0{,}0294 - 2*j\ (3{,}5273 + 15{,}0489)$ | $+ X\ equiv,\ Conces.^{-} +$ |
| **$X^{0} = j\ 64{,}8884\ pu$** | $+ X\ equiv,\ Conces.^{0})$ |
| $X^{0}Alimentador = j\ (64{,}8884 - X^{0}\ Conces.)$ | $+ X\ alimen.^{+}$ |
| $X^{0}Alimentador = j\ (64{,}8884 - 20{,}5189)$ | $+X\ alimen^{-} + X\ alimen.^{0})$ |
| **$X^{0}$ Alimentador = j 44,6395 pu** | $I_{cc-1\varphi}(pu) = 3*1/ j\ (2 * 3{,}5273 + 20{,}5189 +$ |
| | $+ 2 * 15{,}0489 + 44{,}3695)$ |
| | $I_{cc-1\varphi}(pu) = 3 * 0{,}0098 < -90^{o}$ |
| | **$I_{cc-1\varphi}(pu) = 0{,}0294\ pu = 282{,}9\ A$** |

Fonte: Autores.

A Figura 7 mostra os valores das equivalências da concessionária, da CGH Santa Branca, do alimentador e da barra. A partir dos dados e cálculos fornecidos pela Concessionária e Acessante, foi possível dimensionar os equipamentos e ajustes de proteção de forma correta, bem como: Potência de curto-circuito com o ângulo, Corrente de curto-circuito com ângulo e Impedância com o ângulo.

Figura 7: Representação das equivalências no esquema de conexão da CGH Santa Branca.




Fonte: Adaptado de CGH Santa Branca (2019)

## 5 CONCLUSÕES

É de grande importância para a implantação e conexão de uma Central Geradora Hidrelétrica seguir os requisitos normativos conforme previsto por leis do sistema elétrico e do sistema ambiental. A execução do presente estudo demonstrou por meio da sua revisão bibliográfica conceitos básicos que constituem

as CGHs e todos os critérios mínimos necessários para sua implantação, liberação e conexão. Desta maneira, foi possível concluir que comparados aos outros tipos de geração de energia hidrelétrica, as Centrais Geradoras possuem inúmeras vantagens como por exemplo o baixo custo do empreendimento, um menor impacto ambiental e um sistema de compensação elétrico conhecidos como Micro e Minigeração de Distribuição.

Em relação às características e equipamento das CGHs, nota-se que devido aos baixos custos e equipamentos não tão inacessíveis para sua construção, podem ser obtidos dentro do país, como fornecedores de turbinas hidráulicas e hidrogeradores. Conforme as bibliografias analisadas em relação às CGHs, não são ainda de ideal proporção, mas podem crescer com a implantação deste sistema no Brasil.

A determinação dos limites de potências dessas pequenas centrais, conforme legislação, nos últimos anos, cresceu consideravelmente, sendo de 1 MW para 5 MW, necessitando assim exclusivamente do registro da ANEEL, para comercialização com a concessionária, com isso incentivando o crescimento das CGHs.

## AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a Central de Geração Hidrelétrica Santa Branca por viabilizar o acesso para a realização desta pesquisa científica.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Thiago Modesto de. **Proposta de metodologia para definição de quantidade de grupos geradores de pequenas centrais hidrelétricas.** 2015, 128 p. Dissertação (Mestrado Engenharia da Energia), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá/ MG, 2015.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasi.l** Brasília: ANEEL, 2002. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf.. Acesso em: 12 mar. 2019.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Cadernos temáticos ANEEL micro e minigeração distribuída sistema de compensação de energia Elétrica**. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2016. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-66d7f655161. Acesso em: 20 out. 2019.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração distribuída**: micro e minigeração distribuídas. Brasília: ANEEL, 2015. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida. Acesso em: 22 out. 2019.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos**

**de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional** – PRODIST, Módulo 3. Revisão 7. 2017. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/PRODISTM%C3%B3dulo3_Revis%C3%A3o7/ebfa9546-09c2-4fe-5-a5a2- ac8430cbca99. Acesso em: 20 jun. 2019.

BERTONCELLO, Ricardo. **Sistema de conexão de mini e micro centrais hidrelétricas às redes monofásicas das concessionárias.** 2011, 107p. Dissertação (Mestrado Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco/Paraná, 2011.

ENGMASTER. **Treinamento:** power tools for windows (PTW). São Paulo, 2018. Disponível em: http://www.engmaster.com.br/download/CURSOPTW-DAPPER-CAPTOR-Versao6.pdf. Acesso em: 15 de novembro de 2019.

IBAMA. **Guia Prático 01 – LAF.** Ficha de caracterização de atividade – FCA. Orientações sobre procedimentos para solicitação de licenciamento ambiental. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento. Acesso em: 27 mar. 2019.

HIDROENERGIA. **O que é uma CGH (Central Geradora Hidrelétrica)?** – Hidroenergia Engenharia e Automação – Ijuí - RS, 31 de maio de 2018. Disponível em: http://www.hidroenergia.com.br/o-que-e-uma-cgh-central-geradora-hidreletrica. Acesso em: 27 mar. 2019.

HIDROPAN. **Norma de conexão de micro e minigeração distribuída sob sistema de compensação de energia elétrica:** conexão em baixa e média tensão**.** Panambi/ RS, 2013

LIBERUM ENERGIA. **Centrais geradoras hidrelétricas**. Nova Lima/ MG, 2019. Disponível em: http://liberumenergia.com.br/

negocios/centrais-geradoras-hidreletricas. Acesso em: 20 jun. 2019.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. Capacidade instalada no SIN - 2018 / 2023. Disponível em: http://www.ons.org.br/páginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros. Acesso em: 29 set. 2019.

PREVE, Felipe Ribeiro. **Geração distribuída:** acesso de centrais geradoras hidrelétricas à rede de média tensão simulação. 2018, 139 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2018.

# MODELAGEM MATEMÁTICA DA TECNOLOGIA APLICÁVEL EM ATERRAMENTO DE SUBESTAÇÕES DE POTÊNCIA

## MATHEMATICAL MODELING OF THE TECHNOLOGY APPLICABLE IN GROUNDING POWER SUBSTATIONS

Vinícius Pedrosa de Andrade[1]
Vitor Ferreira da Rosa[2]
Wellington Paes Paiva[3]
Dener Martins dos Santos[4]
Marco Antônio Gabriel[5]

**RESUMO:** Este trabalho realizou a modelagem matemática a respeito das condições de aterramento utilizadas em subestações de potência. O desenvolvimento dessa pesquisa se deu pela análise in loco das condições de operação de uma subestação de potência, medição dos parâmetros operacionais. O software Tecart Plus5 foi empregado para realizar a simulação a partir dos dados coletados. A modelagem matemática usou equações disponíveis na literatura para avaliar os mesmos fenômenos. Os resultados indicaram que modelagem matemática descreveu satisfatoriamente as condições de aterramento de subestações de potência. Contudo, observou–se que tanto início quanto no final do tempo simulado, os resultados obtidos pelo software empregado foram superiores ao limite máximo calculado pelo emprego da modelagem matemática.

1 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: dheriton13@gmail.com.

2 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: joaovictorfonseca2008@hotmail.com

3 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

4 Docente Doutor Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e do Curso de Engenharia Elétrica Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

5 Docente Mestre do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**Palavras-chave:** Confiabilidade. Aterramento. Subestação.

**ABSTRACT:** This work performed the mathematical modeling of the grouding conditions used in power substations. The development of this research took place by analysing on-site the operating conditions of a Power substation, measuring operational parameters. The Tecart Plus 5 software was used to perform the simulation based on the data collected. Mathematical modeling used equations available in the literature to evaluate the same phenomena. The results indicated that mathematical modeling satisfactorily described the grouding conditions of Power substations. However, it was observed that both the beginning and the endo of the simulated time, the results obtained by the software used were higher than the maximum limit calculated using the mathematical modeling.

**Keywords:** Reliability. Grounding. Substation.

## 1 INTRODUÇÃO

Todo sistema elétrico deve possuir uma estrutura de aterramento dimensionada corretamente e que atenda as exigências das normas da legislação. Esse procedimento garante o funcionamento satisfatório e suficientemente seguro contra riscos de acidentes fatais. As construções de novas subestações de energia elétrica e as reformas daquelas já existentes devem atender as demandas atuais e futuras que contenham métodos eficientes para melhorar a confiabilidade dos sistemas de aterramentos nelas instaladas. Esses métodos envolvem estudo do solo, medição de resistividade e resistência deste. O panorama que se desenha em um curto espaço de tempo é que seria muito importante em projetos de subestações, que o profissional conhecesse atentamente todos os procedimentos de medição e o uso correto destes aparelhos, para que o projeto desse sistema de aterramento seja eficiente e seguro.

No projeto de malha de aterramento de subestação é feito, normalmente, vários cálculos que garantam a eficácia da malha de acordo com demanda analisada. Após a implementação do projeto são realizadas medições contínuas de resistência da malha com aparelhos específicos e com pessoal treinado para aferir se a demanda projetada está de fato sendo atendida pelos equipamentos instalados satisfatoriamente.

### 1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi o de demonstrar através de medições *in loco* em uma subestação dos parâmetros variacionais de energia possam ser quantificados através da elaboração da malha de aterramento quando se emprega a modelagem matemática, para demonstrar a sua eficácia.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

Nikola Tesla foi o Engenheiro Eletricista que descobriu a corrente alternada no final do século XIX. Diante disso, possibilitou a transmissão e distribuição da energia elétrica algo inimaginável à época. No ano de 1888, a descoberta de que um campo magnético poderia girar duas bobinas perpendiculares se estas fossem supridas com corrente alternada 90° fora de fase, tornou possível a invenção do motor de indução de corrente alternada. A maior vantagem deste motor foi o seu funcionamento sem escovas, que muitos na época acreditavam impossível (PENNER, 1995). A corrente alternada através de um condutor muda normalmente de sentido em intervalos regulares. (VALKENBURG, 1982).

### 2.1 SUBESTAÇÃO DE POTÊNCIA

As subestações de potência são conjunto de condutores, aparelhos e equipamentos destinados a modificar as características da energia elétrica (tensão e corrente), permitindo a sua distribuição aos pontos de consumo em níveis adequados de utilização (MAMEDE FILHO, 2002). A figura 1 mostra a imagem

de duas subestações de potência de pequeno porte. Nas duas imagens apresentadas na figura 1, pode–se observar que as características construtivas são semelhantes diferenciando–se apenas da carga recebida para a conversão e o sistema de distribuição receptor. O quadro 1 apresenta alguns dos tipos de subestações e as suas principais características.

Figura 1: Vista Parcial de duas subestações de potência.



Fonte: Imagens de domínio público de livre acesso na mídia digital.

Quadro 1: Tipos e Características de Subestação.

| TIPO DE SUBESTAÇÃO | CARACTERÍSTICAS |
|---|---|
| Subestação Central de Transmissão | É aquela normalmente construída ao lado das usinas produtoras de energia elétrica, cuja finalidade é elevar os níveis de tensão fornecidos pelos geradores para transmitir a potência gerada aos grandes centros de consumo. |
| Subestação Receptora de Transmissão | É aquela próxima aos grandes blocos de carga e que está conectada, através da linha de transmissão, a subestação central de transmissão ou a outra subestação receptora intermediaria. |
| Subestação de Subtransmissão | É aquela construída em geral no centro de um bloco de grande carga, alimentada pela subestação receptora e de onde se originam os alimentadores de distribuição primários, suprindo diretamente os transformadores de distribuição e/ou as subestações de consumidores. |
| Subestação de Consumidor | É aquela construída em propriedade particular suprida através de alimentadores de distribuição primários, originados das subestações de subtransmissão, que suprem os pontos finais de consumo. |

Fonte: Filho (2002).

Neste trabalho não será dada ênfase nos equipamentos que compõem uma subestação. Mas sim nos sistemas de aterramento nelas existentes.

## 2.2 ATERRAMENTO

Aterramento é a ligação das estruturas das instalações como a terra, com o objetivo de estabelecer uma referência para a rede elétrica e permitir o fluxo para a terra de correntes elétricas de naturezas diversas, tais como correntes de raio, descargas eletrostáticas, correntes de filtros, supressores de surtos e par-raios de linha, correntes de curto circuito para a terra. Nas instalações elétricas são considerados dois tipos básicos de aterramento: aterramento funcional que consiste em ligação à terra de um dos condutores do sistema (geralmente o neutro) e estão relacionados com o funcionamento correto, seguro e confiável da instalação. Aterramento de proteção, que consiste na ligação a terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, visando à proteção contra choques elétricos por contato direto (CREDER, 2007).

O tipo de sistema de aterramento a ser adotado depende da importância do sistema de energia elétrica envolvido, do local e do custo. O mais eficiente é, a malha de terra (KINDERMANN, 1995). Espera-se de um aterramento que tenha capacidade de dispersão para o solo determinados valores de corrente, contudo, permite que os potenciais na superfície deste solo atinjam níveis comprometidos com a segurança do pessoal, por conta de uma falta. Em quase todos os casos, deseja–se que a resistência de terra tenha o menor valor possível (VISACRO, 1995).

Há diferentes tipos de sistemas de aterramento, contudo, em todos eles se objetiva a melhor ligação com a terra. Os principais tipos são: uma simples haste cravada no solo; hastes alinhadas; hastes em triângulo; hastes em quadrados; hastes em círculos; placas de material condutor enterrados no sol; fios ou cabos enterrados no solo, que formam diferentes configurações tais como: estendido em vala comum; em cruz; em estrela; quadriculados, formando uma malha de terra.

## 2.3 RESISTIVIDADE DO SOLO

O solo em seu estado natural é um mal condutor de eletricidade. Se o solo for considerado seco, ele se comporta como um material isolante. A resistividade do solo é muito elevada

se comparada a dos condutores convencionais. (VISACRO, 2002). Contudo, a sua resistividade sofre alterações com a umidade. Essa variação ocorre em virtude da condução de cargas elétricas no solo serem predominantemente iônica. Uma porcentagem maior faz com que os sais, presentes no solo, se dissolvam, formando um meio eletrolítico favorável à passagem da corrente iônica. Assim, um solo específico, com concentração diferente da umidade, apresenta uma grande variação de resistividade. Os aterramentos melhoram com o solo úmido e pioram com o solo seco (KINDERMANN, 1995). A norma ABNT NBR 7117/2012 estabelece os requisitos para a medição da resistividade e a determinação da estratificação do solo.

A composição do solo é geralmente estratificada em várias camadas com diferentes formações superpostas. Os solos apresentam características anisotrópicas, por exemplo, as camadas mais profundas que afloram em locais determinados, ocasionam descontinuidades na superfície. Essa característica promove uma variação da resistividade. Assim, conforme a formação do terreno se altera, passa a atribuir valores médios em diversas partes, denominados resistividade efetiva do solo.

## 3 DESENVOLVIMENTO

No desenvolvimento desse trabalho se utilizou uma malha de aterramento de uma subestação de potência que se encontra na região Sul Fluminense. Esta subestação possui a malha de aterramento em anel, com valores de resistividade do solo 1500 Ωm para os primeiros 10m e 3000 Ωm para profundidade maior. O valor da corrente de curto circuito de fase terra foi estimando em 3,2kA e o tempo em 0,3s. O valor da resistividade da camada de superfície do solo foi estimado como sendo concreto com espessura de 15cm. Os condutores horizontais e verticais são constituídos de cabos de bitola de 70 mm². Os condutores horizontais foram enterrados a uma profundidade de 1,00 m. Na efetivação do cálculo a malha objeto desse estudo considerou–se como independente, isto é, não seria conectada a qualquer outra malha de terra. No aterramento desta subes-

tação utilizaram–se as normas americanas IEEE Std 80-2000 e as normas brasileiras NBR-5419; NBR-5410; NBR-6533. A figura 2 mostra a vista parcial da subestação de potência na qual se realizou a pesquisa proposta.

Figura 2: Vista dos Transformadores da Subestação de potência na qual se realizou a pesquisa.



Fonte: Autores

## 3.1 MODELAGEM MATEMÁTICA

As seguintes equações foram utilizadas para realizar a comparação entre os valores medidos e aqueles calculados.

Resistividade da malha:

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \left(\frac{2a}{\sqrt[2]{a^2 + (2p)^2}}\right) - \left(\frac{2a}{\sqrt[2]{(2a)^2 + (2p)^2}}\right)} \quad \textbf{(01)}$$

Desvio:

$$\sigma = \frac{R_{medido} - R_{calculado}}{R_{medido}} \times 100 \quad \textbf{(02)}$$

Resistência da Malha:

$$R_t = \frac{\rho}{2\pi R} \quad \textbf{(03)}$$

Máximo Potencial da Malha

$$V = R_t \times I \quad \textbf{(04)}$$

Hastes de Aterramento:

$$R_{Ih} = \ln\left(\frac{400 \times I}{2{,}54 \times d}\right) \quad \textbf{(05)}$$

Potencial de Passo:

$$E_{pa} = \frac{116 \times 0{,}7\rho}{\sqrt{T_f}} \quad \textbf{(06)}$$

Tensão de Toque Máximo:

$$E_{tm} = \frac{116 + 0{,}174\rho}{\sqrt{T_f}} \quad \textbf{(07)}$$

Onde:

ρ = Resistividade do solo

a = Espaçamento

p= profundidade

I = corrente

d = distância

R = Resistividade total

ρ = Resistividade do solo

$T_f$ = Tempo de permanência do contato

A concessionária disponibiliza 138 KV. O sistema é trifásico, então no circuito não contém sequências de fase negativa e fase 0. O cálculo foi feito com base da sequência de fase positiva.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medições foram executadas ao longo do terreno da subestação no total de 8 ao todo, sendo 4 medições no sentido longitudinal e 4 no sentido transversal. O procedimento adotado para se realizar a medição foi o método de Werner e os cálculos foram obtidos por Software Tecart Plus5. A tabela 1 mostra os resultados das medições efetuadas.

Tabela 1: Tabela de espaçamento e medição

| Espaçamento (m) | | Linhas de medição (Ω) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | C | D | E | F | G | H |
| 1 | | 0,22 | 0,26 | 141,20 | 153,60 | 69,10 | 244,00 | 202,00 | 137,40 |
| 2 | | 0,16 | 0,18 | 129,50 | 142,00 | 163,30 | 195,50 | 155,80 | 121,10 |
| 4 | | 0,09 | 74,20 | 78,60 | 72,80 | 94,30 | 105,80 | 95,70 | 69,80 |
| 8 | | 0,04 | 24,00 | 21,90 | 23,70 | 23,80 | 57,00 | 27,20 | 23,80 |

Fonte: Autores

O quadro 2 apresenta os resultados da resistividade do solo. Nesse caso adotou–se o modelo estimado de resistividade do solo duas camadas. O quadro 3 apresenta os valores médio e calculados para a estratificação do solo.

Quadro 2: Parâmetros da malha

| **N° de Camadas** | **Resistividade (Ω)** | **Profundidade** |
|---|---|---|
| Camada 1 | 1500 | 10 |
| Camada 2 | 3000 | Infinito |

Fonte: Autores

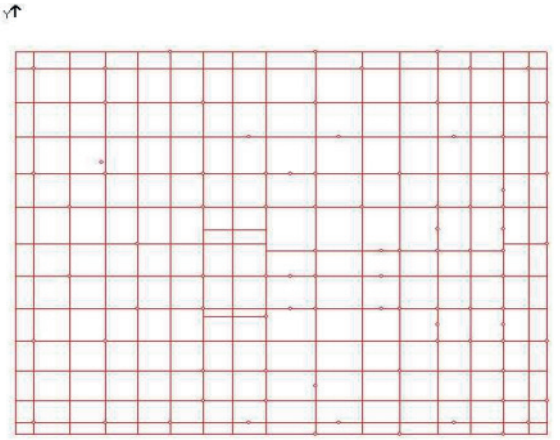
Quadro 3: Valor medido e calculado

| Espaçamento(m) | Medido (Ω.m) | Calculado (Ω.m) |
|---|---|---|
| 1 | 818,58 | 913,33 |
| 2 | 1463,61 | 1183,17 |
| 4 | 1870,21 | 1391,42 |
| 8 | 1267,84 | 1499,62 |

Fonte: Autores

Inicialmente, foi projetada uma malha de 64,65 x 51,37m cobrindo toda a área da subestação, considerando 1 metro a menos do alambrado da subestação. Neste caso também se considerou um espaçamento médio de 4x4m, podendo variar em alguns pontos, para toda a subestação, conforme figura 3. A partir da inserção dos valores coletados, estes alimentaram o sistema do software TecArt Plus 5 obteve–se os valores das resistências, conforme apresentado no quadro 4. No quadro 5 é mostrado os valores medidos por hastes. A partir dos resultados descritos nos quadros 4 e 5 obtiveram–se os seguintes valores para a resistência da malha: 11,91Ω e o Máximo potencial da malha: 38105,67 V.

Figura 3: Terreno do Aterramento



Fonte: Autores

Quadro 4: Valores medidos por número de cabo

| Nr. Cabos | X1(m) | Y1(m) | Z1(m) | X2(m) | Y2(m) | Z2(m) | Raio(mm) | N sub Tipo A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 0 | 0 | 1 | 64,7 | 0 | 1,0 | 5,5 | 17 A |
| **2** | 0 | 4,5 | 1,0 | 64,7 | 4,5 | 1,0 | 5,5 | 17 A |
| **3** | 0 | 8,5 | 1,0 | 64,7 | 8,5 | 1,0 | 5,5 | 17 A |
| **4** | 22,9 | 15,8 | 1,0 | 30,5 | 15,8 | 1,0 | 5,5 | 3 A |
| **5** | 30,5 | 24,6 | 1,0 | 59,4 | 24,6 | 1,0 | 5,5 | 7 A |
| **6** | 59,4 | 25,5 | 1,0 | 64,7 | 25,5 | 1,0 | 5,5 | 3 A |
| **7** | 62,5 | 0,0 | 1,0 | 62,5 | 51,4 | 1,0 | 5,5 | 14 A |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **8** | 64,7 | 0,0 | 1,0 | 64,7 | 51,4 | 1,0 | 5,5 | 14 A |

Fonte: Autores

Os cabos do sistema de Malha de Aterramento foram de cobre nu têmpera meio mole, o que correspondeu a uma condutividade de 97%. Os condutores de aterramento foram utilizados com método de solda, para instalação do sistema. O cálculo da malha de aterramento foi realizado considerando–se uma malha formada por cabos de cobre nu de 70mm² e hastes de aterramento de cobre com Ø 3 m de comprimento. Neste caso mapeou–se toda área da subestação para verificação do potencial em qualquer ponto da subestação. Para essa representação, considerou–se 1 metro a mais em todo o perímetro da malha. Nas figuras 4 e 5 apresentam os resultados através da simulação no software TecArt Plus 5 sendo: na figura 4 a projeção dos potenciais da malha no terreno da subestação e na figura 5 o resultado da projeção dos potenciais na superfície da malha.

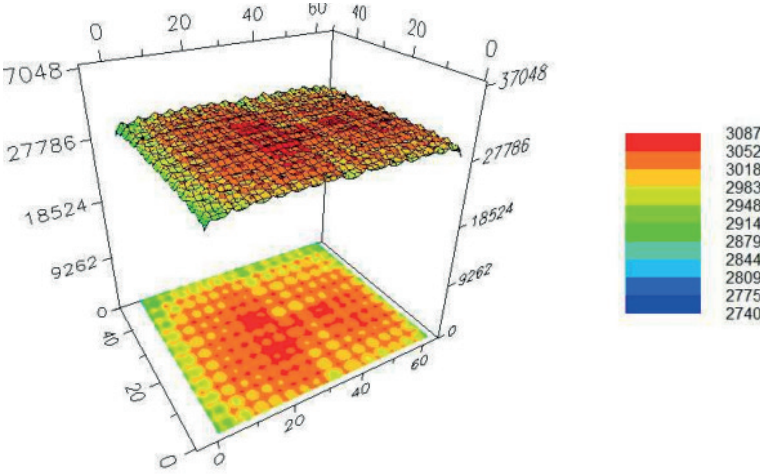
Quadro 5: Valores medidos por Hastes

| **Hastes** | **X1(m)** | **Y1(m)** | **Z1(m)** | **X2(m)** | **Y2(m)** | **Z2(m)** | **Raio(mm)** | **N sub Tipo A** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 2,2 | 1,5 | 1,0 | 2,2 | 1,5 | 3,4 | 8,7 | 3 A |
| **2** | 10,9 | 1,5 | 1,0 | 10,9 | 1,5 | 3,4 | 8,7 | 3 A |
| **3** | 14,9 | 25,5 | 1,0 | 14,9 | 25,5 | 3,4 | 8,7 | 3 A |
| **4** | 22,9 | 4,5 | 1,0 | 22,9 | 4,5 | 3,4 | 8,7 | 3 A |
| **5** | 30,5 | 4,5 | 1,0 | 30,5 | 4,5 | 3,4 | 8,7 | 3 A |
| **6** | 36,6 | 6,5 | 1,0 | 36,6 | 6,5 | 3,4 | 8,7 | 3 A |
| **7** | 46,8 | 16,9 | 1,0 | 46,8 | 16,9 | 3,4 | 8,7 | 3 A |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **8** | 64,7 | 44,6 | 1,0 | 64,7 | 44.6 | 3,4 | 8,7 | 3 A |

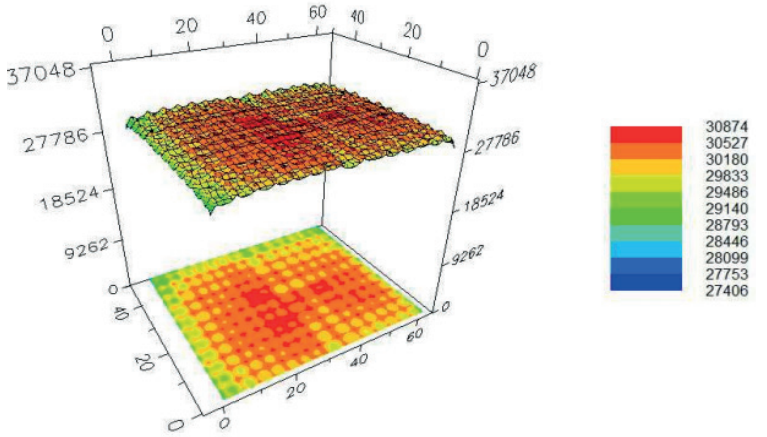
Fonte: Autores

Figura 4: Projeção dos potenciais da malha




Fonte: Autores

Figura 5: Projeção dos potenciais da superfície da área da malha.

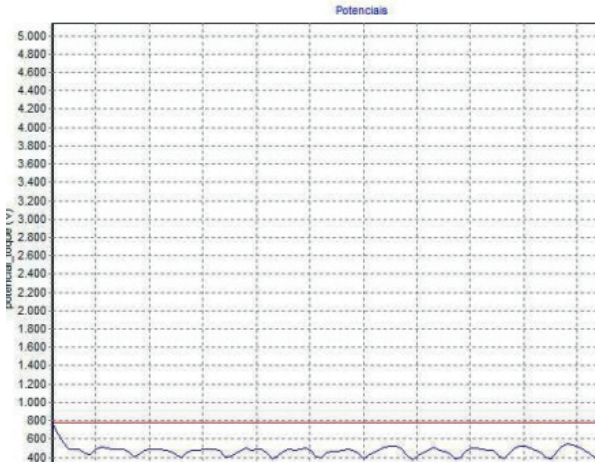


Fonte: Autores

Na figura 4 observou–se que os maiores potenciais da malha ocorreram na região periférica da malha que foi empregada para representar todo o perímetro da subestação. Ao passo que na figura 5 observou–se uma maior homogeneidade da distribuição dos potenciais na superfície da malha; mesmo estes possuindo maior intensidade; do que aqueles simulados e descritos na figura 4.

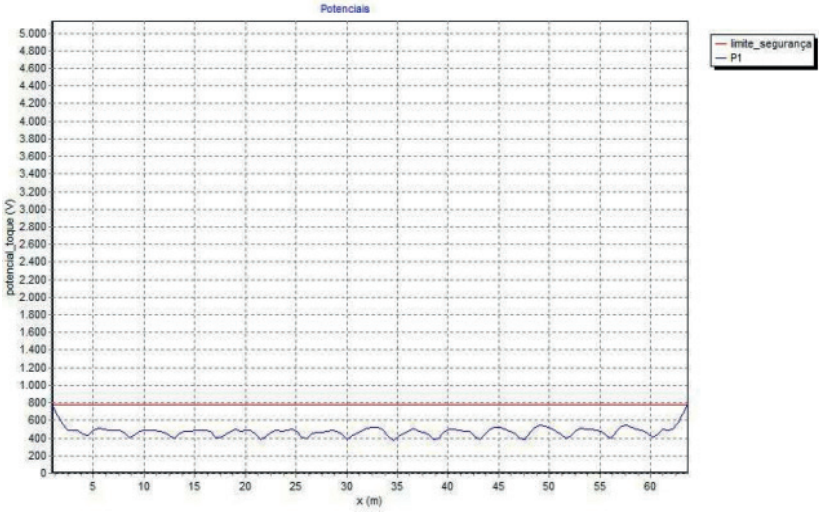
O Potencial de Toque foi estimado para a subestação, sendo o potencial do ponto de contato da mão de uma pessoa ao ponto no chão situado a 1 metro do ponto de contato. Foram consideradas duas direções tendo em vista que os pontos mais críticos de toque são a extremidade da malha, assim como cercas e portões, a figura 6 mostra a representação de como foi feita a malha para a realização deste cálculo e na figura 7 é mostrado os resultados obtidos através da simulação no software TecArt Plus 5 para o potencial de toque. A partir da simulação efetuada encontrou–se o valor de potencial de toque máximo estimado foi de 782,34V. Na figura 7, observou–se que a linha azul mostrou que a tensão de toque nas periferias da malha registrou os pontos mais críticos e de maior probabilidade de contato. Pode–se observar na figura 7 que a tensão não ultrapassou a tensão máxima de segurança permitida dentro da área da malha da subestação.

Figura 6: Malha potencial de Toque.




Fonte: Autores

Figura 7: Potencial de toque.

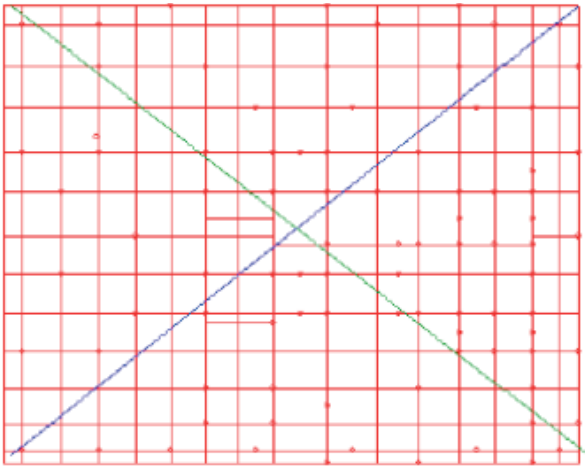



Fonte: Autores

O potencial de passo que consistiu no máximo potencial tolerável existente entre os dois pés. As tensões de passo ocorreram quando entre os membros de apoio. Isso ocorreu quando

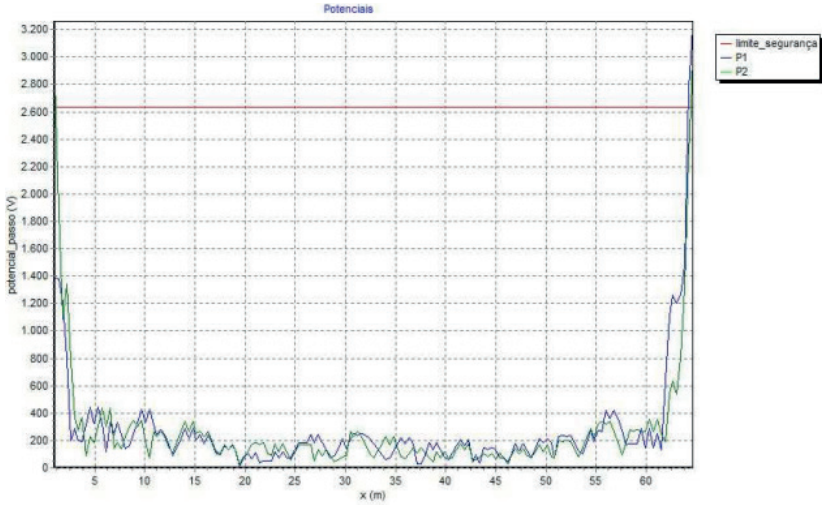
os pés estiveram posicionados sobre linhas equipotenciais diferentes. As linhas equipotenciais se formam na superfície do solo quando há um escoamento de corrente de curto circuito ou raios para o solo. Se durante uma falha os dois pés estiverem sobre uma mesma linha equipotencial ou apenas um único membro estiver sendo usado como apoio, não haverá tensão de passo. As figuras 8 e 9 mostram, respectivamente a malha utilizada para o potencial do passo e a subsequente o resultado obtido através da simulação encontrado pela utilização do software TecArtplus 5.

Figura 8: Potencial de Passo na malha.



Fonte: Autores

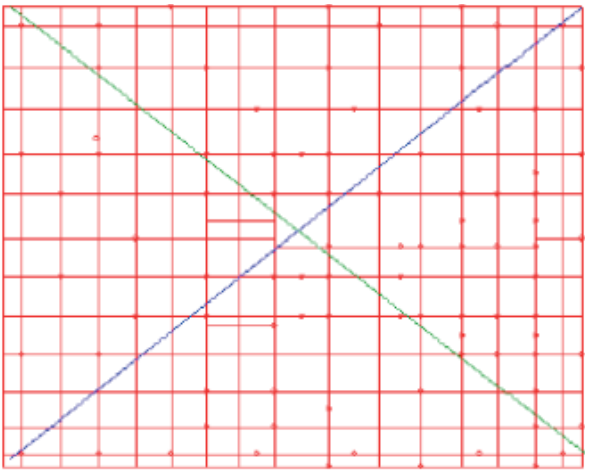
Figura 9: Limite de Segurança.




Fonte: Autores

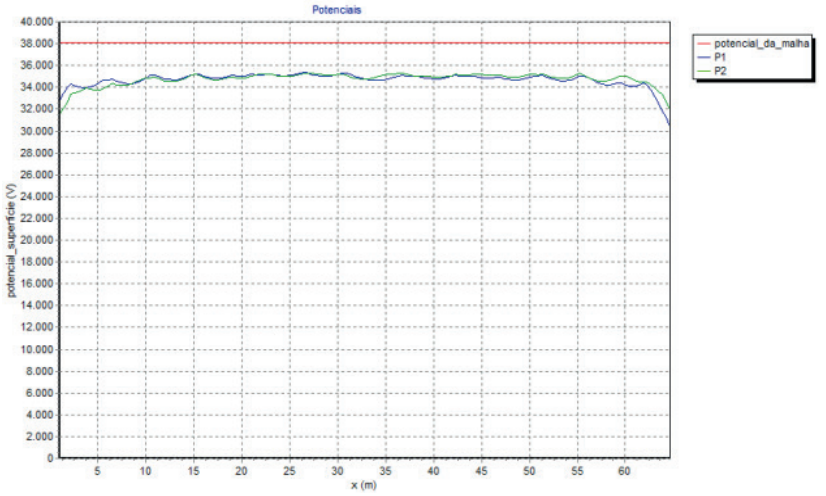
A partir do resultado demonstrado na figura 9, percebeu–se que dentro da área compreendida pela subestação, a tensão não ultrapassou a tensão máxima de segurança que permitida, descrita pela linha vermelha. A tensão superficial em qualquer ponto da malha leva em consideração a camada de brita (3000 Ω.m). A figura 10 mostra como se realizou a malha desse cálculo. A figura 11 apresenta os resultados da simulação utilizando o software Tecartplus 5. Através do resultado da simulação descrito na figura 11, para a tensão na superfície da camada de brita, observou–se que o potencial ficou abaixo do limite crítico (linha vermelha).

Figura 10: Tensão de Superfície na malha.



Fonte: Autores

Figura 11: Limite de segurança 2.




Fonte: Autores

A partir das medições realizadas empregou–se a modelagem matemática para comparar os resultados obtidos. O quadro 6 apresenta os resultados obtidos a partir da modelagem, comparados com aqueles medidos.

Quadro 6: Compilação Geral da Malha de Aterramento

| **Espaçamento (m)** | **Medido (Ω.m)** | **Calculado(Ω.m)** | **Desvio %** |
|---|---|---|---|
| 1 | 818 | 818,08 | - 0,97 |
| 2 | 1463 | 1463,71 | -0,48 |
| 4 | 1870,21 | 1872,45 | -0,11 |
| 8 | 1267,84 | 1265,8 | 0,17 |

Fonte: Autores

Os valores calculados foram aproximados dos valores medidos pelo Terrômetro, contudo o software possuiu um valor de tolerância acima do valor medido, contudo não influenciou no cálculo da malha significativamente para a utilização. O quadro 7 apresenta os valores calculados para a estrutura das camadas.

Quadro: Cálculo da estrutura das camadas

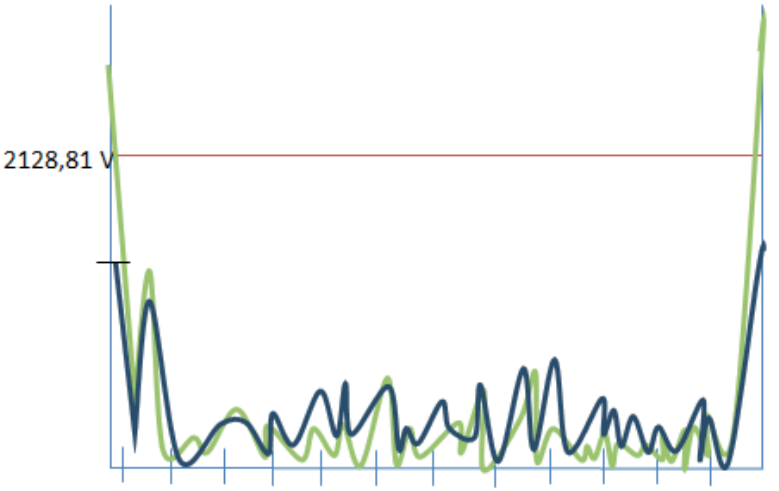
| Camadas | Resistência (Ω) | Tensão Máxima (V) |
|---|---|---|
| 1 | 11,94 | 35,82 V |
| 2 | 23,87 | 71,61 V |

Fonte: Autores

A partir dos resultados mostrados no quadro 7 pôde–se calcular o valor para cada haste de aterramento empregando a equação 5, que foi de 7,76Ω. O potencial de passo calculado foi de 2128,81V. Através do emprego do software TecArtplus 5 obteve–se o valor de 2637,22V. A figura 12 relaciona o potencial de passo calculado com relação ao medido. Os resultados

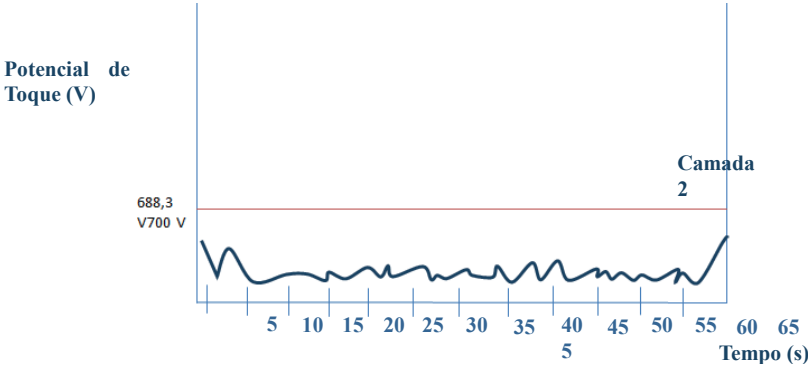
mostrados na figura 12 indicaram que somente no início e no final da medição o resultado pela modelagem matemática não se adequou aos valores medidos. O potencial de toque calculado pela equação 07 foi de 688,3V enquanto pelo software foi de 782,34V. Através da figura 13 pôde–se observar que o potencial de toque medido foi inferior ao calculado para todo o tempo de análise.

Figura 12: Relação entre os valores medidos e calculados para o potencial de passo.




Fonte: Autores

Figura 13: Relação entre o Potencial de Toque medido e calculado.




Fonte: Autores

## 5 CONCLUSÕES

Todos os cálculos desse trabalho foram feitos pelo software Tecart Plus 5 e foram comparados com aqueles obtidos através da modelagem matemática por meio de trabalho de campo. Empregou-se o equipamento terrômetro para a realização das medições em pontos fundamentais de inspeção de aterramento e comparados com os dados do início de projeto, para avaliar a eficácia do aterramento empregado; tendo como base as normas técnicas NBR 5419; NBR 5410; IEEE std-80; NBR 6533.

Os resultados confrontados entre os medidos e os calculados demonstraram que o modelo matemático empregado descreveu boa correlação com aqueles obtidos pelo software. Observou-se somente no início da medição e no seu término uma diferença acentuada entre os dois métodos de análise. Contudo o modelo matemático foi bastante satisfatório demonstrando um adequamento as condições de operação da subestação, e, por conseguinte, permite avaliar a satisfatória condição de aterramento de subestações devido às condições do solo.

## REFERÊNCIAS


ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOTAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 7117**: medição da resistividade do solo pelo método dos quatro pontos (Wenner). Rio de Janeiro, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOTAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15749**: medição da resistência de aterramento e de potenciais da superfície do solo em sistemas de aterramento. Rio de Janeiro, 2009.

CREDER, H. **Instalações elétricas**. 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

GOMES, D. S. F; MACEDO F. F; GUILLIOD, S. M. **Aterramento e proteção contra sobretensões em sistemas aéreos de distribuição.** Rio de Janeiro: EDUFF, 1990.

KINDERMANN, G.; CAMPAGNOLO, J. M. **Aterramento elétrico**. 8. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzato, 1995.

MAMEDE FILHO, J. M. **Instalações elétricas Industriais**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

PENNER, J. R. Hans. **A estranha vida de Nikola Tesla - uma autobiografia**. Canadá: RuriakInk, 1995.

VALKENBURGH, V.; N. N. **Eletricidade Básica**. New York: Common-Core, 1982. p.7.

VISACRO, S. F. **Aterramentos Elétricos**. São Paulo: Artiliber Editora, 2002. p.23-56.

# PROTEÇÃO CATÓDICA POR CORRENTE IMPRESSA

## CATHODIC PROTECTION BY PRESS CURRENT REVIEW

Edvandro Andrade Costa[1]
Tiago Machado Mendes[2]
Dener Martins dos Santos[3]
Tiago Brandão Costa[4]

**RESUMO:** Este trabalho aborda os aspectos da proteção catódica por corrente impressa para minimizar os efeitos da corrosão sobre superfícies metálicas. A metodologia utilizada foi bibliográfica e documental para caracterizar os principais aspectos dos fenômenos envolvidos. Os resultados indicaram que o emprego da proteção catódica por corrente impressa consiste em uma técnica eficiente de proteção contra os efeitos nocivos provenientes da corrosão, em de tubulações de aço enterradas e estruturas metálicas em geral.

**Palavras-chave:** Corrosão. Proteção catódica. Corrente impressa.

1 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Docente Doutor Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
4 Docente Doutor do Curso de Engenharia Elétrica Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**ABSTRACT:** This work shows the aspects of the cathodic protection to decrease the corrosion effects on metallic surfaces. The methodology used was bibliographic and documentary to characterize the main aspects of the phenomena involved. The results indicated that use of cathodic protection by pressed current consists of an efficient protection technique against the harmful effects of corrosion, in buried steel pipes and metallic structures in general.

**Keywords:** Corrosion. Cathodic protection. Press current

## 1 INTRODUÇÃO

A história da proteção catódica data do século XIX, quando a eletroquímica dava também os seus primeiros passos, principalmente na Inglaterra, onde os anais da Real Sociedade guardam, até hoje, as comunicações dos cientistas da época, entre eles Faraday, Marianini, Becquerel, Walcker e, particularmente, Sir Humphrey Davy. Este cientista realizou um trabalho extraordinário no campo da eletroquímica. Em 1823, foi comissionado pelo Almirante Britânico para estudar uma solução para os problemas de corrosão na chaparia de cobre que revestia o casco de madeira dos navios de guerra de Sua Majestade. (DUTRA; NUNES, 2006).

Tanto a partir do desenvolvimento de novas indústrias no Brasil quanto em outros países, se encontram diversas instalações metálicas enterradas ou até mesmo submersas, como exemplo: oleodutos, gasodutos, tubulações industriais, navios, plataformas de petróleo e muitas outras. As consequências naturais decorrentes consistem no grande aumento da corrosão em grandes proporções. Esse fato obriga o desenvolvimento de técnicas para combater a corrosão, tais como: processos metalúrgicos, revestimentos protetores, e em destaque a proteção catódica. O emprego da técnica da proteção catódica reduz enormemente processo espontâneo da corrosão. Uma vez que ela transforma a estrutura metálica que se deseja a proteger no catodo de uma pilha artificial, o que torna a corrosão termodinamicamente impossível.

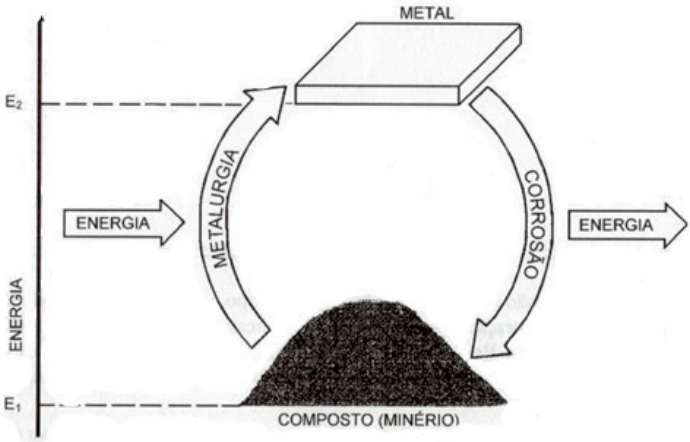
## 1.1 OBJETIVO

O objetivo desse artigo consistiu na revisão do status atual do emprego da proteção catódica por meio da corrente impressa para controle dos efeitos corrosivos em superfícies metálicas utilizadas em ambientes industriais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A corrosão é o resultado de alterações indesejáveis ocorridas em materiais, principalmente metálicos, devido à ação química e/ou eletroquímica do meio ambiente, associada ou não a esforços mecânicos (GENTIL, 2007). Nos processos de corrosão, os metais reagem com os elementos não metálicos, como exemplo, o oxigênio e o enxofre, produzindo compostos semelhantes ao encontrado na natureza, da mesma forma que eles foram extraídos. Portanto pode ser concluir que a corrosão corresponde ao inverso do processo metalúrgico por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliado ou não a esforços mecânicos conforme a figura 1 (DUTRA; NUNES, 2006).

Figura 1: Ciclo dos Metais.




Fonte: DUTRA; NUNES (2006).

## 2.1 CORROSÃO POR PROCESSO QUÍMICO

A corrosão química é caracterizada pela reação química do metal com o agente corrosivo, não havendo deslocamentos dos elétrons envolvidos em direção a outras áreas do metal. A corrosão se forma na superfície do metal exposto no meio, podendo constituir uma película que, dependendo do metal, do meio e condições que processa a reação, pode apresentar diversas propriedades. O campo de atuação da corrosão química é mais restrito que o da corrosão eletroquímica, e ocorre com mais frequência se compõe principalmente da oxidação com destaque em corrosão em alta temperatura, em meio gasoso, em alguns meios líquidos e em temperatura ambiente (DUTRA; NUNES, 2006).

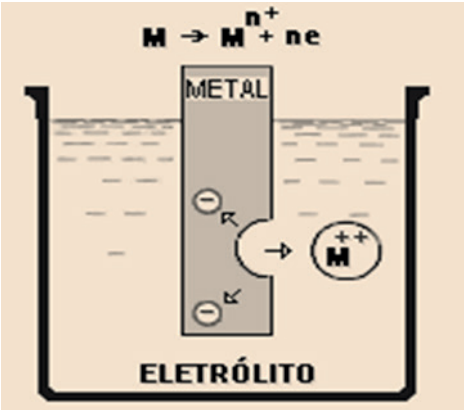
## 2.2 CORROSÃO POR PROCESSO ELETROQUÍMICO

Na corrosão eletroquímica, os elétrons são cedidos em determinadas regiões e recebidos em outras, aparecendo uma pilha de corrosão. Esse processo eletroquímico de corrosão pode ser composto em três etapas principais, processo anódico onde há passagem dos íons para solução, deslocamento dos elétrons e íons onde se observa a transferência dos elétrons das regiões anódicas para as catódicas pelo circuito metálico e uma difusão de ânions e cátions na solução e processo catódico onde há recepção de elétrons, na área catódica, pelos íons ou moléculas existentes (GENTIL, 2007).

A característica mais importante do processo eletroquímico é que ele só se verifica em presença de eletrólito, a corrosão é composta por duas reações parciais, reação anódica e reação catódica, processadas em pontos distintos. A reação anódica é uma reação de oxidação, que são liberados elétrons que se deslocam para outro ponto do metal onde ocorre a reação catódica que é uma reação de redução. A dissolução do metal é uma consequência da reação anódica, conduzindo a redução de espécies presentes no meio, não havendo a participação do metal. Esse mecanismo se traduz como funcionamento de uma pilha de corrosão que requer quatro elementos imprescindíveis, uma área onde se passa a reação anódica, uma área destinada

onde se passa a reação catódica, uma ligação metálica que une as duas áreas e um eletrólito em contato simultâneo com as mesmas áreas, figura 2 (DUTRA; NUNES, 2006).

Figura 2: Processo de corrosão eletroquímica.




Fonte: DUTRA; NUNES (2006).

## 2.3 CONTROLE DE CORROSÃO

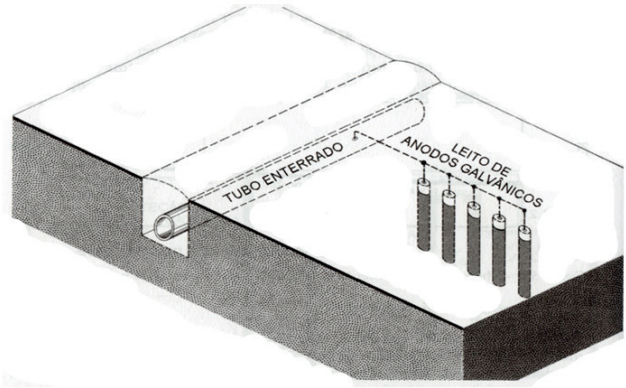
O metal menos ativo não se corrói e é chamado de catodo. O metal mais ativo, o anodo, passa para a solução ou liga uma corrente elétrica. Os controles de corrosão são efetuados por meio da criação de do uma barreira entre o metal e o meio corrosivo, esses revestimentos podem ser orgânico, por exemplo, a pintura industrial, revestimento com plástico, revestimento com borracha, inorgânicos por anodização, cromatização, fosfatização, revestimento com argamassa de cimento, revestimento em vidro entre outros e por último o revestimento metálico, por exemplo, metalização eletrodeposição, deposição química, entre outro (DUTRA; NUNES, 2006).

A proteção anódica é um processo de controle da corrosão, ela consiste em se impor a superfície na qual se deseja a proteger um potencial anódico no domínio de passividade do metal no meio. Este tipo de proteção só pode ser empregado em sis-

temas que tenham transição ativo/passivo, assim, a proteção anódica proporciona uma película protetora e também estabiliza essa película. A proteção anódica é muito restrita no Brasil, mas em outros países vem sendo aplicada em indústrias químicas e eletroquímicas (DUTRA; NUNES, 2006).

A proteção catódica é um meio de controle da corrosão que transforma a estrutura do metal a ser protegida em um catodo de uma célula eletroquímica ou eletrolítica. Essa proteção é utilizada em estruturas metálicas enterradas ou submersas em longas distâncias, este tipo de proteção não pode ser utilizado em estruturas aéreas, pois tem a necessidade de um eletrólito continuo que não se consegue na atmosfera. Apesar disso é uma forma muito mais eficiente de combate à corrosão que a proteção anódica e a proteção por revestimento protetor. Há dois métodos de proteção catódica: proteção Catódica Galvânica e Proteção Catódica por Corrente Impressa. Na proteção galvânica catódica a corrente elétrica é ocorre pela força eletromotriz entre o metal a proteger e aquele usado como anodo de sacrifício, o que resulta uma diferença de potencial eletroquímico, conforme mostra o esquema na figura 3.

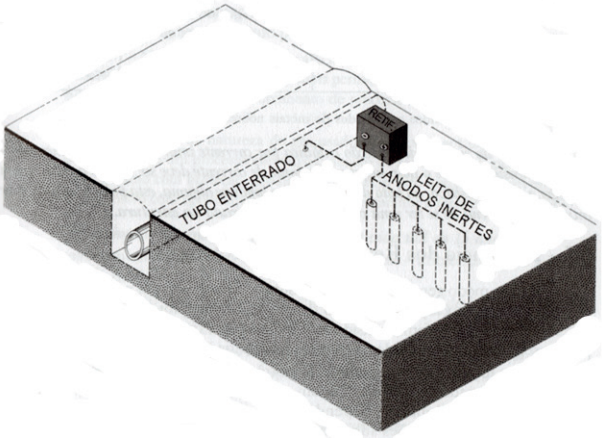
Figura 3: Esquema de proteção catódica galvânica




Fonte: DUTRA; NUNES (2006).

O outro método é a Proteção Catódica por Corrente Impressa, onde a corrente é promovida por uma força eletromotriz gerada por uma fonte geradora de corrente continua, por exemplos, retificadores, baterias ou geradores, sendo utilizado junto um conjunto dispersor de corrente no eletrólito, chamado de leito de anodos, na figura 4, mostra o esquema de proteção catódica por corrente impressa. Este tipo de proteção contra corrosão será o objetivo de estudo deste trabalho, será tratado com maior profundidade nas nossas pesquisas nos seguintes capítulos (DUTRA; NUNES, 2006).

Figura 4: Esquema de proteção catódica galvânica.




Fonte: DUTRA; NUNES (2006).

De acordo com o demonstrando pelas figuras 5 e 6, respectivamente, o sistema galvânico é fornece correntes relativamente pequenas a partir de um grande número de anodos. Já o sistema que utilizada retificadores geram correntes relativamente altas a partir de um número limitado anodos. Diante disso, o método utilizado depende da aplicação a qual se destina. Segundo Gentil (2007) a aplicação mais ampla e de caráter industrial na aplicação de corrente impressa. Essa ideia é reforçada pelo fato de que a fonte geradora, ou seja, o retificador

de corrente pode ter a tensão e a potência de saída em função da resistividade elétrica do eletrólito como descrito na tabela 1. Diante disso ele consiste no método que se aplica à proteção de estruturas em contato com eletrólitos de baixa, média, alta e altíssima resistividade elétrica. Neste trabalho é dada ênfase somente na proteção de corrosão por corrente impressa.

Tabela 1: Comparação entre a proteção galvânica e a proteção por corrente impressa.

| **GALVÂNICO** | **CORRENTE IMPRESSA** |
|---|---|
| Não necessita de alimentação externa, | Requisita alimentação externa |
| Tensão aplicada fixa, | A tensão pode ser variada |
| Corrente limitada, | A corrente pode ser variada |
| Frequentemente usado onde a corrente requerida é pequena, | Pode ser projetado para qualquer corrente requisitada, |
| Usado geralmente quando para eletrólito de baixa resistividade | Pode ser usado em praticamente qualquer ambiente de resistividade, |
| Em aplicações subterrâneas, a interferência com estruturas vizinhas deve ser considerada. | Em aplicações subterrâneas, a interferência com estruturas vizinhas é quase insignificante. |

Fonte: MELLO (2015).

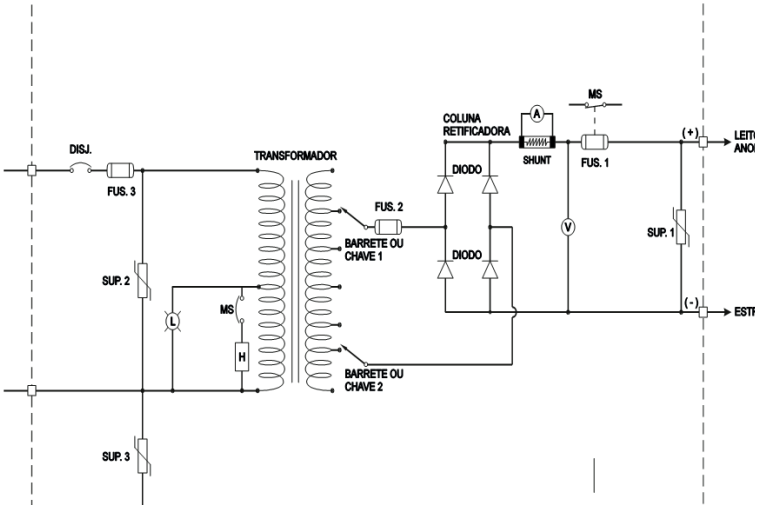
### 2.3.1 Proteção catódica por corrente impressa

Este sistema utiliza uma força eletromotriz, que se origina de uma fonte externa de corrente contínua. estas fontes de corrente continua pode ser baterias convencionais, baterias solares, termogeradores ou retificadores de corrente. Os retificadores são as fontes utilizadas com mais frequência, aonde se retifica uma corrente alternada para injetá-la no circuito. A saída da fon-

te pode ser variada para baixos ou altos valores, pois se aplica em estruturas de eletrólitos de baixa, média e alta resistividade. Ela também pode ser aplicada onde se exige maiores correntes, em estruturas de médio para grande porte, contudo não impede seu uso em estruturas pequenas (DUTRA; NUNES, 2006).

A utilização de retificador possui como finalidade fornecer energia para promover a proteção catódica por corrente impressa. Os retificadores podem ter alimentação trifásica ou monofásica. Os equipamentos trifásicos fornecem correntes com melhores características de retificação. Além disso, proporcionam rendimento mais elevado, e são mais caros que os monofásicos. Ele é um transformador que abaixa a tensão de alimentação para o valor desejado no circuito de proteção catódica, de uma coluna retificadora, que pode ser construída com placas de selênio ou com diodos de silício, de instrumentos para as medições das voltagens e das correntes de saída de dispositivos convencionais de proteção elétrica, como para-raios, fusíveis e disjuntores, além de *taps*, conforme o esquema elétrico na figura 5, para a regulagem da tensão de saída em corrente contínua (GOMES, 1995).

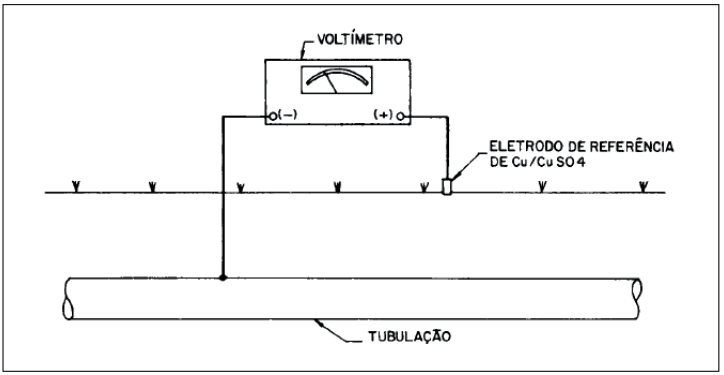
Figura 5: Esquema de um Retificador Trifásico




Fonte: GOMES (1995).

Após ser ligado o sistema de proteção catódica, é necessário verificar se a estrutura metálica ficou realmente protegida contra a corrosão. Embora existam outros critérios para permitir essa verificação, o procedimento normalmente adotado consiste em medir os potenciais em relação ao eletrólito, em vários pontos da estrutura, após o sistema de proteção catódica ser colocado em funcionamento. As medições dos potenciais estrutura/eletrólito são feitas com o auxílio de um voltímetro apropriado, com alta resistência interna (igual ou maior que 100.000 ohm/volt), tendo o seu terminal negativo ligado na estrutura a ser testada e o seu terminal positivo ligado a um eletrodo ou meia-célula de referência, que é colocado em contato com o eletrólito conforme a figura 6 (GOMES, 1995).

Figura 6: Medição do potencial tubo/solo de uma tubulação enterrada




Fonte: GOMES (1995).

Outro critério também utilizado consiste em promover, mediante a injeção da corrente de proteção catódica, uma elevação mínima de 0,30V (volts) (em alguns casos 0,25 V já é suficiente), no campo negativo, no potencial natural (potencial medido antes da ligação do sistema de proteção catódica) da estrutura. Esse critério é válido qualquer que seja o eletrodo de referência usado. Nos metais e ligas, que não são aço, os potenciais mínimos de proteção são outros, pois dependem do potencial

natural de cada um. Quando não se sabe qual o potencial de proteção de determinada liga ou material metálico, um critério seguro para protege-lo, consiste em elevar seu potencial no campo negativo em 0,30V, sendo que, para os materiais anfóteros (chumbo, zinco, alumínio e estanho), basta que essa variação seja de 0,15V. Esses metais não podem ser polarizados com potenciais mais negativos que –1,2V, pois sofrem corrosão severa, chamada de corrosão catódica, devido aos valores altos de pH desenvolvidos, tornando o meio muito alcalino (GOMES, 1995).

Os anodos mais utilizados quando se utiliza a proteção por corrente impressa são os de grafite, ferro–silício, ferro–silício–cromo, chumbo–antimônio–prata, titânio revestido com óxido de metais nobres, nióbio platinizado e magnetita, conforme descritos na Tabela 2. Estes são especificados de acordo com o metal a ser protegido, à distância, o meio eletrólito, o ambiente, e assim por diante (DUTRA; NUNES, 2006).

Tabela 2: Características dos anodos de sacrifício utilizados na proteção catódica por corrente impressa.

| ANODO | DENSIDADE DE CORRENTE RECOMENDADA (A/m2) | DESGASTE MÉDIO (kg/A.ano) |
|---|---|---|
| Grafite | até 3 | 0,20 |
| Ferro/silício (Fe–Si) | até 15 | 0,35 |
| Ferro/silício/cromo (Fe–Si–Cr) | até 15 | 0,35 |
| Chumbo/antimônio/prata (Pb–Sb–Ag) | 50/100 | 0,10 |
| Titânio platinizado (Ti–Pt) | até 1000 | desprezível |
| Nióbio platinizado (Nb–Pt) | até 700 | desprezível |
| Tântalo platinizado (Ta–Pt) | até 1100 | desprezível |
| Titânio oxidado | até 1100 | desprezível |
| Magnetita (Fe3O4) | até 115 | 0,04 |
| Ferrita (0,4MO.0,-6Fe2O3) | até 115 | 0,0004 |
| Ferrita (0,1MO.0,-9Fe2O3) | até 115 | 0,002 |

Há casos que podem ser instalados tanto os sistemas galvânicos quanto aqueles por corrente impressa, sendo estes últimos os mais utilizados, já que na maioria das vezes as tubulações são de médio a grande portes, lançadas em solos de resistividade elétrica superior a 3.000 **Ω**.cm (ohms.centímetro) e em regiões com disponibilidade de corrente alternada para alimentação de retificadores. Quando a tubulação a ser protegida encontra–se influenciada por estradas de ferro eletrificadas, os anodos galvânicos não devem ser utilizados (GENTIL, 2007).

Segundo Gentil (2007) no caso do emprego do sistema por corrente impressa, devem–se adotar as orientações:

- Utilização de anodos de titânio com óxidos mistos de metais nobres, grafito, ferro–silício e ferro–silício–cromo;
- Utilização de anodos poliméricos longos anodeflex, pra tubulações nuas ou pobremente revestidas, instalados ao longo de toda a linha para permitir uma boa distribuição de corrente;
- Os anodos são sempre instalados em camas ou leitos, ligados ao positivo do retificador e normalmente envoltos com enchimento de coque metalúrgico moído;
- Os retificadores são instalados em locais criteriosamente escolhidos, em função das condições de distribuição de corrente, das disponibilidades de corrente alternada e da existência de locais adequados para a instalação das camas de anodos;
- Instalação de pontos de teste ao longo da linha, para as medições periódicas dos potenciais tubo/solo;
- Instalação de juntas de isolamento elétrico nas extremidades da tubulação, se necessário;
- Instalação de caixas de interligação elétrica com tubulações estranhas, se necessário;
- Instalação de dispositivos(s) de drenagem das correntes tubo/trilho, se a tubulação estiver influenciada por

correntes de interferência oriundas de estradas de ferro eletrificadas.

## 3 CONCLUSÕES

Mediante ao exposto concluiu–se que:

a) A proteção catódica por corrente impressa consiste em uma técnica eficiente à proteção contra corrosão e em instalações de tubulações de aço enterradas e estruturas metálicas em geral, tem uma boa funcionalidade quando os projetos são bem dimensionados e decorrentes de um estudo das informações de campo e levantamento de dados de medição e ocorrência de corrosão. Entretanto, não são satisfatórios para projetos de pequeno porte e baixo custo.

b) Sistemas onde não pode haver interrupções para a troca ou reparo em tubulações por conta de corrosão se torna indispensável o uso de uma proteção catódica de qualidade e também uma atenção especial para a operação e manutenção dos componentes da Proteção Catódica. O que implica em uma aplicação eficiente, no entanto, representa uma grande desvantagem ao considerar o custo de inspeção e manutenção.

c) Uma corrente elétrica específica imposta a uma estrutura metálica a protege por neutralizá-la contra os efeitos corrosivos existente nos diversos ambientes onde estas possam estar expostas.

## REFERÊNCIAS

DUTRA, Aldo C., NUNES, Laerce P. **Proteção catódica**: técnicas de combate à corrosão. 4. ed. ver.e amp. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

GOMES, Luiz P. **Sistema de proteção catódica**. Rio de Janeiro: IEC, 1995.

MELLO B. H., Renato. Proteção catódica. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA MECÂNICA CREEM, XXII, 2015. Campos dos Goytacazes. O efetivo combate a corrosão. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: Petrobras/UO-BC, 2015.

# VIABILIDADE ECONÔMICA DA MODERNIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE UMA PONTE ROLANTE DE SIDERURGIA

## ECONOMIC FEASIBILITY OF TECHNOLOGICAL MODERNIZATION OF A STEELRING WHEEL BRIDGE

Jakson Braz Siqueira[1]
Ruan Wagner Balmant[2]
Marco Antônio Gabriel[3]

**RESUMO:** Neste trabalho foi feita uma abordagem sobre os acionamentos aplicados em pontes rolantes. Todo o desenvolvimento deste trabalho foi norteado a partir de problemas apresentados “in loco”, apresentando todas as especificações necessárias para garantir o bom funcionamento da ponte rolante, atendendo assim às necessidades do processo e principalmente à segurança das pessoas que transitam próximo ao equipamento. As soluções apresentadas foram em função das especificações necessárias para atendimento ao processo. O presente estudo de caso obteve os ganhos necessários com a modernização tecnológica dos equipamentos que estão em operação há muitos anos e os componentes que já não são mais fabricados. Esta modernização trouxe inúmeras vantagens no processo final da produção. Devido a isso se fez necessário a otimização de registro da mesma.

**Palavras-chaves**: Modernização. Ponte rolante. Motores. Inversores de frequência.

1 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM)
2 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM)
3 Docente Mestre do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM)

**ABSTRACT:** In this work, an approach was made on the drives applied on cranes. All the development of this work was guided by problems presented “on the spot”, presenting all the necessary specifications to ensure the proper operation of the crane, thus meeting the needs of the process and especially the safety of people who transit near the equipment. The solutions presented were based on the specifications necessary to meet the process. The present case study obtained the necessary gains with the technological modernization of equipment that has been in operation for many years and components that are no longer manufactured. This modernization has brought numerous advantages in the final production process. Because of this it was necessary to optimize the registry of the same.

**Keywords:** Modernization. Crane. Engines. Frequency inverters.

## 1 INTRODUÇÃO

A partir do desenvolvimento de novas tecnologias para aplicação nas indústrias, os equipamentos que em sua época de fabricação atendiam com eficiência, hoje deixaram de ser fabricados, ficaram de fato obsoletos, tornando assim a necessidade de uma modernização tecnológica das instalações para garantir a perenidade do funcionamento dos equipamentos, e como consequência a estabilidade dos processos.

Em muitos casos, os equipamentos já se encontram em operação por muitos anos e não há mais peças disponíveis para substituição devido a sua descontinuidade produtiva, sendo necessárias constantes recuperações de equipamentos elétricos obsoletos, que mesmo após a recuperação, não apresentam mais as características originais de funcionamento, alterando seu desempenho, provocando constantes falhas e alto custo de manutenção. O esperado dentro das indústrias é que os equipamentos utilizados nos processos produtivos tenham disponibilidade adequada, de forma a não comprometer o processo, e que os custos de manutenção sejam adequados ao negócio.

Uma ponte rolante, está diretamente ligada ou processo e é utilizada em diversas atividades no ambiente fabril. Sua parada operacional tem capacidade de influenciar diretamente na disponibilidade do equipamento, ou seja, não se pode ocorrer falhas constantes, provocando perdas de produção e custo de manutenção elevado, comprometendo o resultado esperado do negócio.

Quando ocorre uma situação onde o resultado do negócio é afetado pela falha de um determinado equipamento, faz-se necessária uma intervenção, a fim de restabelecer as condições adequadas de operação e, em alguns casos, implantar melhorias que possibilitem um aperfeiçoamento no desenvolvimento do equipamento. Assim torna-se necessária uma modernização tecnológica para se manter a continuidade dos equipamentos em operação, possibilitando a realização de uma manutenção adequada e uma disponibilidade que atenda aos requisitos operacionais da produção e principalmente a confiabilidade do sistema em relação à segurança.

Quando se trata de equipamentos de içamento e movimentação de cargas, é necessária uma atenção especial para garantir o bom funcionamento do equipamento, seja quanto à preservação da estrutura mecânica do próprio equipamento, bem como à movimentação adequada da carga, possibilitando um posicionamento preciso e a segurança das pessoas que estão em sua proximidade.

Esta Ponte Rolante que passará pelo processo de modernização, não possui diagramas elétricos para análise em caso de falhas, dificultando muito o diagnóstico por parte dos técnicos de manutenção e, consequentemente aumentando o tempo de indisponibilidade do equipamento para o processo produtivo. Outro fator importante que não está em acordo com a Norma Regulamentadora (NR10) são os painéis elétricos com exposição dos barramentos elétricos, falta de travas para bloqueio efetivo e sem identificação dos próprios componentes.

Boa parte do custo de manutenção destinado a reparo está sendo gasto em recuperação das rodas deste equipamento, devido ao mau funcionamento do sistema de acionamento atual,

que possibilita na partida, uma torção da ponte em relação ao caminho de rolamento, o que provoca o desgaste prematuro da aba das rodas, tornando necessária à sua substituição.

Esta modernização tecnológica, será implantado inversores de frequência para os movimentos de translação da ponte, translação do carro e elevação e alteração dos motores de rotor bobinado para motores de indução trifásica (Rotor gaiola), onde a partida e frenagem do equipamento será de maneira controlada (suave) através de rampas de aceleração e desaceleração, minimizando os impactos na estrutura do equipamento, aumentando a vida útil dos componentes, inclusive das rodas da Ponte. Irá ser criado todo o diagrama dos painéis elétricos e todos os painéis estarão adequados de acordo com as Normas. Com esse sistema não terá intervenções periódicas para verificação de desgaste de escovas dos motores de rotor bobinado e substituição dos contatos dos contatores que sofrem desgaste por excesso de manobras.

### 1.1 OBJETIVOS

Avaliar tecnologicamente os componentes de acionamento de uma Ponte Rolante de 10T de um laminador em uma empresa siderúrgica. Propor métodos para reduzir o consumo de energia elétrica para o acionamento do motor com a utilização do inversor se comparado com outras formas de acionamento e assim aumentar a vida útil do inversor de frequência para conservação do equipamento. Esse procedimento teria como consequência minimizar a manutenção da ponte devido ao sistema obsoleto.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

### 2.1 PONTE ROLANTE

Segundo o site da Portogente (2016) as pontes rolantes são máquinas destinadas a içar cargas e “são grandes máquinas que funcionam como um guincho porém presas à uma viga elevada que permite com que o guincho elétrico possa se locomover na horizontal (eixo X e Y), facilitando a elevação da carga

no eixo Z (vertical).” As pontes tem sistemas necessários para seu funcionamento, são eles: sistema de translação da ponte, que movimenta a ponte no eixo X (frente e trás), translação do trolley (também conhecido como “carro”), que movimenta no eixo Y (direita e esquerda), e sistema de elevação, que movimenta o guincho no eixo Z (subir e descer).

### 2.1.1 Sistema de Comando

Importante ressaltar que o controle de pontes rolantes pode ser dado de vários modos, como o objetivo não é o estudo ou projeto de uma ponte rolante, mas o desenvolvimento de um projeto de modernização tecnológica. Para melhor compreensão segue explicação da função do sistema de comando em uma ponte rolante e uma descrição do modelo utilizado na Ponte Rolante referente ao trabalho.

O sistema de comando é responsável por comandar os movimentos de um determinado equipamento. No caso das pontes rolantes o sistema de comando atua sobre os movimentos de elevação, translação da Ponte e movimento do carro. Esses são os movimentos mais convencionais que existem em grande parte das Pontes Rolantes, mais também encontraremos acionamentos para eletroímã, elevação auxiliar, tenaz (Garra), carro auxiliar, talha auxiliar, entre outros, onde geralmente, é feito por três métodos:

#### 2.1.1.1 Comando por Botoeiras

Tipo de comando mais utilizados em Ponte Rolante de menor capacidade, neste tipo de comando os movimentos são dados por uma espécie de console com o conjunto de botões que variam de acordo com o modelo do equipamento, que por sua vez é conectada por cabo até o painel de comando que fica na ponte rolante. A botoeira fica pendente até altura de operação, geralmente suspensa por cabo de aço para garantir que não haja danos nos cabos elétricos durante a movimentação. Valido enfatizar que este tipo de comando, coloca o operador sempre muito próximo a carga, deixando o operador mais vulnerável ao risco com carga suspensa.

### 2.1.1.2 Comando por Cabine de Operação

Todos os comandos são concentrados em uma cabine de operação, o operador comanda a ponte rolante a distância. Nas cabines de operação os movimentos são dados a partir de manetes, uma espécie de “joystick” e torres de comando. Neste modelo de operação, sempre a uma necessidade de uma pessoa no piso de fábrica para sinalizar e apoiar no processo de içamento, devido à baixa visualização do operador que está no interior da cabine.

### 2.1.1.3 Comando por Controle Remoto (Rádio Controle)

O acionamento através de um controle remoto é o método aplicado na ponte em estudo. Desta forma é garantido a segurança do operador e das pessoas ao redor já que o operador tem mais facilidade para se locomover e “acompanhar” a carga diferente da situação de operação pela cabine onde sua visão é, muitas das vezes, limitada. Através do controle é possível realizar todos os comandos da ponte, desde os mais comuns até ao comando de parada de emergência e sirene, por exemplo.

## 2.2 MOTOR ELÉTRICO

Nesta etapa do trabalho tem-se a necessidade de expor as diferenças dos motores para que enfim possa-se compreender o processo do estudo de caso aqui citado. Salientando os conceitos variados de motores elétricos Petruzella (2013, p. 114) destaca que são “utilizados para converter energia elétrica e energia mecânica”. Esses motores funcionam “com base em magnetismo e correntes elétricas” acrescentando que “magnetismo é a força que produz a rotação do motor”. Ele ainda relata que “Alguns motores elétricos padronizados para aplicações de uso geral, enquanto outros são destinados a tarefas específicas” e são desses motores que este trabalho se baseia, desde que “sejam especificados para satisfazer os requisitos das máquinas sobre as quais eles são utilizados”. É de suma importância que seja considerado todos os aspectos do motor.

### 2.2.1 Motor com Rotor Bobinado

Em relação ao motor com rotor bobinado Franchi (2008, p. 21) se apresenta tendo" um enrolamento composto por três bobinas [...]", que:

> são ligadas normalmente em estrela, com os três terminais livres conectados a anéis deslizantes no eixo do rotor. Esses anéis permitem, por meio de escovas, a conexão de reostatos (resistores variáveis) no circuito das bobinas do rotor para manipular as características de partida, como, por exemplo, melhorar o conjugado de partida e diminuir o pico de corrente na partida. (FRANCHI, 2008, p. 21).

### 2.2.2 Motor de Indução com Rotor Gaiola Esquilo

O rotor é construído usando um determinado número de barras individuais curto-circuitadas nas extremidades por anéis e dispostas em uma configuração de roda de hamster ou gaiola de esquilo."

> Ele ainda relata que "quando a tensão é aplicada ao enrolamento do estator, um campo magnético girante é criado. Este campo magnético girante induz uma tensão no rotor; como as barras do rotor são essencialmente bobinas de espira única, isso provoca correntes nas barras do rotor. Estas correntes do rotor estabelecem seu próprio campo magnético, que interage com o campo magnético do estator para produzir um torque. O torque resultante gira o rotor no mesmo sentido de rotação do campo magnético produzido pelo estator. (PETRUZELLA, 2013, p. 133)

De forma simples, a tabela 1 apresenta a comparação entre as características destes dois tipos de motores.

Tabela 1: Comparação das Características dos Motores.

| Tipo de motor | Gaiola de esquilo | Rotor bobinado |
|---|---|---|
| Corrente de partida | Alta | Baixa |
| Conjugado de partida | Baixo | Alto |
| Conjugado máximo | > 160% do conjugado nominal | > 160% do conjugado nominal |
| Rendimento | Alto | Alto |
| Manutenção | Baixa | Alta devido aos anéis e às escovas |
| Custo | Baixo | Alto |

Fonte: MARTINEWSKI (2017).

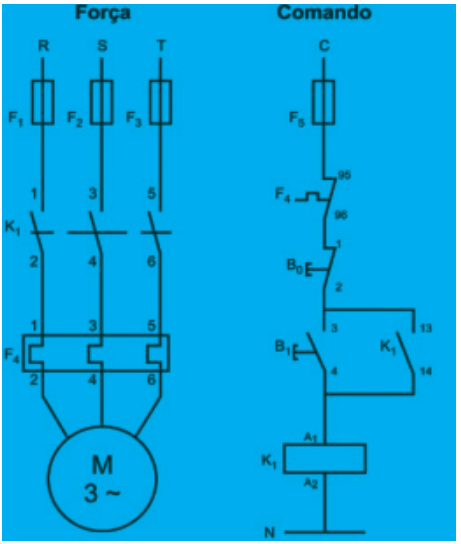
## 2.3 ACIONAMENTOS

### 2.3.1 Partida Eletromecânica

Anteriormente à modernização da ponte o acionamento utilizava partida direta com reversão. Segundo Franchi (2008. p. 154) “era a forma mais simples de partir um motor elétrico, na qual as três fases são ligadas diretamente ao motor, ocorrendo um pico de corrente”. A figura 1 apresenta um diagrama do princípio de acionamento elétrico desse equipamento.

> As vantagens da partida direta incluem menor custo se comparado a qualquer outra partida, facilidade de implementação e alto torque de partida.
>
> As desvantagens incluem: alta corrente de partida, podendo ocasionar queda de tensão na rede durante a partida, provocando possíveis interferências; os cabos precisam ser superdimensionados devido ao pico de alta corrente; e limitação do número de manobras por hora.” MARTINEWSKI, 2017, p. 133)

Figura 1: Diagrama elétrico de uma partida direta.




Fonte: MARTINEWSKI (2017).

A partida com reversão era necessária, já que o motor deveria rodar para ambos os sentidos (horário e anti-horário) de forma que possibilite a ponte movimentar-se para esquerda e direita, frente e trás, subida e descida do sistema de elevação.

### 2.3.2 Partidas Eletrônicas

Relacionado às partidas eletrônicas, as mais comuns são com a utilização de *softstarter* e com inversor de frequência. Sendo utilizada nesse projeto a últimas delas.

No Artigo do Aprendendo Elétrica (2019, p. 1) conceitua o inversor de frequência como sendo “um equipamento versátil e dinâmico que permitiu o uso de motores de indução para controle de velocidade em substituição aos motores de corrente contínua”.

> O método mais eficiente de controle de velocidade de motores de indução trifásicos, com menores perdas no dispositivo responsável pela variação da ve-

> locidade, consiste na variação da frequência da fonte alimentadora através de conversores de frequência, em que o motor pode ser controlado de modo a prover um ajuste contínuo de velocidade e conjugado com relação à carga mecânica. (FRANCHI, 2008, p. 196)

No caso da utilização de inversor de frequência em ponte rolante, há uma particularidade que é a necessidade de um sistema de frenagem devido a inércia da carga aplicada ao eixo do motor.

#### 2.3.2.1 Módulo de Frenagem

Segundo o site Tecnolog (2020) módulo de frenagem são dispositivos eletrônicos que "permitem a utilização de frenagem regenerativa em qualquer inversor de frequência, dissipando a energia gerada pelo motor nos resistores de frenagem". No caso de uma ponte rolante, em suas operações, é necessário a frenagem rápida dos motores de forma que, por exemplo, a carga (peso do material a ser içado pela ponte) não seja capaz de "arrastar-se" por mais uma certa distância ou tempo, isso devido necessidade de operação e, principalmente, por segurança. De acordo com a CSA (2020) o módulo de frenagem "é utilizado em aplicações que a carga possui grande inércia e que necessitam tempos curtos de frenagem. Também é utilizado em aplicações que necessitam de controle de velocidade da carga durante a descida. Nestes casos, a energia flui da rede para o motor."

> O motor se comporta como um pequeno gerador devolvendo energia elétrica ao inversor [...]. Este processo faz com que a tensão do barramento CC do inversor suba, e possa assumir valores acima do limite de segurança suportado pelo inversor. Em função disto, o inversor monitora o valor da tensão do barramento CC e sempre que esta ultrapassar os valores pré-definidos, ele gera um comando para um módulo extra, comumente chamado de "Braking Unit". Este

> tem por função comutar em paralelo com os capacitores do barramento CC, um resistor especial. Desta forma, toda energia "extra" é por ele desviada, e dissipada por efeito Joule. (WEB AUTOMAÇÃO, 2020)

#### 2.3.2.2 Resistor de Frenagem

De acordo com o Blog Ageon (2020) o "resistor de frenagem é um dispositivo elétrico passivo que pode ser utilizado em conjunto com o inversor de frequência para reduzir a velocidade do motor sem prejuízo aos equipamentos".

> "Os resistores de Frenagem são utilizados para dissipar a energia produzida pela frenagem regenerativa de motores alimentados por inversores de frequência." (TECNOLOG, 2020)

# 3 DESENVOLVIMENTO

## 3.1 DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS ELÉTRICOS

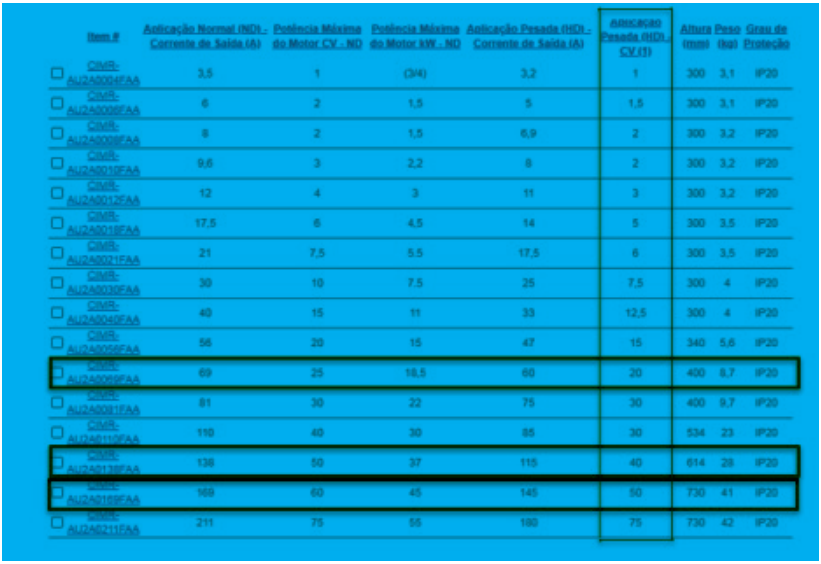
Os painéis elétricos que estavam em operação há muitos anos, concentravam o maior número de falhas no equipamento, e elevado tempo para reposição de função do equipamento, devido à falta de diagrama elétrico para realizar o diagnóstico, componentes elétricos obsoletos, cabos elétricos apresentando ressecamento e degradação em diversos pontos, falta de identificação dos componentes e cabos, e entre outros problemas corriqueiros. Diante da situação apresentada, foi realizado o levantamento das necessidades para especificação de novos painéis, juntamente com os inversores de frequência. Foi realizado o levantamento em campo e o fator determinante para a especificação do inversor, foi a potência de cada motor que seria acionado pelos inversores. Depois de obtida essas informações foram avaliadas na tabela 2 de aplicação no site do fabricante para determinar quais os inversores seriam utilizados. Baseado nas informações dos motores conforme demonstrado na tabela 1, os inversores de frequência foram definidos para aplicação conforme apresentado na figura 2.

Tabela 2: Potência dos novos motores.

| **Motores Indução Rotor Gaiola** | |
|---|---|
| Movimentos | Potência |
| Elevação | 40 CV - 6 P |
| Translação Ponte | 50 CV - 6 P |
| Carro | 20 CV - 6 P |

Fonte: Autores.

Figura 2: Dimensionamento dos inversores.



| Item # | Aplicação Normal (ND) - Corrente de Saída (A) | Potência Máxima do Motor CV - ND | Potência Máxima do Motor kW - ND | Aplicação Pesada (HD) - Corrente de Saída (A) | Aplicação Pesada (HD) - CV (1) | Altura (mm) | Peso (kg) | Grau de Proteção |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CIMR-AU2A0004FAA | 3,5 | 1 | (3/4) | 3,2 | 1 | 300 | 3,1 | IP20 |
| CIMR-AU2A0006FAA | 6 | 2 | 1,5 | 5 | 1,5 | 300 | 3,1 | IP20 |
| CIMR-AU2A0008FAA | 8 | 2 | 1,5 | 6,9 | 2 | 300 | 3,2 | IP20 |
| CIMR-AU2A0010FAA | 9,6 | 3 | 2,2 | 8 | 2 | 300 | 3,2 | IP20 |
| CIMR-AU2A0012FAA | 12 | 4 | 3 | 11 | 3 | 300 | 3,2 | IP20 |
| CIMR-AU2A0018FAA | 17,5 | 6 | 4,5 | 14 | 5 | 300 | 3,5 | IP20 |
| CIMR-AU2A0021FAA | 21 | 7,5 | 5,5 | 17,5 | 6 | 300 | 3,5 | IP20 |
| CIMR-AU2A0030FAA | 30 | 10 | 7,5 | 25 | 7,5 | 300 | 4 | IP20 |
| CIMR-AU2A0040FAA | 40 | 15 | 11 | 33 | 12,5 | 300 | 4 | IP20 |
| CIMR-AU2A0056FAA | 56 | 20 | 15 | 47 | 15 | 340 | 5,6 | IP20 |
| CIMR-AU2A0069FAA | 69 | 25 | 18,5 | 60 | 20 | 400 | 8,7 | IP20 |
| CIMR-AU2A0081FAA | 81 | 30 | 22 | 75 | 30 | 400 | 9,7 | IP20 |
| CIMR-AU2A0110FAA | 110 | 40 | 30 | 85 | 30 | 534 | 23 | IP20 |
| CIMR-AU2A0138FAA | 138 | 50 | 37 | 115 | 40 | 614 | 28 | IP20 |
| CIMR-AU2A0169FAA | 169 | 60 | 45 | 145 | 50 | 730 | 41 | IP20 |
| CIMR-AU2A0211FAA | 211 | 75 | 55 | 180 | 75 | 730 | 42 | IP20 |

Fonte: YASKAWA.

Por se tratar de aplicação em Ponte Rolante especifica-se a aplicação pesada de equipamento de içamento de carga. Foi

definida como estratégia interna, que seria realizado a aquisição de dois modelos do inversor AU2A0169FAA (Ponte), e não um deste modelo e um AU2A0138FAA (Elevação), assim sendo, estaria adquirindo um sobressalente que atenderia nos dois movimentos, o inversor estava sobre dimensionado, não apresentando problema algum em relação ao comportamento do equipamento. Baseado nas informações dos inversores e motores foi realizado toda a parte de comando e interface dos painéis elétricos, respeitando as normas e garantindo toda seletividade do circuito e entregue o diagrama elétrico completo, item importantíssimo que o equipamento não possuía.

## 3.2 SUBSTITUIÇÃO DOS MOTORES

Os motores que estavam em operação do tipo rotor bobinado, já estava em operação há muitos anos e com histórico de reparo altíssimo, fazendo com que os cuidados em relação à manutenção fossem maiores em relação às medições de resistência de isolamento, limpeza frequente, lubrificação, avaliação do porta escova e pressão de suas molas, cabos de alimentação do estator e condições dos bancos de resistência. A tabela 3 apresenta as características dos motores antigos. O motor do sistema de elevação já não possuía sobressalente, pois o mesmo havia sido condenado pelo fornecedor pela impossibilidade de recuperação do Pacote magnético (diversos reparos), ficando com o equipamento totalmente vulnerável em caso de uma ocorrência neste motor. Mesmo com todos os cuidados ainda apresentava inúmeras falhas correlacionadas aos motores e quando foi iniciado o processo para aquisição de motores sobressalentes, o mercado de fabricação de motores já não está vendendo mais motores de rotor bobinado, comercialmente não é mais viável, dificultando ainda mais a permanência deste modelo de motor e impulsionando ainda mais a aquisição de motores de rotor gaiola para a modernização tecnológica do equipamento. Realizado uma pesquisa de mercado em relação ao custo e qualidade e ficou definido a aquisição dos motores WEG (2020). Realizado o contato com a equipe de engenharia da empresa para especificar os motores de indução gaiola que iriam substituir os motores com rotor bobinado.

Tabela 3: Características dos motores antigos.

| Motores Rotor Bobinado PR | |
|---|---|
| **Movimentos** | **Potência** |
| Elevação | 18 KW |
| Translação Ponte | 27 KW |
| Carro | 8,7 KW |

Fonte: Autores.

A Weg (2020) por ter sido fabricante de motor de rotor bobinado por muitos anos (atualmente não fabrica mais deste tipo), possui uma tabela que chamam de “DEPARA” que já traz os dimensionamentos dos motores afim de realizar a troca de motores do tipo “motor com rotor bobinado” para “motor com rotor gaiola de esquilo”, levando em consideração os itens citados a baixo:

1 - Conjugado de partida do motor;

2 - Dissipação térmica (Carcaça);

3 - Torque máximo do motor.

Vale ressaltar que, ao realizar a troca, as potências dos novos motores podem ser mais elevadas por características e necessidades comerciais. Onde se faz necessário o aumento da potência para que o motor tenha funcionamento pleno. Resultando nos motores com a potência conforme tabela 4 a seguir:

Tabela 4: Potência dos novos motores

| Motores Rotor Bobinado PR | |
|---|---|
| **Movimentos** | **Potência** |
| Elevação | 40 CV - 6 P |
| Translação Ponte | 50 CV - 6 P |
| Carro | 20 CV - 6 P |

Fonte: Autores.

## 3.3 ANÁLISE DE FALHAS

Realizou-se estudo dos números de falhas que aconteceram no equipamento nos últimos três anos (2017-2019). O levantamento foi feito mediante as Ordens de Manutenção Corretivas/ Emergenciais geradas no sistema SAP, que é o sistema utilizado pela empresa para criação de Ordens de Manutenção, e conversas/entrevistas realizadas com os Técnicos de manutenção de Ponte Rolante que tem em média 12 anos de experiência de manutenção em equipamentos de elevação de carga. Se tratando deste equipamento, ainda existia o agravante de não possuir diagrama elétrico, que se torna um fator fundamental no diagnóstico do problema.

A partir deste estudo identificamos que a maior parte do tempo consumido para normalizar o ativo após uma falha é na sua detecção, e menor parcela destinada a correção. Apresentando em números, estima-se que em média 70% do tempo de uma parada é dedicado à identificação da falha, e conforme informado pelos Técnicos da equipe de manutenção, esses números são justificados pela ausência de dados do equipamento que antecederam a falha em questão. (Informação precisa do operador e diagrama elétrico).

No processo de diagnóstico das falhas, inicia-se no relato da operação, que em sua grande maioria, não possui conheci-

mentos técnicos sobre o equipamento e normalmente limitam as informações com receio de ter tido influência.

Quando os relatos não são suficientes, a equipe de manutenção realiza testes no equipamento em falha, porém, dependendo do potencial da ocorrência, não conseguem dar segmento na análise. Essa dinâmica de manutenção acabou desenvolvendo uma equipe de manutenção com perfil corretivo, ou seja, a equipe se especializou em regularizar o ativo após a ocorrência de uma determinada falha, deixando de lado conceitos da manutenção preventiva e preditiva, que são fundamentais para uma atividade de manutenção eficiente, assertiva e econômica.

A partir dos dados levantados no sistema sobre as falhas do equipamento foi registrado um total de 87 ocorrências de manutenção que causaram perda de disponibilidade do equipamento, média de 29 falhas por ano. Demonstra que a cada 12,58 dias a Ponte Rolante apresenta uma falha. A figura 3 apresenta a distribuição das falhas que ocorreram nos últimos três anos. Ela demonstra o número de ocorrências registradas. A figura 4 apresenta os equipamentos que apresentaram falhas.

Figura 3: Número de falhas da ponte rolante referência.




Fonte Autores.

Figura 4: Tipos de Falhas.




Fonte: Autores.

Nem todas as 87 falhas registradas desde 2017 resultaram em perda de produção no Laminador, isso ocorre, devido à possibilidade de falha ocorrer em local fora da área de remoção do produto acabado, podendo ser solicitado o atendimento a produção por Pontes Rolantes adjacentes. Por esse motivo se faz a distinção entre falhas que provocam perda de produção, e falhas que afetam a disponibilidade do equipamento, conforme apresentado na figura 5.

Figura 5: Parada de produção X Perda de disponibilidade.




Fonte: Autores.

O tempo de parada do equipamento resultante das 87 falhas também é dividido em paradas que causaram impacto direto no processo produtivo e paradas que provocaram a perda de disponibilidade do equipamento, conforme apresentado na tabela 5. A equação 01 apresenta o cálculo da quantidade de dias parados.

Tabela 5: Total de horas paradas.

| Ano | 2017 | 2018 | 2019 | Total em horas |
|---|---|---|---|---|
| Perda de Produção | 13,7 | 9,18 | 11,6 | 34,48 |
| Perda de disponibilidade | 103,1 | 97,3 | 114,6 | 315 |
| Total em horas | 116,8 | 106,48 | 136,2 | 349,48 |

Fonte: Autores.

$$E_P = \frac{349{,}48\ h}{24\ h} = 14{,}56\ dias \quad \textbf{(01)}$$

Onde:

Ep = Dias de Equipamento Parado.

O equipamento ficou parado 14,56 dias, dado relevante para um equipamento que operação 24 horas por dia. Como o objetivo do trabalho não é a elaboração de um plano de manutenção é relevante destacar o conceito de MTTR, onde MTTR = Tempo médio necessário para o restabelecimento da função.

### 3.4 ESTIMATIVA DOS GANHOS E IMPACTO ECONÔMICO

Observou-se que em média, 70% do tempo de uma parada está relacionado à identificação da falha. Por exemplo, se uma parada durou 60 minutos, 42 minutos foram gastos para identificar a origem da falha e 18 minutos para a execução do reparo necessário para recuperação da condição do equipamento. O tempo de recuperação é relativamente curto devido à simplicidade mecânica e elétrica do sistema em questão, e também pelo estoque de segurança de sobressalentes estabelecido pela empresa parceira. Dessa forma, a estimativa dos ganhos será pautada na otimização da atividade de manutenção mediante a utilização do IHM (Interface homem maquina), que registra as falhas apresentadas no inversor e diagrama elétrico, com os cabos e componentes dos painéis todos com identificação, sendo assim, o projeto proposto impactará diretamente no tempo de reparo do equipamento (MTTR) e a partir das melhorias implantadas, estima-se uma redução de 60% do tempo de identificação da falha, o que diminuirá o tempo de recuperação do equipamento de 60 minutos para 25,2 minutos, uma melhoria de 42% do MTTR do equipamento. Realizando a conversão do ganho obtido no MTTR para as paradas que resultaram em perda de produção, estima-se uma redução de 42% do prejuízo

ocasionado pela parada no processo produtivo, em relação ao atual tempo de reparo do equipamento.

O Laminador tem capacidade de produção de 27,8 toneladas/hora, e desde que as paradas começaram a ser registrado para o estudo, o equipamento impactou na produção 11,49 horas (Média dos 3 últimos anos). Sabendo que o preço do produto em tonelada/hora é de R$9.889,38, a ponte rolante referência provocou, no mínimo, um prejuízo de R$ 3.158.866,82 à empresa. Se a atualização tecnológica já tivesse sido implementada, poderiam ter sido economizados R$1.064.041,025, valores significativos quando expandidos às demais pontes rolantes relacionadas aos processos produtivos.

Considerando os atuais índices de manutenção, as paradas que resultaram em perda de produção têm duração média de 1,20 horas, custando R$329.909,72 cada parada, ou seja, é necessária apenas uma parada para pagar o investimento de R$218.782,00 do projeto proposto, e ainda retornar um lucro de R$111.127,00 à empresa parceira. As equações de 02 a 08 apresentam os cálculos efetuados.

$$Tx_1 = \frac{42\ min}{60\ min} = 0{,}7 * 100 = 70\% \quad \textbf{(02)}$$

$$Tx_2 = \frac{25{,}2\ min}{60\ min} = 0{,}42 * 100 = 42\% \quad \textbf{(03)}$$

$$Ep_{médio} = \frac{(13{,}7 + 9{,}18 + 11{,}6)h}{3} = 11{,}49h \quad \textbf{(04)}$$

$$If_1 = 11{,}49[h] * 27{,}8\left[\frac{t}{h}\right] * [R\$9.889{,}38] = \text{R\$ } 3.158.866{,}82 \quad \textbf{(05)}$$

$$If_2 = 1{,}20[h] * 27{,}8\left[\frac{t}{h}\right] * [R\$9.889{,}38] = \text{R\$}329.909{,}72 \quad \textbf{(06)}$$

$$Lc = \text{R\$}329.909{,}72 - \text{R\$}218.782{,}00 = \text{R\$}111.127{,}00 \quad \textbf{(07)}$$

$$Ec = \text{R\$}111.127{,}00 * (\frac{11{,}49}{1{,}20}) = \text{R\$}1.064.041{,}025 \quad \textbf{(08)}$$

Onde:

Tx1: Taxa média para identificação das falhas (antes da intervenção);

Tx2: Taxa média para identificação das falhas (após a intervenção);

$Ep_{médio}$: Tempo de Parada do Equipamento Médio com Impacto na Produção;

$If^1$: Impacto Financeiro (antes da Intervenção);

$If^2$: Impacto Financeiro (após a intervenção);

Cp: Custo do Projeto;

Lc: Lucro após a intervenção;

Ec: Economia gerada prevista.

Finalizou-se a análise de viabilidade econômica e estimativa dos ganhos obtidos a partir do projeto proposto por estre trabalho. Pôde-se dizer que além de aumentar a segurança relacionada à operação do equipamento através de técnicas de controle e comandos mais precisos e confiáveis, este projeto também impacta diretamente nos índices de manutenção, e consequentemente, impactando financeiramente na linha de produção, sendo esse último impacto que rege qualquer indústria, independente do porte ou ramo econômico.

## 4. CONCLUSÕES

Diante da Modernização tecnológica demonstrada neste trabalho, apresentamos os sistemas de acionamento mais utilizados em Pontes Rolantes e em qual desses sistemas é possível se obter resultados mais satisfatórios, em relação à manutenção dos equipamentos, disponibilidade desta Ponte Rolante para área operacional, ao custo de manutenção e a operação mais

adequada para o processo de produção. Com a decisão de utilizar inversores de frequência com motores do tipo gaiola de esquilo, colocamos em evidência como destaque a manutenção e operação do equipamento Ponte Rolante.

A manutenção dos sistemas com os motores de rotor bobinado requer tempo e frequência maiores de parada para manutenção, quando comparado com motores do tipo gaiola de esquilo, devida necessidade de avaliação de desgastes de escovas, fixação de porta escovas e superfície dos anéis, havendo uma maior possibilidade de inserção de defeito durante intervenções.

Com o uso de motores acionados por inversores de frequência, a manutenção limitasse basicamente à limpeza e monitoramento dos equipamentos, sem a necessidade de intervenções de montagem e desmontagem. Com isso, o tempo entre manutenções é maior, aumentando a disponibilidade e confiabilidade do equipamento, ainda mais se tratando de um equipamento de içamento de cargas. Em relação ao custo de manutenção, teremos uma redução significativa, minimizando o desgaste de equipamentos como: freios, acoplamentos, redutores, rodas, partida/parada mais suaves e a estabilidade da ponte no caminho de rolamento, que pode ser obtida com os acionamentos por inversores de frequência. É possível concluir que a vida de cada equipamento pode ser aumentada significativamente diminuindo o custo de manutenção.

Os objetivos com a implantação foram alcançados, sendo que, está comprovado que o sistema ganhou confiabilidade de manutenção, com o controle por rampas de aceleração/desaceleração geramos aumento da vida de todos os componentes mecânicos, estruturais e elétricos, além de baixo desgaste dos componentes eletromecânicos do equipamento. Garantindo assim, um bom desempenho do equipamento e consequentemente não gerando interrupção no processo por falha no equipamento.

## REFERÊNCIAS


COMO funciona um inversor de frequência? **Aprendendo Elétrica**, 2019. Disponível em: https://aprendendoeletrica.com/como-funciona-um-inversor-de-frequencia/#:~:text=O%20inversor%20de%20frequ%C3%AAncia%20%C3%A9,aos%20motores%20de%20corrente%20cont%C3%ADnua.&text=Ao%20variar%20a%20frequ%C3%AAncia%20da,do%20motor%20pode%20ser%20alterada. Acesso em: 11 jun. 2020.

CUNHA, José Thiago da. **Estudo do desgaste de rodas de pontes rolantes utilizadas em siderurgia**. Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Fortis Kwietniewski. 2012. 87 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais., Porto Alegre, 2012. Disponível em: http://hdl.handle.net/10183/75753. Acesso em: 16 jul. 2020.

CONTROLE remoto ponte rolante. **Delta Mobilidade Industrial.** Disponível em: http://www.deltapontesrolantes.com.br/controle-remoto-ponte-rolante.php#:~:text=O%20controle%20remoto%20ponte%20rolante,mesmo%20com%20uma%20longa%20dist%C3%A2ncia. Acesso em: 23 jun. 2020.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos**. 4. ed. São Paulo: Érica Ltda., 2008. 250 p.

GUEDES, Manuel Vaz. **O motor de indução trifásico**: Seleção e aplicação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, p. 1-2, 1 nov. 1994. Disponível em: https://library.e.abb.com/public/3203709881b14fe1b29c2f729deb331f/Artigo_Jesuino.pdf. Acesso em: 10 jun. 2017.

INVERSORES de Frequência. **Blog Ageon Electronic Controls**, 28 nov. 2019. Disponível em: https://blog.ageon.com.br/resistor-de-frenagem-e-inversor-de-frequencia/. Acesso em: 23 jun. 2020.

JESUINO, Fernando. Motores trifásicos assíncronos. **ABB Ltda**. - Produtos de Baixa Tensão, [, 28 nov. 2019. Disponível em: https://library.e.abb.com/public/3203709881b14fe1b29c2f-729deb331f/Artigo_Jesuino.pdf. Acesso em: 10 jun. 2017.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção:** função estratégica. 3. Ed. Rio de Janeir: Qualitymark, 2010.

MARTINEWSKI, Alexandre. **Máquinas elétricas**: motores, geradores e partidas. São Paulo: Érica, 2017. 160 p. ISBN 8536517514, 9788536517513.

MATTEDE, Henrique. Motor trifásico: como funciona e qual sua aplicação? **Mundo da Elétrica**. Disponível em: https://www.mundodaeletrica.com.br/motor-trifasico-como-funciona-e-qual-sua-aplicacao/. Acesso em: 11 jun. 2020.

MÓDULO de frenagem autônomo. **CSA Automação**, 06 out. 2016. Disponível em: https://csaautomacao.com.br/store/modulo-de-frenagem-autonomo-dbw030380d3848sz-weg-cfw700.html. Acesso em: 23 jun. 2020.

MÓDULOS de Frenagem LS Industrial Systems. **Tecnolog**, 24 jun. 2020. Disponível em: http://www.tecnolog.ind.br/automacao-e-controle/264-modulos-de-frenagem-ls-industrial-systems.html. Acesso em: 23 jun. 2020.

NASCIMENTO JUNIOR, Geraldo Carvalho do. **Máquinas elétricas**: teorias e ensaios. 4. ed. rev. São Paulo: Érica, 2011. ISBN 978-85-365-0126-0.

O QUE é uma ponte rolante**. Mecânica Industrial**. Máquinas e equipamentos. Disponível em: https://www.mecanicaindustrial.com.br/570-o-que-e-uma-ponte-rolante/. Acesso em: 27 out 2019.

PETRUZELLA, Frank D. **Motores elétricos e acionamentos**. Tradução: José Lucimar do Nascimento. Porto Alegre: AMGH 2013. 498 p. v. Série Bookman. ISBN 978-85-8055-258-4.

PONTE rolante. **Portogente**, 2016. Disponível em: https://portogente.com.br/portopedia/75732=-ponte-rolante#:~:text-As%20pontes%20rolantes%2C%20por%20defini%C3%A7%-C3%A3o,no%20eixo%20Z%20(vertical). Acesso em: 12 jun. 2020.

PONTE rolante. **Tongsis**: projetos especiais, soluções inteligentes, Guarulhos, Disponível em: http://www.tongsis.com.br/controle-remoto/ponte-rolante. Acesso em: 12 jun. 2020.

REZEK, Ângelo José Junqueira. **Fundamentos básicos de máquinas elétricas**: teoria e ensaios. Itajubá: Acta, 2011. xix, 123 p. Inclui bibliografia; il. tab. quad.; 24cm. ISBN 9788561325695.

SILVA, José Carlos Teixeira da. Tecnologia: novas abordagens, conceitos, dimensões e gestão. **Prod.**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 50-63, 2003. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-65132003000100005.. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132003000100005&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 11 jun 2020.

TORREIRA, Raul Peragallo. Manual básico de motores elétricos. São Paulo: Antenna, 2000.

# ANÁLISE DE REPOTENCIAÇÃO DE UNIDADE GERADORA HIDRELÉTRICA

## REPOTENTIAL ANALYSIS OF A HYDROELECTRIC GENERATING UNIT

Mário Luiz Teixeira Salazar[1]
Nelson Correa da Silva Junior[2]
Roger Braga de Azevedo[3]
Marco Antônio Gabriel[4]

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta um estudo de caso para repotenciação de unidade geradora síncrona de uma usina hidrelétrica do Estado do Rio de Janeiro. Este objetiva-se fornecer subsídios para apresentação de proposta de retrofit, utilizando os conhecimentos em engenharia elétrica para designar o processo de modernização e reforma da unidade geradora. Como parte do escopo apresentou-se a substituição de 1 (um) estator completo, recuperação com de isolação dos 10 polos de campo do gerador, fornecimento de novo sistema de resfriamento e todos os demais equipamentos/materiais como sensores de temperatura e outros dispositivos que se façam necessários para execução dos serviços para uma modernização.

**Palavras-chave:** Repotencialização. Unidade geradora síncrona. Usina hidrelétrica.

1 Discente do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Discente do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
4 Docente Mestre do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**ABSTRACT:**The present work presents a case study for the repowering of a synchronous generating unit of a hydroelectric plant in the State of Rio de Janeiro. This aims to provide subsidies for the presentation of a retrofit proposal, using the knowledge in electrical engineering to designate the modernization and reform process of the generating unit. As part of the scope, the replacement of 1 (one) complete stator, recovery with isolation of the 10 generator field poles, supply of a new cooling system and all other equipment/materials such as temperature sensors and other devices that presented necessary for the execution of services for modernization.

**Keywords:** Repowering. Synchronous generating unit. Hydroelectric plant.

## 1 INTRODUÇÃO

Energia elétrica é a base do processo e da civilização contemporânea. Desde a antiguidade, o homem tem por artifício produzir energia a partir da queima de combustíveis fósseis, como: carvão, madeira, gás e petróleo. Depois dos anos 70, o medo com a carência das reservas naturais estimulou o nascimento de novas tecnologias e eficiência do uso da energia elétrica, contudo, ainda pouco para fornecer alternativas práticas e econômicas análogas à queima de combustíveis fósseis e vegetais.

Para entender o processo de geração de energia, deve-se ter em mente que: Energia não pode ser criada nem destruída. Energia só pode ser transformada. A ocorrência de qualquer fenômeno físico só é possível com a transferência de energia de um meio para outro. Sendo assim, as tecnologias para a geração de energia consistem em artefatos que transferem a energia armazenada de uma forma em outra. A criatividade do ser humano possibilitou o advento de inúmeras invenções para proporcionar a conversão de energia. Com a crescente industrialização e difusão do comércio, foram adotadas as tecnologias que possibilitavam a produção de energia em larga escala, sem ser dada atenção especial à possibilidade de escassez dos recursos na-

turais e a degradação do meio ambiente. Desse modo, desde a Revolução Industrial até os dias atuais, são empregadas praticamente as mesmas tecnologias, das quais podemos destacar o dispositivo que converte energia em larga escala:

As hidroelétricas utilizam como fonte primária, a energia cinética e/ou potencial armazenada em grandes volumes de água. Esta energia não é convertida diretamente em eletricidade. Inicialmente, a energia hidráulica é convertida em energia mecânica a partir de um eixo de rotação, por intermédio de uma turbina hidráulica. A turbina é acoplada a um gerador elétrico. Ao acionar mecanicamente o eixo do gerador, é produzida eletricidade. As propriedades físicas, geográficas e a ampla disponibilidade de portas hídricas no Brasil, foram decisivas para que o Brasil fosse hoje, o terceiro maior potencial hidráulico do planeta. Em adjacências absolutas, os cinco maiores produtores desse tipo de energia são Canadá, China, Brasil, Estados Unidos e Rússia (CERPCH, 2011).

A energia hidráulica é fruto através da força da circulação das águas. Para que possa ser possível, há determinados fatores que influenciam na geração de energia elétrica. Os principais fatores de influência são: a vazão do rio, a quantitativo disponível de água em durante o ano, a topografia, mudanças naturais, como quedas d'águas, ou criadas artificialmente (ANEEL, 2008). As usinas hidrelétricas são combinadas, basicamente, por barragem, casa de força, vertedouro e sistema de captação e adução de água, sendo que trabalham em conjunto e de caráter integrado. A barragem atravessa o curso normal do rio e muda para um determinado local constituindo grandes reservatórios, que armazenam a água e permitem a formação de amplas quedas. Estas produzem força, que é aproveitada para movimentar turbinas e acionar o gerador elétrico (PANZERA; GOMES; MOURA, 2010).

A casa de força concentra os equipamentos eletromecânicos responsáveis pela fabricação de energia, como, por exemplo, a turbina e o gerador. O vertedouro é o órgão de segurança da represa, tem a função descarregar toda a água não utilizada para geração. Ou seja, o excesso de água acumulada em um

reservatório de uma barragem, é extravasado de forma segura por um canal ou túnel, de montante para a jusante. O sistema de adução deverá projeta a condução da descarga necessária para fornecer a potência que atenda à demanda máxima da Usina.

### 1.1 OBJETIVOS

Os objetivos desse trabalho foram: analisa o desempenho do gerador desta Usina, através dos resultados obtidos após realização dos ensaios preliminares para a elaboração do projeto elétrico de *retrofit.* Realizar de estudos sobre o funcionamento do Gerador Síncrono, ou seja, efetivamente conhecer a conversão da energia mecânica aplicada no seu eixo, produzindo no enrolamento de campo localizado no rotor da unidade geradora uma fonte de tensão contínua de forma que, ao girar, o campo magnético gerado pelos polos do rotor tenha um movimento relativo aos condutores dos enrolamentos do estator.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

### 2.1 ENERGIA HIDRÁULICA

Segundo Bortoleto (2001), a energia hidráulica prove da condensação, precipitação e evaporação das águas, fatores estes causados pela irradiação solar e pela energia gravitacional, sendo estes os responsáveis pela geração de energia hidráulica. As usinas hidrelétricas têm a capacidade de produzir energia cinética em energia elétrica a partir da aplicação do movimento das águas.

Segundo o Atlas Nacional de Energia Elétrica, publicado pela Agência Nacional de Energia Elétrica 2002, uma das primeiras formas de substituir o trabalho animal pelo maquinal, foi através do arqueamento de água para a trituração de grãos. Que tinha como benefício a ampla disponibilidade de recursos, o simples acesso, o aproveitamento, e especialmente renovável. Nos anos de 1960, com o objetivo de desenvolver políticas de inaugurar grandes planos hidrelétricos, desenvolveu-se a Eletrobrás (Centrais elétricas Brasileiras SA), responsável por

concepções hidrelétricas como Sobradinho, Balbina, Itaipu Binacional e Itaparica. A Eletrobrás, ao desenvolver seu papel de holding, atribuiu tarefas de execução de projetos de geração de energia a algumas subsidiárias.

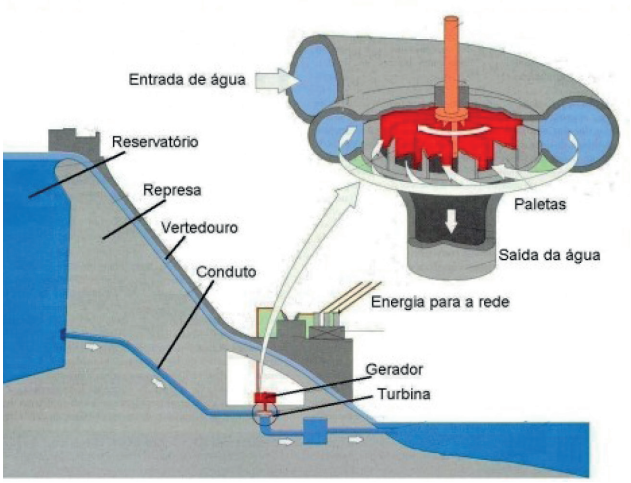
## 2.2 ESTRUTURA DE UMA USINA HIDRELÉTRICA

O processo de uma usina hidrelétrica funciona de maneira coesa e em conjunto, é formada principalmente, pelo processo de captação e adução d'água, pela barragem e pela casa de força e vertedouro. A função da barragem é impedir o curso normal da água, surgindo um reservatório, onde será acumulado a água. Além de conter água, este reservatório também permite que a vazão dos flúmenes seja adequada, tanto em períodos chuvosos, quanto de estiagem, o aproveito da chuva em volume adequado e uma diferença de altura que PE necessária para a geração da energia hidráulica (ANEEL, 2005).

Segundo Oliveira (2009), as usinas hidrelétricas que não possuem reservatório, ou o possuem em dimensões menores, são "hidrelétricas a fio d'água", os seja, este tipo de hidrelétrica utiliza a rapidez das águas dos rios, para produzir energia. A carência de reservatório faz com que em ocasiões de seca, seja amortizada a capacidade energética produzida pela hidrelétrica, ou em determinados casos, seja desativada em alguns períodos do ano. Os procedimentos de proveito e adução se dão por túneis, canais ou adutoras, que levam a água até a casa de força. Na casa de força estão localizadas as turbinas, compostas por uma série de pás unidas ao eixo, sendo que este está integrado ao gerador. Com ação que pode chegar a 90%, as turbinas hidráulicas são presentemente as formas mais eficientes de convertimento de energia primária em energia secundária, conforme demonstrado na figura 1. As turbinas alterar-se energia cinética, originada da circulação das águas em energia elétrica, durante a oscilação giratória das turbinas, que interligadas aos geradores produzirão energia elétrica. Após passar pelas turbinas, a água é devolvida ao seu leito natural do rio, através do canal de fuga (CICOGNA, 2003). Segundo o Atlas Nacional de Energia Elétrica, publicado pela Agência Nacional

de Energia Elétrica (ANEEL) em 2008, o vertedouro, cuja finalidade é permitir a saída de água quando os reservatórios estiverem com os níveis acima do recomendado. O que ocorrer devido ao grande volume de chuva, ou vazão. O grande volume de água nos reservatórios é importante para geração de energia é outro motivo para a abertura dos vertedouros. Em estações chuvosas, o vertedouro é aberto para impedir enchentes nas áreas mais baixas. Podem-se definir vertedouros, como dique ou aberturas as quais a água em excesso corre. Pode ser aplicado também aos extravasores das represas ou aos obstáculos das correntes de água (FERNADEZ; ARAUJO; ITO; 2009).

Figura 1: Esquema funcionamento de uma usina hidrelétrica.




Fonte: Infoescola.

## 2.3 MÁQUINAS SÍNCRONAS

As máquinas síncronas constituem uma das famílias de máquinas elétricas mais importantes. Os geradores síncronos produzem a maior parte da energia elétrica consumida no mundo. Os motores síncronos por sua vez são muito utilizados, tanto pela característica de possuírem uma velocidade constante em função da frequência, como pela característica, também comum

aos dois modos de funcionamento, do seu fator de potência regulável. Segundo o vocabulário eletrotécnico internacional, “uma máquina síncrona é uma máquina de corrente alternada na qual a frequência da tensão induzida e a velocidade possuem relação constante”. A sua velocidade de rotação é por esse motivo designada “velocidade síncrona” e é dada de acordo com a equação 01.

$$n = \frac{120 \times f}{p} \qquad \textbf{(01)}$$

Onde:

n= velocidade síncrona, expressa em rotações por minuto (rpm);

f = frequência, expressa em hertz (Hz);

p= número de pares de polos.

A tabela 1, a seguir, fornece velocidade síncrona em rpm de uma máquina (motor ou gerador) de acordo com o número de polos e a frequência.

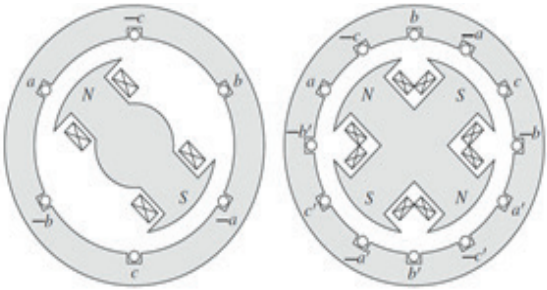
Tabela 1: Velocidade síncrona para uma dada frequência e número de polos.

| Frequência (f) | Número de polos | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| 25 Hz | 1500 rpm | 750 rpm | 500 rpm | 375 rpm | 300 rpm | 250 rpm |
| 50 Hz | 3000 rpm | 1500 rpm | 1000 rpm | 750 rpm | 600 rpm | 500 rpm |
| 60 Hz | 3600 rpm | 1800 rpm | 1200 rpm | 900 rpm | 720 rpm | 600 rpm |

Fonte: Autores.

Uma máquina síncrona é aquela na qual uma corrente alternada flui no enrolamento de armadura e um fluxo CC de rotor é produzido por uma excitação CC no enrolamento de campo ou por ímãs. O enrolamento de armadura está quase invariavelmente no estator e em geral é trifásico (FITZGERALD, A. E., 1975). A figura 2 mostra a construção de um rotor cilíndrico, que é usada para turbo geradores de dois e quatro polos.

Figura 2: Vistas esquemáticas de geradores trifásicos: (a) dois polos e (b) quatro polos.




Fonte: UMANS (2019).

A potência CC necessária para excitar o enrolamento de campo de uma máquina síncrona – indo de aproximadamente um até uns poucos por cento dos valores nominais da máquina síncrona – é fornecida pelo sistema de excitação. No caso de uma máquina síncrona com ímãs permanentes, não há necessidade de potência para excitar o fluxo CC do rotor e, portanto, há potencial para aumentar a eficiência da máquina. Entretanto, há um custo porque a excitação com ímãs não permite ajustar a intensidade do fluxo CC no rotor em resposta às condições de operação da máquina. Em máquinas mais antigas, a corrente de excitação era muitas vezes fornecida por meio de anéis deslizantes a partir de uma máquina CC, conhecida como excitatriz que frequentemente era montada no mesmo eixo da máquina síncrona

Em sistemas mais modernos, a excitação é fornecida a partir de excitatrizes CA e retificadores de estado sólido (tanto pontes

simples a diodos como retificadores de fase controlada). Em alguns casos, a retificação ocorre na parte estacionária da máquina e a corrente de excitação é fornecida ao rotor por meio de anéis coletores. Em outros sistemas, conhecidos como sistemas de excitação sem escovas, o alternador da excitatriz CA está no rotor, assim como o sistema de retificação, e a corrente é fornecida diretamente ao enrolamento de campo sem a necessidade de anéis coletores

## 2.4 GERADORES SÍNCRONOS

Os geradores síncronos são equipamentos geralmente destinados ao fornecimento de energia elétrica. Para o consumidor duas grandezas principais definem a qualidade do fornecimento, sendo elas, a frequência e a tensão. Essas grandezas devem ser mantidas dentro de certos limites considerados como satisfatórios para que os equipamentos a serem alimentados possam operar continuamente, sem que ocorram danos devido a variações de tensão e frequência. (KOSOV; IRVING L., 1996).

Isso é feito por um gerador CA, cujo objetivo é converter uma energia mecânica em elétrica. Quando ele está em operação, ele é acionado por uma máquina primária que produz força motriz através de turbina hidráulica, turbina a gás, turbina a vapor ou um motor alternativo, movidas pela energia presente na pressão de vapor, vento, água, ondas do mar, gás, diesel, etc.

Dessa forma, existem dois tipos de controle que funcionam em função de manter as grandezas pertinentes a geração de energia elétrica, dentro dos limites regidos por normas, que são o regulador de velocidade e o regulador de tensão, onde os dois tipos de controles dependem um do outro, de forma que é gerada uma tensão com a frequência certa para ser distribuída aos consumidores. O gerador é caracterizado pela carga que ele pode suprir continuamente, podendo ainda trabalhar em sobrecarga durante um período de tempo, que é dado pela temperatura que os enrolamentos da armadura e do campo suportam.

## 2.5 TENSÃO INDUZIDA

A tensão induzida parte do princípio da indução eletromagnética, para isso, é necessário ter um campo magnético e, como foi citado anteriormente, tem que existir um movimento relativo entre o campo (eletroímã) e o condutor (armadura), sendo que não importa que elemento fisicamente se mova, desde que um se mova em relação ao outro. (CHAPMAN, 2013). A tensão induzida é proporcional à taxa de variação do fluxo magnético. Em outras palavras, ela é proporcional ao número de linhas do campo magnético que o condutor corta em um determinado intervalo de tempo.

A tensão induzida é máxima quando o condutor se desloca perpendicularmente ao campo magnético, assim, cortando o maior número de linhas de campo. Quando o condutor se desloca 180 graus depois do ponto inicial, é dada uma tensão induzida máxima negativa, pois corta o mesmo número de linhas de campo, mas com a polaridade invertida, assim, quando o condutor fica paralelo ao campo, não corta nenhuma linha de campo, não induzindo tensão. Quando o condutor completa o curso de 0 grau até 360 graus em relação ao campo magnético também é completado um ciclo elétrico, formando uma senóide.

Existe diferença entre um ciclo elétrico e um ciclo mecânico, onde a sua relação depende do número de pólos que constituem o campo magnético. Essa diferença é obtida através da equação que se segue abaixo. O campo magnético de uma máquina que possui um par de pólos, com 60 ciclos mecânicos terá também 60 ciclos elétricos, se for num período de um segundo. A tensão induzida é calculada de acordo com a equação 02.

$$F = P * N \qquad \textbf{(02)}$$

Onde:

F= Frequência (Hertz);

P= Pares de polos;

N= Ciclos Mecânicos (rotações por segundo).

## 2.6 FATOR DE POTÊNCIA

Como foi falado anteriormente, em corrente alternada, faz-se uso intensivo de dispositivos eletromagnéticos, e através da geração e interação dos campos magnéticos, realizam conversões eletromecânicas de energia. Com isso, a energia produzida em um determinado gerador é transmitida a longas distâncias até grandes centros e energiza linhas de produção em inúmeras indústrias e fornece serviços para uma imensa população. Segundo Azevedo (2012):

> A corrente em um circuito gera um campo magnético que produz fluxo sobre o próprio circuito; assim, a variação de corrente produz uma tensão no circuito, fenômeno conhecido como auto-indução. O fluxo magnético é proporcional a corrente; a constante de proporcionalidade que depende da geometria e das propriedades magnéticas do meio, é chamada indutância (ou auto-indutância) do circuito, denotada por L.

A reatância indutiva é a oposição à passagem de corrente alternada devido à indutância do circuito, dependendo também da frequência de onda de tensão e de corrente. O atraso da corrente em relação à tensão é uma medida de quanta potência ativa está disponível para a realização de trabalho e dá origem aos conceitos de fator de potência e correção do fator de potência, itens estes, objetos de estudo deste trabalho. (CHAPMAN, 2013). O valor do fator de potência deve ser calculado a partir dos valores registrados das potências ativa e reativa ou das respectivas energias, utilizando a equação 03.

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} \qquad \textbf{(03)}$$

Onde:

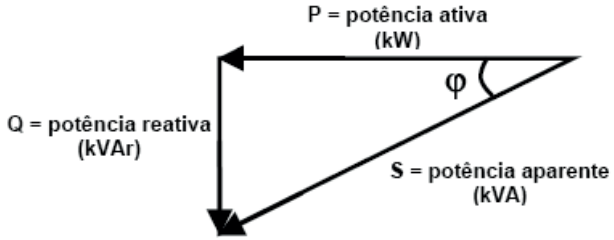
P = potência ativa, expressa em W;

Q = potência reativa, expressa em kVAr;

FP = Fator de potência.

O fator de potência (FP) é uma relação entre as potências ativa e reativa por consequência energia ativa e reativa, indicando a eficiência com a qual a energia está sendo usada e é classificado em indutivo ou capacitivo. (CHAPMAN, 2013). A figura 3 mostra a relação entre as potências ativa, reativa e aparente.

Figura 3: Triângulo das Potências.




Fonte: Autores.

Onde:

P = potência ativa, expressa em kW;

Q = potência reativa, expressa em kVAr;

S = potência aparente, expressa em kVA;

φ = ângulo de defasagem entre tensão e corrente (graus elétricos).

## 3 DESENVOLVIMENTO

O estudo deste trabalho foi realizado em um gerador elétrico de uma UHE do Sul do Estado do Rio de Janeiro que está realizando a repotenciação. O mesmo possui 10 polos do tipo

imbricado, tem rotação nominal de 720RPM trabalhando com frequência de 60Hz ( -2,5/+3 Hz) de acordo com o módulo 3.6 da ONS. Os resultados são hipotéticos uma vez que a reforma ainda não foi concluída e não foram medidos os dados após a repotenciação para comparação.

A melhor decisão para repor a energia não gerada por desgaste dos equipamentos é a modernização ou a reabilitação de usinas hidrelétricas pois considera os impactos ambientais já aconteceram na construção da usina sendo parte já foi absorvida pelo meio ambiente ou pode seu impacto reduzido através de serviços adicionais. A partir do ano 2000 o Brasil tem vivido uma fase de intensidade de reabilitação de usinas hidrelétricas. A reabilitação de usinas hidrelétricas proporciona a modernização do equipamento bem como a possibilidade de aumento da potência gerada sendo efetuados reparos e troca de componentes obsoletos e danificados (CASELATO, 1999).

A possibilidade de aumento da potência vem do advento da melhora na eficiência do conjunto turbina e gerador, aumentar a confiabilidade e a disponibilidade diminuído o tempo de parada para manutenção. Segundo Caselato (1999) as tecnologias de projetos de usinas hidrelétricas foram aperfeiçoadas em relação a época da construção através de novas tecnologias, controle de qualidade e inspeção de equipamento, problemas técnicos foram resolvidos com o desenvolvimento de novas tecnologias.

EPE, 2005 em seus estudos salienta que a intervenção ocorrida somente nos geradores aproveitando a geração ociosa ou a folga aproveitável de projeto, que o reenrolamento do estator do gerador e uso de novos materiais com aumento da área condutiva, pode proporcionar ganhos de até 25% em alguns casos. Neste estudo apenas o gerador elétrico foi estudado, o estator no seu rebobinamento completo e a substituição das barras e das chapas do núcleo.

> Uma possibilidade de incremento de capacidade instalada é o rebobinamento dos enrolamentos dos estatores dos geradores, substituindo, onde adequado, o isolamento existente pelo isolamento de classe F

> mais moderno. Essa medida aumenta o limite térmico operativo e permite maior entrega de potência. Essa iniciativa conta com exemplos no Brasil. Ressalta-se que essa medida deve ser criteriosamente avaliada e uma condição necessária é a da existência de disponibilidade de potência mecânica no eixo da turbina a ser transferida para o gerador. O rebobinamento da máquina elétrica permite o aproveitamento dessa potência mecânica disponível e ocios. (EPE, 201)

A partir da realização destes serviços seria esperada a reabilitação para que o gerador possa aumentar a sua potência aparente em aproximadamente 10%, suportar o aumento de temperatura que por consequência ocorrerá e ainda aumentar a tensão e corrente de excitação diminuindo o fator de potência e assim obter o benefício de regulação do SIN quanto a Potência Reativa. Para o aumento de temperatura, novos trocadores estão sendo dimensionados e instalados para que o enrolamento suporte a carga térmica. A máquina estudada apresentou os seguintes valores antes da parada para modernização que são descritos na tabela 2.

Tabela 1: Valores antes da Repotenciação

| CARACTERÍSTICA TÉCNICA | GRANDEZA |
|---|---|
| Potência Nominal Unitária | 51,76 MVA |
| Potência Ativa | 44,00MW |
| Potência Reativa | 27,27MVAr |
| Fator de Potência | 0,85 |
| Tensão Terminal no Gerador | 6,6 KV |
| Rotação Nominal | 720 rpm |
| Quantidade de Polos | 10 |
| Corrente Nominal | 4527 A |
| Corrente de excitação | 650 A |
| Frequência nominal | 60Hz |
| Elevação de temperatura | Classe B |

Fonte: Usina hidrelétrica do Estado do Rio de Janeiro (2020).

De acordo com EPE (2019), somente estudos individualizados e aprofundados de viabilidade técnica poderão assegurar o incremental de capacidade possível e economicamente viável a uma repotenciação de unidade geradora tendo em vista a potência máxima mecânica e também a base da potência concebida originalmente ao conjunto. No gerador estudado, a empresa proprietária solicitou uma potência aparente nova possível de ser obtida com estator enrolamento isolação classe F, porém com as elevações de temperatura máxima correspondente a classe B de acordo com a ANSI C50-12.

Sistemas auxiliares e excitatriz não sofrerão modificações de atualização. O rotor sofrerá reparos nos pólos e reisolamen-

to para classe F. O estator será rebobinado e serão trocadas as barras condutoras e haverá substituição e reempilhamento do núcleo de ferro composto de chapas de material de melhor permeabilidade magnética e instalação de nova fixação para o conjunto, espera-se diminuir a vibração bem como dispersão magnética e geração de calor. Deste modo a empresa que está realizado o contrato, propôs a potência aparente de 55,0 MVA. Os dados calculados para esta nova configuração foram de acordo com as equações 04 (corrente em função da potência/ tensão); 05 (potência ativa em geradores de polos salientes) e 06 (potência reativa em geradores de polos salientes).

$$I = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} = \frac{55{,}00MVA}{6{,}6KV \times \sqrt{3}} = 4811A \quad \textbf{(04)}$$

$$P = \frac{Ef \times Vt}{Xd} \operatorname{sen}(\delta) + \frac{1}{2} \times \frac{Xd - Xq}{Xd \times Xq} Vt^2 \times \operatorname{sen}(2\delta) = 44{,}17MW \quad \textbf{(05)}$$

$$\mathbf{Q = \frac{Ef \times Vt}{Xd} \times \cos(\delta) - Vt^2 \left( \frac{\operatorname{sen}^2(\delta)}{Xq} + \frac{\cos^2}{Xd} \right) = 31{,}8MVAr} \quad \textbf{(06)}$$

De acordo com os dados estimados para a nova configuração:

Ef = 7,6 KV

Vt = 6,6 KV

δ = (π/2)

Xd = 1,57Ω

Xq = 0,92Ω

Os cálculos aproximaram dos valores estimados pelo executante do serviço para quando o gerador entrar em operação, conforme o demonstrado na tabela 2.

Tabela 2: Valores após a Repotencialização.

| CARACTERÍSTICA TÉCNICA | GRANDEZAS |
|---|---|
| Potência Nominal Unitária | 55,00 MVA |
| Potência Ativa | 44MW |
| Potência Reativa | 33MVAr |
| Fator de Potência | 0,80 |
| Tensão Terminal no Gerador | 6,6 KV |
| Rotação Nominal | 720 rpm |
| Quantidade de Polos | 10 |
| Corrente Nominal | 4811 A |
| Corrente de excitação | 663 A |
| Frequência nominal | 60 Hz |
| Elevação de temperatura | Classe B |

Fonte: Usina hidrelétrica do Estado do Rio de Janeiro (2020).

## 4 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a análise e compreensão quanto o funcionamento e repotenciação de unidade geradora síncrona de uma usina hidroelétrica, onde foi possível o aumento aproximadamente de 10% da geração de energia elétrica, em especial a sua potência nominal, reativa e diminuição do fator de potência.

A unidade geradora que entrou em operação na década de 1940 terá maior disponibilidade e confiabilidade esperada por 25 a 35 anos com a companhia de energia que a opera e ao Operador Nacional do Sistema - ONS.

## REFERÊNCIAS


ABBUD, Omar Alves; TANCREDI, Márcio. **Transformações recentes da matriz brasileira de geração de energia elétrica** – causas e impactos principais. Brasília: Senado Federal, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. **Energia hidráulica.** Fontes renováveis. Parte II. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquiv.os/PDF/atlas_par2_cap3.pdf. Acesso em: 04 jun.2020.

BLACK, Veatch. **Power plant engineering**. Londres: Chapman & Hall, 1996.

BORTOLETO, E.M. A implantação de grandes hidrelétricas: desenvolvimento, discurso e impactos. **Geografares**, Vitória, n.2, jun. 2001

BRANCO, Samuel Murgel. **Energia e meio ambiente**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2012.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS. CERPCHC. **Fontes renováveis**. Hidráulica: a água. Disponível em: https://cerpch.unifei.edu.br/. Acesso em: 04 jun.2020.

CICOGNA, M.A. **Sistema de suporte à decisão para o planejamento e programação da operação de sistemas de energia elétrica**. Tese (Doutorado Engenharia Elétrica), Universidade Estadual de Campinas, campinas/SP, 2003.

ELLIOT, T.C.; CHEN, K., SWANEKAMP, R. C. **Standard handbook of powerplant engineering**. Nova York: McGraw-Hill, 1998.

FERNADEZ y FERNANDEZ, M.; ARAUJO R.; ITO A.E. **Manual de hidráulica**. 8. ed. 6. reimp. São Paulo: Edgard Blucher, 2009. Cap. 6

FITZGERALD, A. E. *et al*. **Maquinas elétricas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin. **Energia e meio ambiente**. 3. ed. São Paulo: Thomson, 2004.

GERAÇÃO hidrelétrica. Disponível em: http://www.antonio-guilherme.web.br.com/Arquivos/hidro.php. Acesso em: 04 jun. 2020.

BOLDEA, Ion. **Synchronous generators**. Boca arton: CRC Press, 2006

FARIA, Caroline. Como funciona uma hidrelétrica. **Info Escola**. Disponível em: http://www.infoescola.com/fisica/como-funciona-uma-hidreletrica. Acesso em: 04 jun. 2020.

GUIMARÃES, H.C.; RANGEL, R. D. Diagramas operacionais de unidades geradoras. *In*: SIMPÓSIO DE PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA, X. SEPOPE. **Anais** [...]. Florianópolis/SC, 2006.

KIAMEH, P. **Power generation handbook**. Nova York: McGraw-Hill, 2002.

KOSOV, IRVING L. **Máquinas elétricas e transformados**. 12. ed. São Paulo: Globo, 1996.

LAW, C. **Combustion physics.** New Jersey: Cambridge University Press, 2006.

LINSLEY, R. K.; KOHLER, M.A.; PAULHUS, J.L.H., **Hydrology for engineers**. 2.ed. Nova York: McGraw-Hill, 1975.

LOGAN JR., Earl; ROY, Ramendra (eds). **Handbook of turbomachinery**. 2.ed. New York, Marcel Dekker, 2003.

MACINTYRE, A. J. **Máquinas motrizes hidráulicas**. Pernambuco: Mcgraw-Hill do Brasil Ltda, 1975.

OLIVEIRA, M.P. **Sistematização da análise de impactos ambientais em UHI**. Disponível em: http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/24127. Acesso em: 04 jun. 2020.

PALZ, Wolfgang. **Energia solar**: e fontes alternativas. Curitiba: Hemus, 2002.

PANZERA, Arjuna C.; GOMES, Artur E, Q.; MOURA, Dácio G. Moura. **Impactos ambientais da produção de energia elétrica**. Educação Ambiental Centro de Referência Virtual do Professor - SEE-MG.

RAMOS, Dorel Soares; GRIMONI, José Aquiles Baesso. **Produção de energia elétrica**. Edição 2012. Aulas. São Paulo, 2012.

RUTH, P.S. Leão. **Tecnologias de geração de energia elétrica**. Geração hidroelétrica. Disponível em: https://www.drb-m.org/geracao/7.GeracaoI.pdf. Acesso em: 04 jun. 2020.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Geração de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

# ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PELO EMPREGO DE INVERSOR DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

## ENERGY EFFICIENCY STUDY BY THE USE OF FREQUENCY INVERTER IN INDUSTRIAL VENTILATION SYSTEMS

Eduardo Orcine Ferreira[1]
Igor Machado Henriques[2]
Josimar Pereira Alves[3]
Miguel Alexandre Vieira Fusco[4]

**RESUMO:** Este trabalho aborda o tema eficiência energética e tem como principal objetivo analisar qual a eficácia da implementação do inversor de frequência nos motores elétricos em um sistema de ventilação industrial. O estudo propôs elaborar uma contextualização dos sistemas de ventilação industriais com ênfase na perspectiva de ganho econômico sem o prejuízo da explicação eletrotécnica, apresentando a composição e funcionamento dos MIT, bem como dos inversores de frequência. O estudo pôde, ainda, mensurar o tempo de retorno de investimento do equipamento bem como da economia anual advinda do emprego deste.

**Palavras-chave:** Eficiência energética. Inversor de Frequência. Motores Elétricos.

1 Discente do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM). E-mail: igormh@gmail.com
3 Discente do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM). E-mail: josimarpalves@hotmail.com
4 Docente Mestre do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM). E-mail: miguelavfusco@gmail.com

**ABSTRACT:**This work presents the topic of energy efficiency and its mains objective is to analyse the effectiveness of the implementation of the frequency inverter in electric motors in na industrial ventilation system. The study proposed to elaborate a contextualization of the industrial ventilation system with emphasis on the perspective of economic without prejudice to the electrotechincal explanation, presenting the composition and functioning of the MIT, as well as the frequency inverters. The study was also able to measure the time of returno n investment of the equipment as well as the anual savings from its use.

**Keywords:** Energy efficiency. Frequency Inverter. Electric Motors.

## 1 INTRODUÇÃO

Eficiência energética é um termo que é usado em uma variedade de significados em diferentes contextos. Por conseguinte, não existe uma medida quantitativa inequívoca da eficiência energética para todos os casos. A eficiência das conversões de energia é geralmente medida como a razão entre a produção de energia e a entrada de energia do processo de conversão.

Desta forma os indicadores de eficiência energética em uso prático geralmente assumem a forma de intensidade energética. Como a intensidade de energia mede a taxa de consumo de energia por resultado.

Diante das intempéries do mercado, um fator que permanece em evidência é a importância de se adotar uma tecnologia mais eficiente nos processos de produção para se atingir um maior nível de eficiência energética. O presente estudo terá o seu escopo na complexa atividade da avaliação da eficiência do consumo de energia elétrica, requerendo-se, para isso, de pelo menos a presença dos seguintes fatores: a eficiência energética propriamente dita, a eficiência de equipamentos/materiais, a qualidade do meio ambiente e/ou meio de produção, e, prementemente, a diminuição dos custos.

## 1.1 OBJETIVOS

Contextualizar sobre as técnicas de controle das correntes de ar a serem introduzidas ou retiradas de um recinto industrial a fim de mantê-lo salubre, com o mínimo de perdas de energia e com a finalidade de alcançar maior ganho energético e redução de custos de produção. Averiguar sobre a aplicação de inversores de frequência em MIT, e, por fim, investigar acerca das imprescindibilidades de vazão necessárias conforme o cenário produtivo.

## 1.2 MOTIVAÇÃO

A ventilação industrial é usada em todos os lugares onde poeira, vapores ou névoa são criados, como as indústrias de madeira, metalurgia, processamento de alimentos, farmacêutica, etc. Os sistemas são projetados de forma a permitir a ventilação de todas as máquinas instaladas ao mesmo tempo.

O tamanho típico do motor do ventilador é entre 50 e 350 HP, com base no número de estações de trabalho conectadas e no comprimento do sistema de dutos (perdas). Fábricas maiores usam vários sistemas que operam continuamente durante todo o tempo de turno.

Correspondentemente, o tamanho apropriado do motor do ventilador é escolhido. No entanto, dados de fábricas reais mostram que, normalmente, menos de 50% do maquinário está funcionando em um dado momento; portanto, 50% das máquinas não produzem poeira (fumaça, névoa), apesar deste fato, a sucção contínua de todas as máquinas permanece por todo o tempo.

O número de aplicações industriais nas quais os motores de indução são alimentados por inversores de frequência está crescendo rapidamente e, embora muito já tenha sido feito neste campo, ainda há muito a ser estudado em relação a tais aplicações. O avanço da velocidade variável impulsiona a engenharia de sistemas levando cada vez mais à necessidade de orientação técnica de modo que tais aplicações possam ser adequadamente projetadas para apresentar vantagens reais em termos de eficiência energética e custos.

# 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 SISTEMA DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

Os sistemas de ventilação frequentemente não são mencionados na maioria dos círculos sociais. São comuns as pessoas não estarem familiarizadas com o termo ventilação com pressão positiva. As grandes e pequenas indústrias precisam usar esses métodos de limpeza e purificação do ar para que seus funcionários possam trabalhar com segurança em suas fábricas.

Segundo Chaves (2012), a ventilação com pressão positiva possibilita soprar objetos como detritos e partículas que seriam prejudiciais se os colaboradores respirassem em seus pulmões para fora da área onde essas pessoas estão. A ventilação com pressão positiva também se refere a procedimentos e dispositivos médicos que realmente respiram para pessoas que sofreram traumas e precisam estar em um sistema de ventilação. Para o propósito deste estudo, abordar-se-á acerca da ventilação com pressão positiva na capacidade de remover contaminantes indesejáveis do ar em uma estrutura, de modo que o ar restante seja deixado respirável por todos os envolvidos. Grandes ventiladores são usados neste tipo de ventilação para empurrar as partículas de uma área de uma estrutura para outra área da mesma estrutura. Isso é bem-sucedido porque o ar que está em uma área de alta pressão tentará automaticamente viajar para uma área de baixa pressão. Os ventiladores podem fazer com que fogo e detritos se movam da área de alta pressão para um ponto de exaustão estabelecido, onde ele pode ser removido com segurança do meio ambiente.

Muitos processos de fabricação fazem com que fumos, gases e partículas prejudiciais entrem no ar onde estão sendo fabricados. Os sistemas de exaustão e os ventiladores são usados para empurrar as partículas nocivas do ambiente de produção para as áreas onde ela pode ser contida ou onde não causará nenhum perigo a qualquer ser vivo.

Segundo Macintyre (1990), via de regra, escolas e residências não exigem esse tipo de ventilação, são usadas principalmen-

te em fábricas e empresas de manufatura que criam produtos químicos, usam produtos químicos ou criam algo que faz com que gases tóxicos ocorram. Existe alguns lugares que só precisam desse tipo de sistema de ventilação em uma pequena porção de sua estrutura. Alguns deles só precisam desses sistemas em um galpão ou em uma sala de seus edifícios. É possível comprar os componentes corretos para limpar o ar nessas áreas sem instalar o mesmo tipo de sistema em toda a estrutura, pois cada projeto é desenvolvido para atender às necessidades características de cada ambiente, como:

- Dimensão da instalação (m²);
- Altitude do teto;
- Característica de telhado (estrutura);
- Natureza de telha (composição);
- Processo produtivo atuante no ambiente;
- Tipos de contaminantes presentes no ar;
- Quantidade de pessoas que trabalham no local.

Os benefícios do correto emprego dos sistemas de ventilação industrial são percebidos quase que imediatamente após o início do funcionamento, tais como:

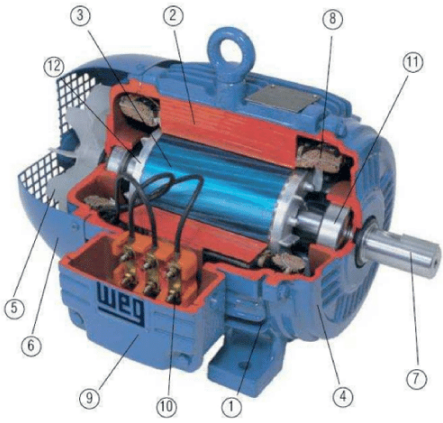
- Maior conforto térmico;
- Maior motivação dos colaboradores;
- Redução do absenteísmo;
- Aumento da produtividade;
- Redução dos custos.

## 2.2 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

### 2.2.1 Motor assíncrono trifásico com rotor de gaiola de esquilo

Qualquer motor de indução tem um estator e um rotor. A construção do estator para qualquer motor de indução é quase a mesma. Mas a construção do rotor difere em relação ao tipo especificado, conforme a figura 1.

**Figura 1: Componente de um Motor**.




1) Carcaça;
2) Núcleo de chapas – estator;
3) Núcleo de chapas – rotor;
4) Tampa;
5) Ventilador;
6) Tampa defletora;
7) Eixo;
8) Enrolamento tifásico;
9) Caixa de ligação;
10)Terminais;
11)Rolamentos;
12)Barras e anéis de curto-circuito;

O MIT com rotor de gaiola de esquilo é amplamente aceito como mais potencial candidato a propulsão elétrica devido a sua confiabilidade, robustez, menos manutenção e capacidade de trabalhar em ambientes hostis. A razão para o nome gaiola de esquilo é por causa do tipo de rotor usado nestes motores. Também há o motor de gaiola de esquilo duplo.

Segundo Balu (2011), este tipo de rotor consiste de um núcleo laminado cilíndrico com ranhuras paralelas para transportar os condutores do rotor, que não são fios, mas espessas e pesadas barras de cobre ou alumínio (alumínio) ou suas ligas. As barras condutoras são inseridas a partir de uma extremidade

do rotor e como uma barra em cada ranhura. Existem anéis de extremidade que são soldados ou eletricamente armados ou até mesmo aparafusados em ambas as extremidades do rotor, mantendo assim a continuidade elétrica. Podem-se destacar pelo menos cinco boas razões para se utilizar um rotor de gaiola de esquilo:

- Ajuda na redução do zumbido magnético, mantendo assim o motor quieto;
- Também ajuda a evitar o *Cogging*, ou seja, a tendência de travamento do rotor. A tendência de os dentes do rotor permanecerem sob os dentes do estator devido à atração magnética direta entre os dois;
- Aumento da taxa efetiva de transformação entre o estator e o rotor;
- Resistência aumentada do rotor devido às barras do condutor do roto comparativamente mais longas;
- Maior deslizamento para um determinado torque.

Ao contrário dos motores de CC, os motores de indução por CA não são adequados para velocidades variáveis. Seu controle de velocidade e regulação é comparativamente difícil quando comparado com motores de CC. Estes são alguns dos métodos que são comumente usados para o controle de velocidade dos motores de indução de gaiola de esquilo:

- Alteração da Tensão Aplicada;
- Alteração da Frequência Aplicada;
- Alteração do Número de Polos do Estator.

### 2.2.2 Inversor de Frequência

Os inversores vêm em diversos formatos e tamanhos e variam de diversas maneiras. Conforme existem duas principais características contrastantes entre os diferentes tipos de inversores não ligados à rede:

1. O tipo de saída de potência, categorizado por qual onda senoidal ele usa - onda senoidal modificada ou pura.

Inversores de onda senoidal pura fornecem uma saída que segue uma onda senoidal harmonicamente. Isso é semelhante ao poder da rede fornecida pela concessionária. Esses inversores trocam a polaridade (“+” e “-”) entre os cabos de energia sem problemas; aumentando ou reduzindo gradualmente a tensão conforme necessário.

Em contraste, uma onda senoidal modificada é uma simulação da saída de onda senoidal pura, na qual o inversor aumenta acentuadamente ou diminui a tensão para mudar a polaridade. Como resultado, a forma de saída corresponde de perto à onda senoidal pura, mas ainda tem distorções muito maiores.

2. Qual frequência interna os circuitos do inversor operam - baixa frequência ou alta frequência.

A frequência provida pela rede (frequência de entrada no motor) causa a velocidade síncrona do campo elétrico pela qual o motor realiza trabalho. O inversor age modificando tal frequência na entrada do motor, na hipótese de que a frequência seja maior, por conseguinte a velocidade do motor será maior, e na hipótese de que a frequência seja menor a velocidade igualmente é menor. O emprego de um inversor de frequência acarreta uma gama de benefícios, tal como, usufruir de uma performance do motor não descrita nas suas características construtivas.

O emprego do inversor de frequência propicia versatilidade na

velocidade com segurança e exatidão. É plausível, a título de exemplo, gerir a velocidade do motor sem grandes perdas de torque, aceleração suave por meio de programação, frenagem direta no motor, sem a imprescindibilidade de freios mecânicos, além de diferentes peculiaridades de programação de velocidade segundo conveniência da conjuntura. Outros proveitos do emprego do inversor de frequência são:

- Troca de variadores mecânicos e eletromagnéticos;
- Automação garantia e versatilidade em processos industriais;
- Instalação simples;
- Arrefecimento de abalroamentos mecânicos na partida do motor;
- Precisão em processos;
- Menor intervenção humana;

Fora estas proficuidades, o inversor de frequência tem excelente custo-benefício, porquanto harmonizam economia de energia elétrica, maximização da durabilidade de engrenagens, polias e outros componentes mecânicos.

Conforme *Photonic Universe* (2012), os inversores de baixa frequência têm a vantagem sobre inversores de alta frequência em dois campos: capacidade de pico de energia e confiabilidade. Os inversores de baixa frequência são projetados para lidar com picos de potência mais altos por períodos de tempo mais longos que inversores de alta frequência. Os picos de potência podem ocorrer por várias razões (por exemplo, dispositivos como ferramentas elétricas, bombas, aspiradores de pó e outros aparelhos com motores elétricos requerem alta potência de partida). Quando os inversores experimentam esses picos, eles podem suportar o aumento de energia por um curto período de tempo antes de desligar, a fim de evitar que sejam causados danos a eles.

Os inversores de baixa frequência têm uma capacidade de potência de pico muito maior para lidar com cargas grandes com picos de potência do que com inversores de alta frequência. Na verdade, os inversores de baixa frequência podem operar no nível máximo de potência, que é de até 300% do seu nível de potência nominal por vários segundos, enquanto os inversores de alta frequência podem operar a 200% por uma pequena fração de segundo.

A segunda principal diferença é a confiabilidade: inversores de baixa frequência operam usando poderosos transformadores, que são mais confiáveis e resistentes que os MOSFETs (O transistor MOSFET (acrônimo de *Metal OxideSemiconductor Field Effect Transistor*, ou transistor de efeito de campo metal – óxido semicondutor - TECMOS), é, de longe, o tipo mais comum de transístores de efeito de campo em circuitos tanto digitais quanto analógicos.) de inversores de alta frequência, que usam comutação eletrônica e mais propensos a danos, particularmente em altos níveis de potência. A tabela 1 apresenta as vantagens e desvantagens de inversores tanto de alta quanto de baixa frequência.

Tabela 1: Vantagens e Desvantagens do emprego de inversores de alta e baixa frequência.

| | **Vantagens** | **Desvantagens** |
|---|---|---|
| **Alta Frequência** | Pegada menor, menor valor. | Não funciona bem com cargas elevadas como bombas e ferramentas de alto torque. |
| **Baixa Frequência** | Corre bem com cargas de alta tensão, opera refrigerado. | Mais pesado, mais caro. |

Fonte: Adaptado de *Magnun-Dimensions* (2016).

# 3 DESENVOLVIMENTO

## 3.1 MENSURAÇÃO DA REDUÇÃO DE CUSTOS E GANHO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PELO USO DOS INVERSORES DE FREQUÊNCIA EM MIT

Iniciando a seleção dos dispositivos a serem considerados selecionar-se-á o ventilador centrífugo de dupla entrada com motor de acionamento direto e rotor curvado para frente, conforme a figura 2.

Figura 2: Ventilador centrífugo de dupla entrada com motor de acionamento direto e rotor curvado para frente




. Fonte: SODECA International (2018).

Deve-se salientar que são empregados quatro (04) unidades do equipamento acima descrito para atender aos requisitos técnicos de ventilação industrial, conforme fora já abordado no presente às páginas 15-17, sendo esses dispositivos do Modelo CBD-3939-6T 3/HE, com Potência Instalada de 2,2kw cada unidade.

Continuando na construção do cenário produtivo hipotético, estabelecer-se-á que os dias produtivos dar-se-ão de segun-

da-feira a sábado, e, os autores ainda asseveram que o Brasil tem no total doze (12) feriados nacionais, somados feriados fixos e móveis, conforme a tabela 2, a seguir:

Tabela 2: Relação de feriados anuais brasileiros fixos e móveis

| | **Data** | **Nº de Dias** |
|---|---|---|
| **Feriados Fixos** | 1º de janeiro: Confraternização Universal | 01 |
| | 21 de abril: Tiradentes | 01 |
| | 1º de maio: Dia do Trabalhador | 01 |
| | 7 de setembro: Independência | 01 |
| | 12 de outubro: Nossa Senhora Aparecida | 01 |
| | 2 de novembro: Finados | 01 |
| | 15 de novembro: Proclamação da República | 01 |
| | 25 de dezembro: Natal | 01 |
| **Feriados Móveis** | Carnaval | 03 |
| | Sexta-Feira Santa | 01 |
| | Eleições | 00 |
| | Corpus Christi | 01 |
| | **Total** | 13 |

Fonte: Os autores

O carnaval possui quatro (04) dias, contudo, para fins de contabilização de dias produtivos do cenário hipotético ora desenhado não será considerado o Domingo por não constar como dia de produção. Assim, pôde-se inferir que os equipamentos selecionados teriam um funcionamento efetivo durante trezentos (300) dias por ano, conforme a tabela 3.

Tabela 3: Dias totais de funcionamento efetivo por ano.

| **Dias totais/ ano** | **Total de domingos/ano** | **Total de feriados fixos e móveis/ano** | **Total de dias de produção efetiva/ano** |
|---|---|---|---|
| 365 | 52 | 13 | 300 |

Fonte: Autores.

Continuando nesse processo de construção de cenário hipotético estabeleceu-se que os equipamentos elencados funcionarão diariamente conforme a tabela 4.

**Tabela 4: Perfil diário de funcionamento dos equipamentos**.

| **Horas de funcionamento diário total** | **Horas de funcionamento a plena potência (100%)** | **Horas de funcionamento a média potência (50%)** | **Coeficiente de rendimento dos equipamentos (%)** |
|---|---|---|---|
| 10 | 03 | 07 | 80 |

Fonte: Autores.

De posse das informações acima suscitadas, pôde-se, com base no perfil do uso dos equipamentos, estabeleceu-se na tabela 5, a relação de consumo energético real com consumo

energético projetado do equipamento bem como a economia energética estabelecida mediante o referido perfil.

Tabela 5: Perfil de uso dos equipamentos (ventiladores) em relação ao consumo energético.

| **Potência individual x 4 (kW)** | **Tempo de uso a plena potência (h)** | **Tempo de uso a média potência (h)** | **Potência utilizada total (kW)** | **Potência disponível total (kW)** | **Energia não consumida (kWh)** |
|---|---|---|---|---|---|
| 8,8 | 03 | 07 | 57,2 | 88 | Pot |

Fonte: Autores.

Ainda, relativo ao perfil de uso dos equipamentos, tornou-se factível estabelecer mediante a análise dos dados, o índice de economia energética; conforme descritos na tabela 6.

Tabela 6: Relação de economia energética.

| **Potência disponível total (kW)** | **Potência utilizada total (kW)** | **Economia energética (%)** |
|---|---|---|
| 10 | 03 | 07 |

Fonte: Autores.

Fora orçado com base em dados reais e atualizados o preço do KW/h para fins de cálculo de custos energéticos conforme o enquadramento da natureza desta empresa hipotética cuja classe de consumo fora estabelecida como sendo Não-Residencial, alcançando o valor de R$ 0,92744 por KW/h, conforme a figura 3 a seguir. Por intermédio dessa precificação será

possível mensurar de forma efetiva a diminuição dos custos de produção quantitativamente.

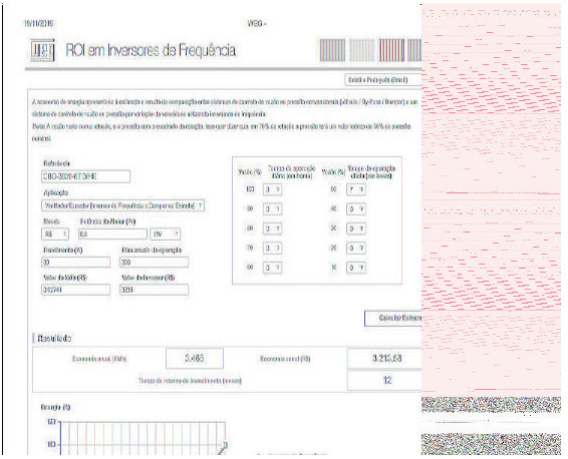
Figura 3: Composição da tarifa de consumo energético (kW/h)

| TARIFAS DE BAIXA TENSÃO - R$/kWh - Novembro/2019 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Classe de consumo | Tarifa com PIS/COFINS e ICMS | | | | | Tarifa homologada pela ANEEL sem incidência de ICMS/PIS/COFINS | Tarifa com PIS/COFINS isenta de ICMS |
| | Faixa consumo | | | | | | |
| | até 50 kWh | de 51 até 300 kWh | até 300 kWh | de 301 até 450 kWh | acima de 450 kWh | | |
| | Residencial | Residencial | Demais Classes | Todas as Classes | Todas as Classes | | |
| | (isento de ICMS) | (ICMS de 18%) | (ICMS de 20%) | (ICMS de 31%) | (ICMS de 30%) | | |
| Residencial | 0,64196 | 0,78738 | - | 0,94139 | 0,92744 | 0,62565 | 0,64196 |
| Tarifa Social | | | | | | | |
| · até 30 kWh | 0,20249 | 0,24837 | - | 0,29695 | 0,29255 | 0,19735 | 0,20249 |
| · 31 até 50 kWh | 0,34714 | 0,42577 | - | 0,50906 | 0,50151 | 0,33832 | 0,34714 |
| · 51 até 100 kWh | - | | - | | | | |
| · 101 até 220 kWh | - | 0,63865 | - | 0,76358 | 0,75226 | 0,50747 | 0,52070 |
| · acima de 220 kWh | - | 0,70961 | - | 0,84842 | 0,83584 | 0,56386 | 0,57856 |
| Não residencial | - | - | 0,80771 | 0,94139 | 0,92744 | 0,62565 | 0,64196 |
| Rural | - | - | 0,61385 | 0,71545 | 0,70485 | 0,47549 | 0,48788 |
| Iluminação Pública | | | | | | | |
| · Rede de Distribuição | - | - | 0,44423 | 0,51776 | 0,51008 | 0,34410 | 0,35307 |
| · Bulbo da Lâmpada | - | - | 0,48462 | 0,56484 | 0,55646 | 0,37539 | 0,38517 |

Fonte: PORTAL Light (2019).

A figura 4 a seguir apresenta o preço real e atualizado de um inversor de frequência apropriado para motores trifásicos com capacidade máxima de trabalho de 15CV. Faz-se melhor elucidar que essa capacidade não fora selecionada aleatoriamente, mas, por ser suficientemente capaz de suprir os quatro (04) ventiladores escolhidos cuja capacidade nominal conjunta equivale a 8,8kW. Insta, ainda, elucidar que, os quinze (15) CV's de capacidade nominal do inversor selecionado equivalem a aproximadamente onze (11) kW.

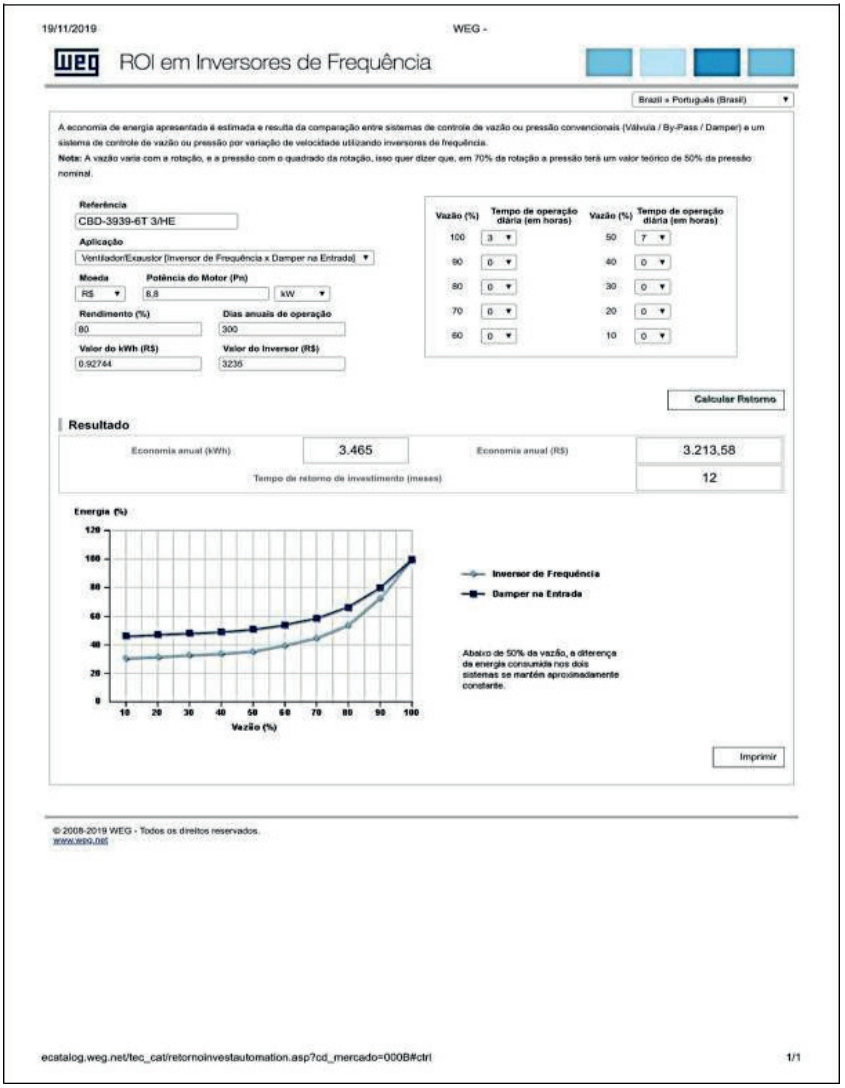
Figura 4: Inversor de Frequência Trifásico.




Fonte: Mercadolivre.

De posse de todos os dados outrora apresentados, pôde-se então simular pela plataforma online da WEG S.A., Figura a seguir, o *payback* (tempo necessário para se recuperar o valor investido na compra do equipamento – inversor de frequência) bem como a economia anual gerada pelo emprego do inversor de frequência conforme apresentado na figura 5.

Figura 5: Retorno sobre o Investimento em Inversores de Frequência.




Fonte: WEG: (2019).

## 4 CONCLUSÕES

Motores assíncronos trifásicos podem ser considerados entre as máquinas elétricas mais confiáveis: eles cumprem sua função por muitos anos com manutenção reduzida e se adaptam a diferentes desempenhos de acordo com os requisitos de produção e aplicações de serviço. Contudo, motores de indução não são boas máquinas para aplicações que exigem controle de velocidade considerável.

Como já fora dito no presente estudo, estes motores encontram sua aplicação nos mais diferentes setores industriais, tais como indústrias alimentícias, químicas, siderúrgicas, fábricas de papel ou tratamento de água e sistemas extrativos. As aplicações dizem respeito ao equipamento com componentes de máquina operando em velocidade fixa ou variável, sistemas de transporte como transportadores, instalações de ventilação e ar condicionado, sem esquecer o uso mais comum com bombas e compressores.

Das considerações acima, é facilmente deduzido como os motores assíncronos trifásicos podem ser considerados a máquina elétrica mais difundida para aplicações industriais (o consumo de energia dos motores elétricos é de cerca de 75% do consumo total no campo industrial). Considerando esse dado é possível entender como uma redução nos consumos de energia pode ser importante tanto para a gestão do negócio quanto para a melhoria da eficiência de energia em geral.

Os inversores de frequência destinados a aplicações em sistemas de ventilação representam a escolha ideal para situações que exigem acionamentos facilmente instalados, colocados em serviço e utilizados, adequados para controle preciso de velocidade e torque de motores de gaiola de esquilo. Esses inversores podem ser usados em um amplo campo de setores industriais, tanto para as aplicações mais simples com torque quadrático (bombas e ventiladores) quanto para obter dinâmicas mais sofisticadas. Ainda, os inversores de frequência oferecem uma resposta rápida às variações da carga do motor, a fim de garantir um funcionamento mais constante.

O presente trabalho pôde bem contextualizar sob a égide eletrotécnica a respeito dos sistemas de ventilação industrial, bem como a respeito da construção e do funcionamento dos MIT e, ainda, pôde atender ao cerne do escopo estabelecido que fora mensurar economicamente os benefícios da utilização dos inversores de frequência para o ganho energético e por que não dizer, para o aumento da vida útil desses motores, ao passo que, uma vez que os mesmos não operem à sua plena capacidade, consequentemente ocorre um menor desgaste e, assim, dilata a sua durabilidade; fato esse que apesar de não ter sido computado no presente estudo de forma explicita, também contribui para a redução de custos holisticamente.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17094-1:2018**: Máquinas Elétricas Girantes – Máquinas elétricas girantes. Parte 1: Motores de indução trifásicos – Requisitos. Abril de 2018.

BALU, Sriram. **How Are Squirrel Cage Induction Motors Constructed?**

CHAVES, Eliane Lara. **Ventilação industrial aplicada à engenharia de segurança**. Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho.M5 D2 – Higiene do Trabalho IV. Guia do Estudante, Parte V – Aula 6.0. Disponível em: http://academico.escolasatelite.net/system/application/materials/uploads/12/ge-est-m5-d2-p5-aula-60-rev-final.pdf. Acesso em: 01 nov. 2019.

COMPOSIÇÃO da tarifa. **Portal Light.** Disponível em: http://www.light.com.br/para-residencias/Sua-Conta/composicao-da-tarifa.aspx. Acesso em: 01 nov. 2019.

CSANYI, Edvard. **Operating principle of three phase asynchronous motors**. Technical Article. Disponível em: http://electrical-engineering-portal.com/operating-principle-of-three-phase-asynchronous-motors. Acesso em: 01 nov. 2019.
DC to AC Inverter - How to Choose the Right DC to AC 230V. Power Inverter. **Photonic Universe**, 2012 Disponível em: http://www.photonicuniverse.com/en/how-to-choose/ac-inverter/. Acesso em: 08 nov. 2019.

DT-6 - Motores elétricos assíncronos e síncronos de média tensão – especificação, características e manutenção. WEG. Disponível em: http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-curso-dt-6-motores-eletricos-assincrono-de-alta-tensao-artigo-tecnico-portugues-br.pdf. Acesso em: 01 nov. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA –

INEE. **O que é eficiência**? Disponível em: http://paginapessoal.utfpr.edu.br/edisonsilva/conversao-de-energia -2/maquina-de-inducao/MOTOR_INDUCAO_FESP.doc/at_download/file. Acesso em: 01 nov. 2019.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

INVERSION methods explained. **Magnum-Dimensions**, 2016. Disponível em: http://www.magnum-dimensions.com/sites/default/files/MagDocs/Inversion-methods_explained_2016-08_revA.pdf. Acesso em: 01 nov. 2019.

INVERSOR de frequência cfw500 15cv 24a 380/440v trifásico. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-985705993-inversor-de-frequencia-cfw500-15cv-24a-380440v-trifasico-_JM. Acesso em: 08 nov. 2019.

MOREIRA, Josemar de Souza; *et.al.* Influência da frequência padrão de rede no funcionamento de motores de indução trifásicos. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ano 02, v. 03, p. 126-135, dez. 2017. Disponível em: https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/motores=-de-inducao-trifasicos?pdf3%12819D&source=gmail&ust-1526484964294000&usg=AFQjCNF-rMDTrD-k34UBmLrd0oo-Z35deRw. Acesso em: 08 nov. 2019.

PRAKASH *et al*. Design of a Three Phase Squirrel Cage Induction Motor for Electric Propulsion System. I*n*: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN CONTROL AND OPTIMIZATION OF DYNAMICAL SYSTEMS, 2014. Kanpur, Índia. Disponível em: https://ac.els-cdn.com/S147466701632746X/1-s2.0-S147466701632746X-main.pdf?_tid=648d2123-da0f-4b52-ad58-acde0c7bf455&acdnat=1529950485_d81c4f50dd39ac6ee3d6fba49c84e93b. Acesso em: 01 nov. 2019.

RETORNO de investimento em inversores de frequência.

WEG. Disponível em: http://ecatalog.weg.net/tec_cat/retornoinvestautomation.asp?cd_mercado=000B#ctrl. Acesso em: 19 nov. 2019.

SOLUÇÕES em ventilação – ventiladores centrífugos. Sodeca International Disponível em: http://www.sodeca.com/pt/productos/cbd-ew-p413?cs=5&fil=50. Acesso em: 08 nov. 2019.

# PROJETO ELÉTRICO RESIDENCIAL DE BAIXA TENSÃO: PROCEDIMENTOS, NORMAS E DESENVOLVIMENTO

## LOW VOLTAGE RESIDENTIAL ELECTRICAL PROJECT: PROCEDURES, STANDARDS AND DEVELOPMENT

Eduardo Orcine Ferreira[1]
Igor Machado Henriques[2]
Josimar Pereira Alves[3]
Miguel Alexandre Vieira Fusco[4]

**RESUMO:** Este trabalho aborda o tema eficiência energética e tem como principal objetivo analisar qual a eficácia da implementação do inversor de frequência nos motores elétricos em um sistema de ventilação industrial. O estudo propôs elaborar uma contextualização dos sistemas de ventilação industriais com ênfase na perspectiva de ganho econômico sem o prejuízo da explicação eletrotécnica, apresentando a composição e funcionamento dos MIT, bem como dos inversores de frequência. O estudo pôde, ainda, mensurar o tempo de retorno de investimento do equipamento bem como da economia anual advinda do emprego deste.

**Palavras-chave:** Eficiência energética. Inversor de Frequência. Motores Elétricos.

1 Discente do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM). E-mail: igormh@gmail.com
3 Discente do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM). E-mail: josimarpalves@hotmail.com
4 Docente Mestre do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM). E-mail: miguelavfusco@gmail.com

**ABSTRACT:**This work presents the elaboration of a project of electrical installations for a building how to guarantee that the transfer of energy from a distribution network of the concessionaire or private generators, to the points of use of the building in a safe, functional and viable way. The objective was to design a building electrical installation project for a set of homes connected at low voltage. The methodology was based on the technical standards in force for building electrical installation to demonstrate the stages of an electrical project and the concepts that involved them, to develop in detail. A building electrical installation project was developed, consisting of a survey of all the necessary elements, such as the floor plan, load table and diagram. It is concluded that, in whatever type of enterprise, a good planning of the electrical circuits involved guarantees both lower cost of implantation and maintenance of the installed network.

**Keywords:** Electrical Installation. Low Voltage. Technical Standards.

## 1 INTRODUÇÃO

Quando se pensa uma proposta de engenharia para a solução de algum problema, tem-se que percorrer várias etapas preliminares, iniciando-se pelo pensar no espaço físico de realização, nos materiais, nas interações com o espaço, com outras estruturas e com possíveis usuários. Neste caminho, seguem-se avaliações preliminares, com traçados, desenhos, cálculos, pesquisas, inclusive de informações de possíveis usuários etc. Para que a energia elétrica possa ser utilizada em edificações residenciais, comerciais, industriais e institucionais é necessário a montagem de um conjunto de elementos, tais como, condutores elétricos, proteções, controles e acessórios especialmente instalados para tal finalidade, atendendo a requisitos contidos em normas e regulamentos específicos.

A finalidade da elaboração de um projeto de instalações elétricas para uma edificação é garantir que a transferência de energia desde uma fonte, em geral uma rede de distribuição

da concessionária ou geradores particulares, até os pontos de utilização da edificação de maneira segura, funcional e viável, utilizando-se de materiais confiáveis, de forma segura e eficiente, com menor custo.

### 1.1 OBJETIVOS

Elaborar um projeto de instalação elétrica predial de um conjunto de residências, conectadas em baixa tensão. Apresentar de forma atual, dentro da literatura acadêmica, os conceitos e características de um projeto e seus aspectos. E por fim, demonstrar as etapas de um projeto elétrico e os conceitos que as envolvem

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Silva Junior (2012) projetar é apresentar soluções possíveis de serem implementadas para a resolução de um determinado problema. Nos projetos para instalações elétricas, portanto, alguns requisitos são fundamentais para a segurança de pessoas, equipamentos e instalações como flexibilidade, acessibilidade, confiabilidade e continuidade. A flexibilidade diz que é a capacidade de admitir mudanças na localização das máquinas e equipamentos sem comprometer seriamente as instalações existentes (TAMIETTI, 2009). Para Lima Filho (2011) acessibilidade corresponde a todos os pontos de utilização projetados, bem como os dispositivos de manobra e proteção, devendo estar em locais perfeitamente acessíveis, que permitam manobra adequada e eventuais manutenções. Quanto a confiabilidade diz que, em qualquer projeto elétrico representa o desempenho do sistema quanto às interrupções temporárias e permanentes, visando a segurança daqueles que o operam (TAMIETTI, 2009). E continuidade no projeto refere-se a forma que a instalação tenha o mínimo de interrupção total em qualquer um de seus circuitos (TAMIETTI, 2009).

## 2.1 NORMAS TÉCNICAS APLICÁVEIS

No Brasil, existe um conjunto de recomendações denominadas Normas Brasileiras (NBR's) e, o órgão responsável pela elaboração é o Foro Nacional de Normalização da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), atuando também como avaliador e certificador de conformidade. A sua elaboração é bastante parecida com o processo internacional, porém foi adaptada para a realidade brasileira (LIMA, 2018). Segundo Tozzeto (2018), as normas da ABNT são constituídas por intermédio e em conformidade de estudos, estabelecendo exigências para a qualidade, desempenho, segurança entre outros aspectos relacionados ao tema.

Corroborando, as normas técnicas da ABNT são documentos de consenso elaborados pela comunidade técnica do país e que especificam requisitos mínimos construtivos ou de desempenho, sendo que, a obrigatoriedade do atendimento do conteúdo destes documentos, está prevista no Código de Direito Civil (CDC) que determina o atendimento de normas técnicas oficiais pelos produtos e serviços disponíveis ao consumidor (DANIEL, 2015; ARAÚJO *et al*., 2016). Assim, no que tange a projetos de instalações elétricas devem ser observadas as seguintes normas, na tabela 1 são elencadas algumas utilizadas:

### 2.1.1 NBR 5410:2004

Publicada em 1941 intitulada como Norma Brasileira para Execução de Instalações Elétricas, a atual NBR 5410 é um desdobramento do Código de Instalações Elétricas da antiga Inspetoria Geral de Iluminação do ano de 1914 e de um anteprojeto elaborado por uma comissão de especialistas da época. Contudo, a codificação NBR desta e de outras existentes, foram utilizadas em meados da década de 1970, período em que os documentos da ABNT passaram a ter registo no Inmetro (ARAUJO *et al.,* 2016) e anteriormente aos anos de 1990, a nomenclatura da norma era conhecida como NB-3 (SEITO *et al.*, 2008).

Tabela 1: Normas para projetos de instalação elétrica.

| NORMAS | CARACTERÍSTICAS |
|---|---|
| **NBR 5410:2004** | Instalações Elétricas de Baixa Tensão |
| **NBR ISO 8995-1:2013** | Iluminação de Ambiente de trabalho |
| **NBR 14039:2005** | Instalações Elétricas de média tensão de 1,0kV a 36,2 kV. |
| **NM 60989:2004** | Disjuntores para proteção de sobre correntes para instalações domésticas e similares. |
| **NBR 61008-1:2005** | Interruptores/ou disjuntores a correntes diferenciais e residuais sem Proteção Contra Sobrecorrentes – Regras gerais. |
| **NBR 61008-2-1:2005** | Interruptores a corrente diferencial-residual para usos doméstico e análogo sem dispositivo de proteção contra sobrecorrentes (RCCB) – Parte 2-1 – Aplicabilidade das regras gerais aos RCCB funcionalmente independentes da tensão de alimentação. |
| **Resolução Normativa 414/2010** | Condições gerais de fornecimento de energia elétrica – Agencia Nacional de Energia Elétrica, ANEEL. |
| **NR 10** | Segurança em Instalações Elétricas e Serviços em Eletricidade – Ministério do Trabalho e emprego. |
| **NBR 5419:2005** | Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. |
| **NBR 10898:2013** | Sistemas de iluminação de emergência. |

| | |
|---|---|
| **NBR 5413:1992** | Iluminância de interiores – substituída pela *NBR ISO 8995-1/13* |
| **NBR 13534:2008** | Instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde |
| **NBR 13570:1996** | Instalações elétricas em locais de afluência de público |
| **NBR NM 60.898:2004** | Disjuntores de baixa tensão para proteção de sobrecorrentes para instalações domésticas e similares. |
| **NBR IEC- 60.947-2:2013** | Disjuntores de baixa tensão |
| **NBR 5444:1989** | Símbolos gráficos para instalações prediais |

Fonte: ARAÚJO *et al.* (2016, p. 22)

Atualmente, a norma estabelece premissas para o funcionamento seguro das instalações elétricas de baixa tensão (até 1000V – corrente alternada; 1500V em corrente contínua), ou seja, são instalações que circuitos elétricos alimentados por tensão nominal igual ou inferior a 1 kV em corrente alternada para frequências até 400 Hz ou 1,5 kV em corrente contínua, com condições de funcionamento adequado, possibilitando a proteção de pessoas e animais, e a conservação de bens (MATTEDE, 2020). Já para o projetista atua como um conjunto de diretrizes que, compreendendo e conhecendo-a proporciona um diferencial na profissão. Mattede (2020) elenca outras aplicações da NBR 5410:2004:

- Áreas descobertas externas a edificações;
- Locais de acampamento, marinha e instalações análogas;
- Instalações temporárias como canteiros de obras, feiras, etc.;

• Circuitos elétricos alimentados sob tensão nominal igual ou inferior a 1000 V em corrente alternada (CA), frequência inferior a 400 Hz, ou a 1500 V e corrente contínua (CC) (modificação vinda da norma NR-10, que estabelece o que é baixa tensão);

• Circuitos elétricos que não estão dentro de equipamentos, funcionando sobre tensão superior a 1000 volts, e alimentados por uma instalação igual ou inferior a 1000 volts e corrente alternada. Circuitos de lâmpadas de descarga, por exemplo;

• Fiações e redes elétricas que não estejam cobertas pelas normas relativas aos equipamentos de utilização;

• Linhas elétricas fixas de sinal com exceção dos circuitos internos dos equipamentos

• Instalações novas e já existentes, sobre reforma.

Do mesmo modo que a norma não se aplica aos itens abaixo relacionados, mesmo pertencendo as instalações de baixa tensão, os mesmos possuem normas específicas próprias (MATTEDE, 2020):

• Instalações de tração elétrica;

• Instalações elétricas de veículos motores, carros elétricos, por exemplo;

• Instalações de embarcações e aeronaves;

• Equipamentos para supressão de perturbações radioelétricas, na medida em que não comprometa a segurança das instalações;

• Iluminação pública;

• Redes públicas de distribuição elétrica

• Instalações de proteção contra quedas diretas de raios, porém esta norma considera as consequências dos fenômenos atmosféricos sobre as instalações, por exemplo,

seleção dos dispositivos de proteção contra sobre tensão;

- Instalações em minas;
- Instalações em cercas elétricas.

A aplicação da NBR-5410 orienta, portanto, premissas fundamentas em relação a proteção contra choques elétricos, contra efeitos térmicos (incêndio e queimaduras), contra sobrecorrentes (sobrecargas e curtos-circuitos) e contra sobretensões, afim de proporcionar uma instalação elétrica segura (ARAUJO *et al.*, 2016, p. 24), contudo não dispensa o seguimento de outras normas aplicadas em situações ou lugares específicos, para a elaboração de projetos elétricos, conjuntamente, outros regulamentos devem ser observados.

## 2.2 PROJETO ELÉTRICO

O objetivo de um projeto de instalações elétricas é garantir a transferência de energia desde uma fonte, em geral a rede de distribuição da concessionária ou geradores particulares, até os pontos de utilização (pontos de luz, tomadas, motores, etc). Para que isto se faça de maneira segura e eficaz é necessário que o projeto seja elaborado, observando as prescrições das diversas normas técnicas aplicáveis (LIMA FILHO, 2011). Na concepção de Câmara (2017) um projeto elétrico completo é composto pelos seguintes elementos:

- Plantas baixas;
- Esquemas unifilares;
- Detalhes de montagem (caso necessário);
- Memorial descritivo da instalação;
- Especificação dos componentes;
- Parâmetros de projeto
- Previsão de Cargas

Levantamento de cargas é a etapa onde se faz a estimativa dos equipamentos e das instalações que irão existir nos empreendimentos. Podem-se dividir em conceitos para pontos de iluminação e pontos de tomada ou força (CÂMARA, 2017). Determinar a potência elétrica a ser instalada numa edificação consiste em calcular a soma das potencias das lâmpadas e tomadas necessárias aos diversos cômodos. Isso equivale a determinar as cargas nos pontos úteis de utilização de energia elétrica.

# 3 MATERIAIS E MÉTODOS

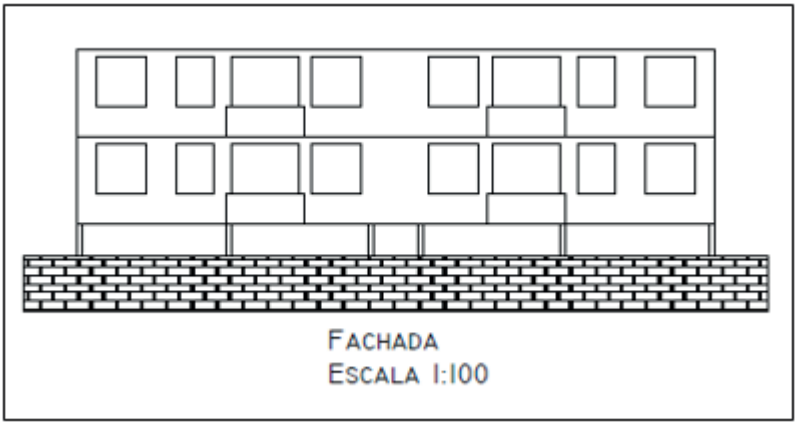
## 3.1 METODOLOGIA DO PROJETO

Utilizou-se a norma ABNT NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão - de edificações, que estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens (ABNT, 2008), a NBR 5419:2015 que dispõe sobre os requisitos para a determinação de proteção contra descargas atmosféricas, a norma RECON-BT:2019 da concessionária Light S.A para os cálculos de demanda, bem como os catálogos de fabricantes para seleção dos materiais.

## 3.2 PROJETO ELÉTRICO PREDIAL DE BAIXA TENSÃO: CONDIÇÕES

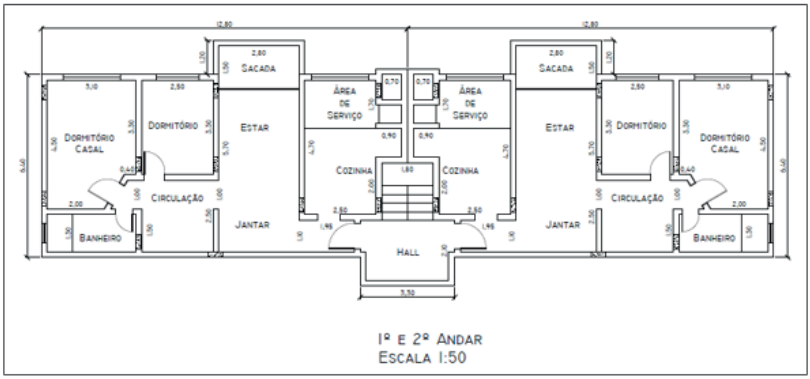
A planta tem como objetivo o projeto elétrico de 4 unidades habitacionais dispostas em 2 pavimentos e o térreo, com a finalidade de identificar a demanda solicitada pela instalação e posterior contratação do fornecimento de energia pela concessionária local. No projeto não foram especificados os tipos de lâmpadas e luminárias, as mesmas ficam a cargo pessoal, por esse modo não serão definidas. A área utilizada para a instalação é de aproximadamente 400m², contemplando: 04 unidades residenciais e o térreo (*hall*) de uso comum, conforme descrito pelas figuras 1, 2 e 3.

Figura 1: Planta baixa da fachada.



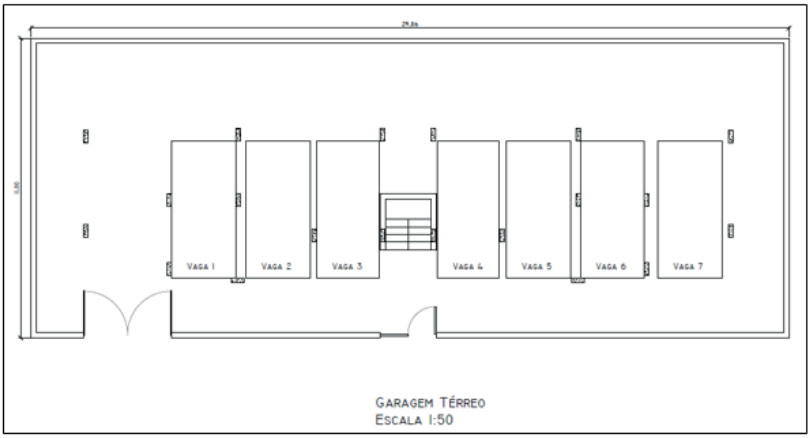

Fonte: Autores.

Figura 2: Planta Baixa, unidades habitacionais.




Fonte: Autores.

Figura 3: Planta Baixa (garagem-térreo).




Fonte: Autores.

As tabelas 2, 3 e 4 descrevem a previsão de carga; respectivamente, em detalhes a elaboração do consumo de cada unidade contida no prédio projetado e também das áreas comuns. Assim como também os detalhes construtivos das respectivas unidades habitacionais e consumo por ambiente.

Tabela 2: Previsão de Carga em cada unidade residencial.

| Dependência | Área (m²) | Perímetro (m) | Iluminação (VA) | TUG (quant.) | TUE (Quant.) | Potência TUG | Potência TUE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sacada | 4,2 | 8,6 | 6m² =100 | 1 | | 100VA | |
| Dormitório casal | 13,1 | 14,7 | 6m² - 100<br>4 m² - 60<br>3,25 m² 60 | 3 | 1 - ar condicionado | 300VA | 2000W |
| Dormitório | 8,25 | 11,6 | 6m² - 100<br>2,25 m² 60 | 3 | 1 - ar condicionado | 300VA | 1500W |
| Estar | 8,96 | 12 | 6m² - 100<br>2,96m² - 60 | 3 | | 300VA | |
| Área de serviço | 7,22 | 11,4 | 6m² - 100<br>1,22 m² - 60 | 3 | 1 - máquina de lavar | 1800VA | 1000W |
| Banheiro | 4,03 | 8,8 | 6m² - 100 | 3 | 1 - chuveiro | 1300VA | 5000W |
| Circulação | 6,25 | 10 | 6m² - 100 | 1 | | 100VA | |
| Jantar | 6,35 | 11,95 | 6m² - 100 | 3 | | 300VA | |
| Cozinha | 8,4 | 14,5 | 6m² - 100<br>2,04 m² - 60 | 4 | 2 - microondas<br>geladeira | 1900VA | 2000W<br>500W |
| TOTAL | | | 1260VA | | | 6300VA | 12000W |

Fonte: Autores.

Tabela 3: Previsão de Carga no Térreo e Hall.

| Dependência | Área (m²) | Perímetro (m) | Iluminação (VA) | TUG (quant.) | TUE (Quant.) | Potência TUG | Potência TUE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HALL | 6,9 | 8,8 | 200 = 220<br>6m² - 100<br>4 m² - 60<br>3,25 m² 60 | 2 | | 200VA | |
| TÉRREO | 336,3 | 81,8 | 5600 = 220<br>336m² - 5600<br>4 m² - 60<br>3,25 m² 60 | 17 | | 1700VA | |
| Total | | | 5700 | 19 | | 1900VA | |

Fonte: Autores.

Tabela 4: Divisão de circuitos da planta.

| Circuito | Nome | Locais | TUG (QtdxVA) | Total (VA) | Corrente (A) | Nº de circuitos Agrupados | Seção (mm²) | Prot. Tipo | Prot. Polos | Prot. Corrente nominal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Iluminação | Geral | 1x100<br>1x200<br>1x100<br>1x100<br>1x100<br>1x100<br>1x100<br>1x100<br>1x100 | 1000 | 4,55 | 4 | 1,5 | Disjuntor | 1 | 10 |
| 2 | TUG | Sacada<br>D. Casal<br>Dormitório<br>Estar<br>Circulação<br>Jantar | 2x100<br>3x100<br>3x100<br>3x100<br>2x100<br>3X 100 | 1600 | 7,27 | 3 | 2,5 | Disjuntor | 1 | 10 |
| 3 | Área de serviço | TUG's | 2x600<br>1x100 | 1300 | 5,91 | 1 | 2,5 | Disjuntor | 1 | 10 |
| 4 | Área de serviço | TUE's | | 1000 | 4,55 | 1 | 2,5 | IDR | 1<br>2 | 10 |
| 5 | Banheiro TUG | WC | 2X 600<br>1x100 | 1300 | 5,9 | 1 | 2,5 | Disjuntor | 1 | 10 |
| 6 | Banheiro TUE | WC | | 5000 | 22,72 | 1 | 4 | IDR | 2 | 25 |
| 7 | Cozinha TUG | TUG's | 3x1600<br>1x100 | 1900 | 8,64 | 1 | 2,5 | Disjuntor | 1 | 10 |
| 8 | Cozinha TUE | TUE's | | 2500 | 11,36 | 1 | 2,5 | IDR | 2 | 12 |
| 9 | Ar Condicionado 1 | Dormitório Casal | | 2000 | 9,1 | 1 | 2,5 | Disjuntor | 1 | 10 |
| 10 | Ar Condicionado 2 | Dormitório | | 1500 | 6,8 | 1 | 2,5 | Disjuntor | 1 | 10 |
| Distribuição | | | | 21340 | 86,8 | | | | | |

Fonte: Autores.

# 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 4.1 CÁLCULO DE POTÊNCIA DAS TUGS/TUES

TUGS: Tomadas de uso geral

TUES: Tomadas de uso específico

a) Sacada

Tabela 5: Calculo de potência –Sacada

| Dependência | Área (m²) | Perímetro (m) | Iluminação (VA) | TUG (quant.) | TUE (quant.) | Potência TUG | Potência TUE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Sacada* | 4,2 | 8,6 | 6m² - 100 | 2 | | 200VA | |

Fonte: Autores.

- Área = 1,5 * 2,8 = 4,2m²
- Perímetro = 2*(1,5 + 2,8) = 8,6m
- Cálculo do número de pontos de luz
- Como 4,2 < 6 então nº de pontos de luz = 1 x 100VA
- Cálculo do número de TUG's
- Perímetro/5 = 8,6/5 = 1,72
- Nº de TUG's = 2

b) Dormitório casal

Tabela 6: Cálculo de potência – Dormitório casal

| Dependência | Área (m²) | Perímetro (m) | Iluminação (VA) | TUG (quant.) | TUE (quant.) | Potência TUG | Potência TUE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Dormitório casal* | 13,1 | 14,7 | 6m² - 100<br>4m² - 60<br>3,1m² - 60 | 3 | 1 - ar condicionado | 300VA | 2000 W |

Fonte: Autores.

• Área = 4,5 * 3,1 - [(1,1+,4) * 1,2]/2 = 13,1m²

• Perímetro = 3,1 + 3,3 +0,4 + 1,4 + 2 + 4,5 = 14,7m

• Cálculo do número de pontos de luz

13,1 – 6 = 7,1

7,1/4 = 1,775

100 + 60 + 60 = 220VA

• Cálculo do número de TUG's

Perímetro/5 = 14,7/5 = 2,94 => Nº de TUG's = 3

c) Dormitório

Tabela 7: Cálculo de potência - Dormitório

| Dependência | Área (m²) | Perímetro (m) | Iluminação (VA) | TUG (quant.) | TUE (quant.) | Potência TUG | Potência TUE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dormitório | 8,25 | 11,6 | 6m² - 100 | 3 | 1 - ar condicionado | 300VA | 1500W |

Fonte: Autores.

• Área = 2,5 * 3,3 = 8,25m²

• Perímetro = 2 * (2,5+3,3) = 11,6m

• Cálculo do número de pontos de luz

8,25 – 6 = 2,25

2,25 < 4

1 * 100 = 100VA + 60 = 160VA

• Cálculo do número de TUG's

Perímetro/5 = 11,6/5 = 2,32

Nº de TUG's = 3

d) Banheiro

Tabela 8: Cálculo de potência – Banheiro

| Dependência | Área (m²) | Perímetro (m) | Iluminação (VA) | TUG (quant.) | TUE (quant.) | Potência TUG | Potência TUE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Banheiro* | 4,03 | 8,8 | 6m² - 100 | 3 | 1 - Chuveiro | 1300 VA | 7500 W |

Fonte: Autores.

• Área = 3,1 * 1,3 = 4,03m²

• Perímetro = 2 * (1,3+3,1) = 8,8m

• Cálculo do número de pontos de luz

4 < 6

1x100 = 100VA

• Cálculo do número de TUG's

Perímetro/5 = 8,8/3,5 = 2,5

Nº de TUG's = 3

e) Estar e jantar

Tabela 9: Cálculo de potência - Estar e Jantar

| Dependência | Área (m²) | Perímetro (m) | Iluminação (VA) | TUG (quant.) | TUE (quant.) | Potência TUG | Potência TUE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Estar | 8,96 | 12 | 6m² - 100<br>2,96 m² - 60 | 3 | | 300 VA | |
| Jantar | 6,35 | 11,95 | 6m² - 100 | 3 | | 300 VA | |

Fonte: Autores.

1 - Estar

• Área = 3,2 * 2,8 = 8,961m²

• Perímetro = 2 * (3,2 + 2,8) = 12m

• Cálculo do número de pontos de luz

8,961 - 6 = 2,96

2,96 < 4

1 * 100 = 100VA + 60 = 160VA

• Cálculo do número de TUG's

Perímetro/5 = 12/5 = 2,4

Nº de TUG's = 3

2 - Jantar

• Área = 1,5 * 2,8 + 1,1 * 1,95 = 6,345m²

• Perímetro = 1,5 + 2,8 + 4,8 + 1,95 + 0,9 = 11.95m

• Cálculo do número de pontos de luz

6,345 – 6 = 0,34

1 x 100 = 100VA

• Cálculo do número de TUG's

Perímetro/5 = 11,95/5 = 2,39

Nº de TUG's = 3

c) Área de serviço e Cozinha

Tabela 10: Cálculo e potência - Área de serviço e cozinha

| Dependência | Área (m²) | Perímetro (m) | Iluminação (VA) | TUG (quant.) | TUE (quant.) | Potência TUG | Potência TUE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Área de serviço | 7,22 | 11,4 | 6m² - 100<br>1,22 m² - 60 | 3 | 1 - máquina de lavar | 1300VA | 1000W |
| Cozinha | 8,4 | 14,5 | 6m² - 100<br>2,4 m² - 60 | 4 | 2 - microondas<br>Geladeira | 1900VA | 2000W<br>500W |

Fonte: Autores.

1 – Área de serviço

• Área = 1,9 * 3,8 = 7,22m²

• Perímetro = 2 * (1,9 + 3,8) = 11.4m

• Cálculo do número de pontos de luz

7,22 – 6 = 1,22

1,22 < 4

1 * 100 = 100VA + 60 = 160VA

• Cálculo do número de TUG's

Perímetro/5 = 11,4/3,2 = 2,28

Nº de TUG's = 3

2 – Cozinha

• Área = 3 * 2,5 + (1 * 0,9) = 8,4m²

• Perímetro = 4,7 + 2,5 + 2 + 3,4 + 1 + 0,9 = 14,5m

• Cálculo do número de pontos de luz

8,4 – 6 = 2,4

100 + 60 = 160VA

• Cálculo do número de TUG's

Perímetro/5 = 14,5/3,5 = 4

Nº de TUG's = 4

d) Térreo

Tabela 11: Cálculo de potência – Térreo

| Dependência | Área (m²) | Perímetro (m) | Iluminação (VA) | TUG (quant.) | TUE (quant.) | Potência TUG | Potência TUE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Térreo | 336,3 | 81,8 | 336m² - 5600 | 17 | | 1700 VA | |

Fonte: Autores.

• Área = 11,4 * 29,5 = 336,3m²

• Perímetro = 2 * (11,4 + 29,5) = 81,8m

• Cálculo do número de pontos de luz

336,3/6 = 56,05

56 * 100 = 5600VA

• Cálculo do número de TUG's

Perímetro/5 = 81,8/5 = 16,36

Nº de TUG's = 17

e) Circulação e Hall

Tabela 12: Cálculo de potência - Circulação e Hall

| Dependência | Área (m²) | Perímetro (m) | Iluminação (VA) | TUG (quant.) | TUE (quant.) | Potência TUG | Potência TUE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Circulação | 6,25 | 10 | 6m² - 100 | 2 | | 200VA | |
| Hall | 6,87 | 8,8 | 6m² - 100 | 2 | | 200VA | |

Fonte: Autores.

1 – Circulação

• Área = 2,5 * 2,5 = 6,25m²

• Perímetro = 2 * (2,5 + 2,5) = 10m

• Cálculo do número de pontos de luz

1 * 100 = 100VA

• Cálculo do número de TUG's

Perímetro/5 = 10/5 = 2

Nº de TUG's = 2

2 – Hall

• Área = 2,9 * 2,1 + 1,95 * 0,2 * 2 = 6,87m²

• Perímetro = 2,9 + 3,3 + 2 * (1,3) = 8,8m

• Cálculo do número de pontos de luz

1 * 100 = 100VA

• Cálculo do número de TUG's

Perímetro/5 = 8,8/5 = 1,76

Nº de TUG's = 2

## 4.2 CÁLCULO DE DEMANDA

A equação 01 apresenta a expressão geral para cálculo de demanda:

$$D(kVA) = d_1 + d_2 + (1,5 \cdot d_3) + d_4 + d_5 + d_6 \quad (01)$$

Onde:

D1= demanda de iluminação e tomadas;

D2= demanda dos aparelhos para aquecimento deágua;

D3= demanda dos aparelhos de ar condicionado tipoj a - nela;

D4= demanda das unidades centrais de ar condicionado;

D5= demanda dos motores elétricos e máquinas de solda à motor gerador,

D6= demanda das máquinas de solda a transformador e aparelhos deraios x.

A) Cálculo da demanda de Iluminação e TUGs (Unidade 01):

Dm= Ilum + Tugs

Dm = 1260W+6300 W

Dm = 7560W

**Dm = 7,56 kW**

Pela tabela da norma RECON-BT (tabela 6.3), a carga está maior que 7 kW e menor que 8 kW. Aplicando o fator de demanda segundo a tabela que é de 0,35 temos:

Dm = 7,56 * 0,35

**Dm = 2,64 kW**

Para TUEs temos:

• 1 Aparelho de Aquecimento tipo chuveiro 5000W e conforme RECON-BT (tabela 6.4), o fator de demanda é de 100%.

• 2 aparelhos de ar condicionado (2000W+1500W) = 3500W, conforme a tabela RECON-BT (tabela 6.5), até 04 aparelhos a demanda é de 100%.

Os demais aparelhos terão sua potência nominal, logo:

• Micro-ondas, geladeira e máquina de lavar = 3500W

Dtues= (5000 + 3500 + 3500)

Dtues = 12000 W

**Dtues = 12 kW**

Dtotal= Dil&tugs + Dtues

Dtotal = 2,64 + 12

**Dtotal = 14,64 kVA**

B) Cálculo de demanda da área comum

Dm= Ilum + Tugs

Dm = 5700W+1900W

Dm = 7600W

**Dm = 7,6 kW**

Pela tabela da norma RECON-BT (tabela 6.3), a carga está maior que 7 kW e menor que 8 kW. Aplicando o fator de demanda segundo a tabela que é de 0,35 temos:

Dm = 7,6 * 0,35

**Dm = 2,66 kW**

C) Demanda total da instalação

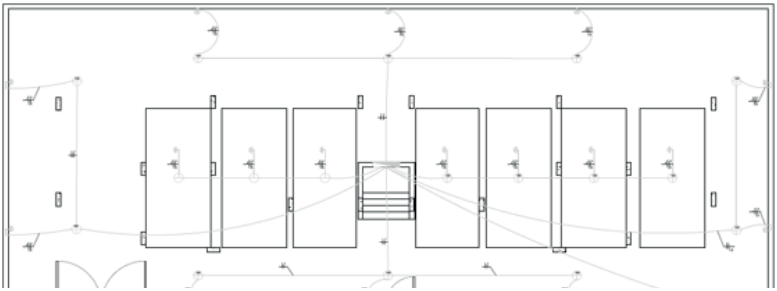
Dt = [4 (2,64 + 12) + 2,66]

**Dt = 61,22 kW**

## 4.3 DIAGRAMA UNIFILAR DE CADA UNIDADE

A) Unidades residenciais

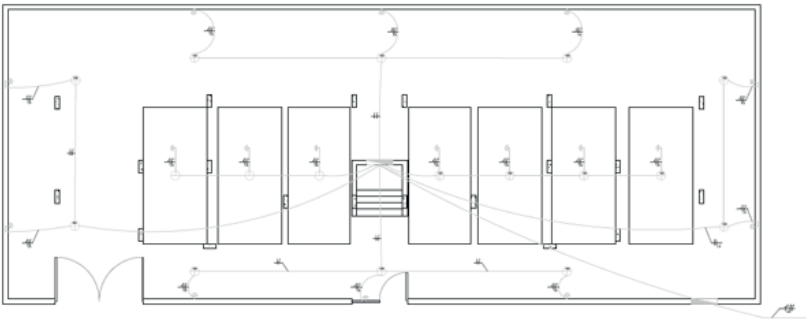
Figura 4: Diagrama unifilar. Unidade Residencial.



Fonte: Autores.

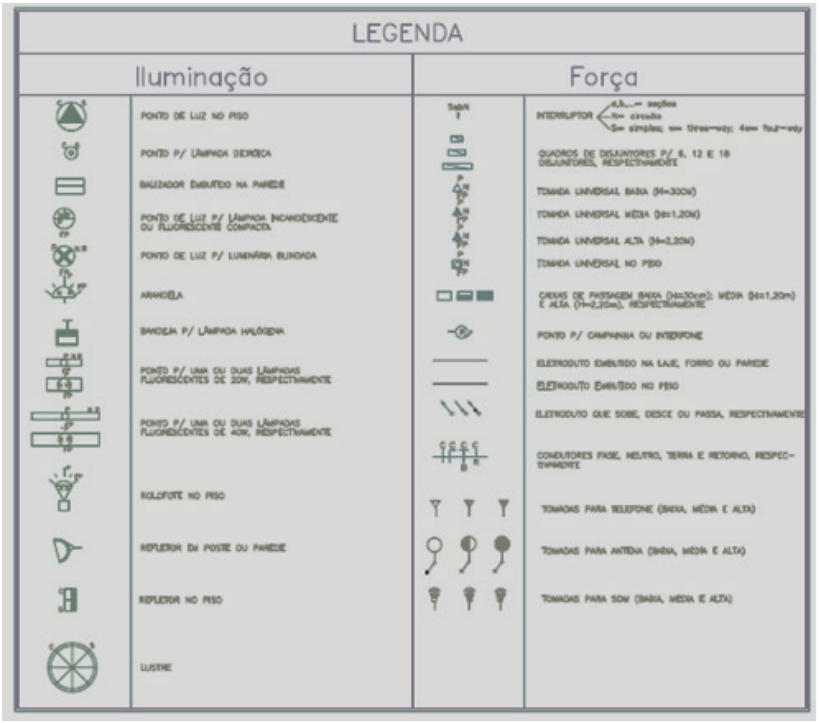
B) Térreo

Figura 5: Diagrama unifilar.



Térreo. Fonte: Autores.

Figura 6: Legenda (diagrama elétrico).




Fonte: Autores.

## 5 CONCLUSÕES

O trabalho demonstrou que em qualquer que seja o tipo de empreendimento, um planejamento das instalações elétricas é um fator determinante no sucesso da obra, o que demanda um alto conhecimento em engenharia elétrica. O projeto elétrico apresentado demonstrou a complexidade inerente à obra civil com inúmeros detalhamentos. A elaboração apresentada possibilitou descrever as dificuldades e obstáculos quando de se trata de determinar a transmissão de energia, alinhamento com o projeto arquitetônico e as normas da concessionária.

Mediante o apresentado, também se concluiu que um projeto bem elaborado, observando as normas técnicas vigentes, proporciona segurança dos construtores e moradores, e, por consequência se evita acidentes e reformulações na estrutura do imóvel na necessidade de implantação de outros equipamentos conectados em baixa tensão.

## REFERÊNCIAS


ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 5410:** Instalações elétricas de baixa tensão. 2. ed. Rio de Janeiro/RJ: ABNT, 2004.

ARAÚJO, Francisco Jadilson SANTOS *et al.* **Análise das instalações elétricas do IFBA – Campus de Paulo Afonso e adequação às normas vigentes**. Paulo Afonso – BA: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2016.

CÂMARA, Andrew Augusto Santos da. **Projeto de instalações elétricas em baixa tensão**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

DANIEL, Eduardo. **Proteção contra choques elétricos**. O setor elétrico, São Paulo. Ed.112, 2015. Cap. V, p.68-73.

GONÇALVES JUNIOR, Francisco. **Dicas para fazer um projeto elétrico mais rápido.** Guia de boas práticas em projetos elétricos. 2015. *E-Book***.** Disponível em: http://maisengenharia.altoqi.com.br/wp-content/uploads/2015/09/ebook-Guia-de-boas-praticas-para-projetos-eletricos.pdf. Acesso em: 11 maio 2020.

SILVA JUNIOR, Ivo Chaves da. **ENE065 instalações elétricas I**. Apresentação em 12 março 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Juiz de Fora. Disponível em: https://www.ufjf.br/ivo_junior/files/2010/12/APRESENTA%c3%87%c3%83O-_ENE065_2012.pdf. Acesso em: 20 de abr. 2020.

LIGHT. Serviços de Eletricidade S.A. **RECON-BT:** entradas individuais e coletivas- Regulamentação para fornecimento de energia elétrica a consumidores em baixa tensão. 2019

LIMA, Letícia Stephanes. **Revisão da norma ABNT NBR 5410: 2004 instalações elétricas de baixa tensão.** 2018.

LIMA FILHO, Domingos Leite. **Projeto de instalações elétricas prediais**. 12. ed. São Paulo: Érica, 2011.

MATTEDE, Henrique. O que é NBR? **Portal Mundo da Elétrica**. Disponível em: https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-nbr-5410/. Acesso em: 28 abr. 2020.

SEITO, Alexandre Itiu *et al.* **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

TAMIETTI, Ricardo Prado. **Engenharia de projetos industriais**. Centro Universitário do Leste de Minas Gerais. 2009.

TOZETTO, Murilo Freitas. **Instalações elétricas residenciais e sistemas de proteção**. 2018.

# REDIMENSIONAMENTO E CÁLCULO DE CARGAS: CASO PRÁTICO EM UMA EMPRESA DE LOCAÇÃO DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS

## RESIZING AND LOADING CALCULATION: PRACTICAL CASE IN AN INDUSTRIAL MACHINE LEASE COMPANY

Jonatan dos Santos Vieira[1]
Marco Antônio dos Santos[2]
Rafael de Oliveira Costa[3]
Marco Antônio Gabriel[4]

**RESUMO:** Este trabalho apresenta um projeto com uma abordagem em todos os quesitos referentes a parte elétrica, onde foi aplicado o cálculo de condutores e tipos a serem utilizados, dimensionamento, cálculo de demanda, definição do layout dos componentes, do sistema de medição, proteção, e a norma técnica ABNT NBR5410: 2004. O objetivo foi identificar o melhor dimensionamento para as instalações contidas no espaço de utilização de uma empresa tanto para uso de prestação de serviços e reparo de equipamentos quanto para o atendimento dos clientes. O estudo técnico para a implementação de um Grupo Motor Gerador (GRG) e a implantação de um diferencial competitivo gerando uma redução considerável nos custos. Através do projeto desenvolvido concluiu-se que o ganho com as adequações propostas seria significativo a médio e longo prazo, tanto os ganhos estruturais quando de qualidade para os empregados na execução das suas atividades diárias, partindo do princípio da melhoria do local de trabalho versus produtividade.

**Palavras-chave:** Projeto elétrico. Demanda energética. Carga instalada.

1 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM)
2 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM)
3 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM)
4 Docente Mestre do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**ABSTRACT:** This work presents a project with an approach in all questions regarding the electrical part, where the calculation of conductors and types to be used was applied, dimensioning, demand calculation, definition of the layout of the components, the measurement system, protection, and the technical standard ABNT NBR5410:2004. The objective was to identify the best dimensioning for the installations contained in the space of use of a company, both for the use of rendering services and repair of equipment and for customer service. The technical study for the implementation of a Generating Motor Group (GRG) and the implementation of a competitive differential generating a considerable reduction in costs. Through the developed project it was concluded that the gain with the proposed adaptations would be significant in the medium a long term, both the structural and quality gains for the employees in the execution of their daily activities, based on the principle of improving the workplace versus productivity.

**Keywords:** Electrical project. Energy demand. Installed load

## 1 INTRODUÇÃO

Em um mundo totalmente competitivo onde o controle do tempo e dos custos de produção e prestação de serviços pode determinar o sucesso ou o fracasso das organizações, uma adequação a esse novo mercado torna-se um diferencial competitivo frente as concorrentes. Quando se trata de um novo objetivo a ser alcançado, podem surgir dificuldades, mas um projeto bem elaborado auxilia positivamente no alcance do que for proposto, pois ele possibilita prever os recursos necessários a serem empregados para a transformação dos planos em realidade.

O projeto tem um tempo determinado para início, meio e fim e essas etapas que o diferem, no qual o seu fim pode ser alterado devido a intempéries não previstas. O monitoramento do andamento do que foi planejado, controle para possível

correção e a parte de finalização, onde são fatores importantes de acompanhamento. No projeto em questão foi feito uma abordagem em todos os quesitos referentes a parte elétrica, onde é aplicado o cálculo de condutores e tipos a serem utilizados, dimensionamento, definição do layout dos componentes, do sistema de medição, proteção, entre outros. Usando como base o que é determinado pela norma técnica nacional ABNT NBR5410: 2004

### 1.1 OBJETIVOS

Desenvolver um estudo de caso para aplicar um projeto elétrico para o redimensionamento da demanda requerida pelas instalações de uma empresa e propor soluções possíveis para o melhor aproveitamento da energia utilizada, gerando uma melhora na competitividade e no ambiente de trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

### 2.1 PROJETO

Quando se aborda o conceito de “projeto”, fica evidente que o mesmo tem como uma de suas finalidades vitais, a busca de um resultado único e possui tempo e recursos delimitados previamente. Esse processo pode ser direcionado para vários ou poucos membros e perceptível ou imperceptivelmente estão ligados ao processo organizacional. Em concordância com (DA SILVA E CIM, 2012, p.14), projetos são empreendimentos que fazem parte consciente ou inconscientemente, do dia a dia de qualquer organização. A visão da empresa influenciará sensivelmente no sucesso dos projetos.

Campos (*apud* DAVIS, 2001, p.360) acrescenta que “Um projeto é simplesmente um empreendimento organizado para alcançar um objetivo específico. [ ] ... é uma série de atividades ou de tarefas relacionadas que são, geralmente, direcionadas para uma saída principal e que necessitam um período de tempo significativo para sua realização. O início de um projeto pode ser diverso; uma imposição legal, uma evolução tecnológica,

um pedi- do de cliente, uma demanda do mercado, entre outras. Em resumo, um projeto nasce de uma necessidade, que, resulta na geração de ideias. (SILVA; CIM, 2012).

Os projetos elétricos não fogem do que é estabelecido no projeto de forma geral, nas instalações elétricas industriais como citado por Mamed (2010), é pertinente determinar as características do local em que irá ser feita a implantação do projeto, da planta baixa e do local, verificar aspectos como confiabilidade, necessidade, continuidade, tempo, envolvimento das partes interessadas, entre outros. Para isso necessita-se consulta à documentos normativos da ABNT e à documentos que possibilitem as mudanças e adaptações a serem implantadas.

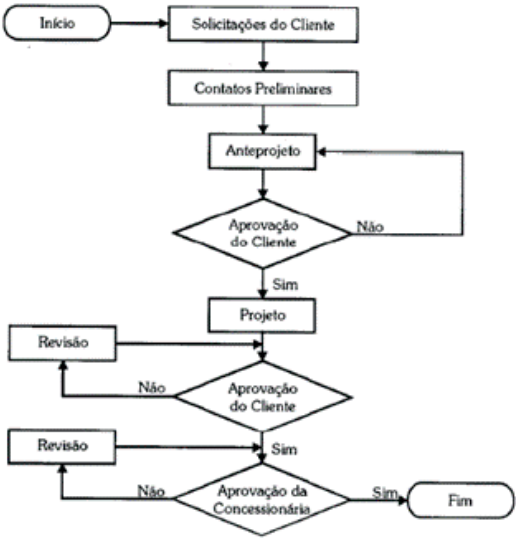
O projeto de uma instalação elétrica consiste em determinar os materiais, tanto em especificação quanto em quantidade, visa ainda especificar como serão feitas as instalações que demandam energia elétrica após o término da obra. Isso será aplicado nas iluminações e para nas redes de tomadas, assim como em todos os pontos de energia a serem utilizados, a divisão do circuito, qual o melhor trajeto, os cálculos de demanda entre outros. De acordo com Creder (2007, p. 580).

> É a previsão escrita da instalação, com todos os seus detalhes, localização dos pontos de utilização da energia elétrica, comandos, trajeto dos condutores, divisão em circuitos, sessão dos condutores, dispositivos de manobras, carga de cada circuito, carga total etc.

Na fase de execução os devidos responsáveis devem portar todos os descritivos e caminhos a serem percorridos para a obtenção do sucesso que nesse caso seria a implantação e obtenção do sucesso no projeto elétrico. Onde se tem o direcionamento do que se deve cumprir dentro do objetivo de um projeto elétrico que é a garantia da transferência de energia de uma fonte até os locais a serem utilizados. Creder (2007), salienta que o projeto elétrico tem como um de seus objetivos, mapear os componentes e todas as fontes de energia contidas na ins-

talação onde surge a clareza para modificação ou adequação do local a ser trabalhado. A figura 1 apresenta o fluxograma idealizado por este autor.

Figura 1: Fluxograma de operacionalidade de um projeto




Fonte: CREDER (2007).

## 2.2 NORMAS TÉCNICAS

Sem sombra de dúvidas não se parte do nada em busca da elaboração de um projeto, é necessário se basear em critérios estabelecidos por órgãos e empresas que emitam documentos e descritivos com propriedades técnicas e direcionadas para tal (MAMED, 2012). Os projetos elétricos sejam eles de qualquer porte, precisam ser elaborados baseando-se em documentos normativos, no país em questão, o Brasil, esses documentos são de responsabilidade da ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas.

### 2.2.1 NBR5410

A norma em questão (NBR5410) tem como premissa o esta-

belecimento das condições nas quais devem serem seguidas pelas instalações elétricas de baixa tensão, buscando garantir a segurança das pessoas e animais, o funcionamento correto das instalações e conservação de bens e equipamentos. Essa norma é aplicada principalmente às instalações elétricas de edificações seja residencial, comercial, industrial, de serviços, público, agropecuário, entre outros. Aplica-se ainda as instalações elétricas nas suas variáveis aplicações como: Áreas descobertas, fora das edificações, campings, trailers, canteiros de obras, instalações temporárias, exposições e afins. NBR5410 (2004). Essa normatização ainda se aplica a todos os circuitos elétricos sob tensão nominal igual ou inferior a 1000V em corrente alternada, com frequência inferior a 400Hz, ou a 1500V em CC.

### 2.2.2 NBR5413

A NBR 5413 estabelece determinados valores de iluminância, do mínimo necessário no serviço de iluminação artificial nos interiores, locais esses onde se realizam atividades de ensino, esporte, indústria, comércios entre outros. Iluminância pode ser determinada como a densidade do total de luz que se reflete em uma determinada área ou superfície e em uma distância ou sentido pré-determinado. A iluminância como descrito na própria (NBR5413, 1992, p.1) “Iluminância é o limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície quando esta tende para zero”. A medição de iluminância dever ser feita no ambiente de trabalho. Caso não seja estabelecido a medição, adota-se o nível de referência a um plano horizontal a 0.75metros do piso. A NBR complementa que o restante do ambiente não deve adotar uma iluminância menor que um décimo (1/10) do que é adotado no ambiente de trabalho, essa recomendação dever ser seguida mesmo que indiquem valores menores. É acrescido ainda por (CREDER, 2007, p.62):

> Em cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6m² deverá ser prevista uma carga de pelo

menos 100VA, e com área superior a 6m² deverá ser prevista uma carga mínima de 100VA para os primeiros 6m², acrescida de 60VA para cada aumento nominal das lâmpadas.

Segundo Mamed (2012, p.31), “Os recintos industriais devem ser suficientemente iluminados para se obter o melhor rendimento possível nas tarefas a executar”. Os dados da NBR5413, amparam a necessidade dessa iluminância, como a tabela 1 retirada da norma salienta:

Tabela 1: Fatores determinantes de iluminância

| Características da tarefa e do observador | Peso | | |
|---|---|---|---|
| | -1 | 0 | +1 |
| Idade | Inferior a 40 anos | 40 a 55 anos | Superior a 55 anos |
| Velocidade e precisão | Sem importância | Importante | Crítica |
| Refletância do fundo da tarefa | Superior a 70% | 30 a 70% | Inferior a 30% |

Fonte: Adaptado da NBR5413 (1992, p.2).

### 2.2.3 NBR5419

Essa norma fixa as condições exigidas no projeto, nas instalações e na manutenção de sistemas de descarga atmosférica (SPDA), abrangendo as pessoas e as instalações no seu aspecto físico. Essa norma é aplicada nas estruturas direcionadas aos fins comerciais, industriais, agrícolas, administrativos ou residenciais e pôr fim a algumas estruturas consideradas especiais. Somente não se aplica nos casos descritos na tabela 2:

Tabela 2: Sistemas não aplicáveis a 5419

| SISTEMAS QUE NÃO SE APLICAM A NBR5419 |
|---|
| Sistemas ferroviários |
| Sistemas de geração |
| Sistema de transmissão |
| Sistema de distribução de energia externa às estruturas |
| Sistemas de telecomunicação externos às estruturas |
| Veículos, aeronaves, navios e plataformas marítimas |

Fonte: Adaptado da NBR5419 (2001, p.2).

### 2.2.4 Levantamento de carga

Quando se iniciam novos aportes considerados significativos de carga ou ao se identificar aumento deliberado da potência elétrica instalada, com o passar do tempo de instalação o levantamento de carga é imprescindível para adequações dos possíveis desconhecimentos do grau de carregamento elétrico. Dentro desse levantamento temos que refinar ao máximo as demandas do local, visando atender o projeto até nos pequenos detalhes que junto as particularidades do sistema podem gerar interferência futura. Partindo dessa análise, três fatores precisam ser abordados, o que se estabelece para iluminação, tomadas de uso geral (TUG´s) e para as tomadas de uso específico (TUE´s).

Nesse levantamento feito pela norma, nota-se o ponto de partida para o estabelecimento da melhor iluminância com base comportamental gerado por cada quadro de idades. Outro ponto importante a ser inserido nesse estudo é o do levantamento das tomadas de uso gerais (TUG´s). Como estabelecido na

parte da iluminação, as tomadas de uso gerais também têm critérios a serem seguidos para o estabelecimento dos pontos dessas tomadas – tabela 3.

Tabela 3: Critérios a serem seguidos para o uso das TUG´s

| CRITÉRIOS A SEREM SEGUIDOS PARA USO DAS TUG´s |
|---|
| No banheiro, ao menos um ponto de tomada próximo ao lavatório |
| Em cozinha, copa-cozinha, áreas de serviço, lavanderias ao menos um ponto de tomada a cada 3,5m, acima de cada bancada com largura de 0,30m ou mais, também ao menos um ponto de tomada. |
| Em garagens, subsolos, varandas, sala de bombas e locais similares ao menos um ponto de tomada. Colocar ao menos um ponto em áreas inferiores a 6m², sendo maior que isso ao menos um ponto a cada 5m, ou fração de perímetro espeçados de forma uniforme. |
| Nas varandas instalar próximo ao acesso, quando for possível a instalação. |
| Os pontos de tomadas devem ter uma potência atribuída da seguinte maneira: Nos banheiros, cozinhas, copas, área de serviço, lavanderias e locais análogos, o mínimo 600VA por ponto de tomada contendo até três pontos, e 100VA por ponto de tomada para os excedentes, considerando cada um desses ambientes separados. |
| Fora os locais citados acima considerar no mínimo 100VA por ponto de tomada. |

Fonte: Adaptado de Instalações elétricas (2007, p.62).

### 2.2.5 Cálculo de demanda

Quando se analisa a eficiência do sistema elétrico é necessário o dimensionamento e o preparo requerido para que seja atendido os diferentes tipos de cargas conectadas a esse sistema. O consumo é denominado como demanda contratada. De forma simplificada, calcula-se a demanda com base na demanda de potência em kW que é realizada pela empresa ou

a mesma necessita após o somatório dos valores de potência de iluminação, máquinas e todos os outros equipamentos existentes na empresa. Após o alinhamento da contratada com a fornecedora de energia, a potência que foi informada deverá ser atendida. Ao passo que a empresa que contratou o serviço não pode também ultrapassar o consumo informado, caso isso aconteça serão cobradas multas denominadas de demanda de ultrapassagem, que é muito mais cara do que a demanda contratada. Cada empresa precisa identificar a sua necessidade de consumo específico visando determinar um sistema que seja eficiente tendo como resultado um consumo de eletricidade otimizado e econômico.

### 2.2.5.1 Fator de Demanda (Fd)

Tem como característica a relação entre a demanda máxima ($D_{máx}$) de todo o sistema e a carga que foi conectada a ele também denominada de potência instalada. É representado pela seguinte equação 01:

$$Fd = \frac{Dmáx}{Pinst} \quad \textbf{(01)}$$

### 2.2.5.2 Fator de Carga (Fc)

Consiste na razão contida entre a demanda média em um determinado período de tempo e a demanda máxima que foi registrada no mesmo período em questão. Sua equação 02 é descrita da seguinte maneira:

$$Fc = \frac{Dméd}{Dmáx} \quad \textbf{(02)}$$

### 2.2.5.3 Fator de Perda (Fpr)

Esse fator é descrito como a relação entre a potência que foi perdida na demanda média e a perda de potência ocorrida na máxima, é o fator perda de energia do sistema. Em uma equação 03 é representado assim:

$$Fpr = 0.30 * Fc + 0,7 * Fc^2 \quad \textbf{(03)}$$

### 2.2.5.4 Fator de Simultaneidade (Fs)

É estabelecido por tabela e para a determinação desse fator relaciona-se a demanda máxima de determinado grupo de aparelhos pela soma das demandas individuas dos aparelhos desse mesmo grupo que foi determinado. Como apresentado na tabela 4:

Tabela 4: Fator de Simultaneidade

| Aparelhos (cv) | Número de aparelhos | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 4 | 5 | 8 | 10 | 15 | 20 | 50 |
| Motores: 3/4 a 2,5 | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,40 |
| Motores: 3 a 15 | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,75 | 0,70 | 0,65 | 0,55 | 0,45 |
| Motores: 20 a 40 cv | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,75 | 0,65 | 0,60 | 0,60 | 0,50 |
| Acima de 40 cv | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,70 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,60 |
| Retificadores | 0,90 | 0,90 | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,70 | 0,70 |
| Soldadores | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 0,40 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| Fornos resistivos | 1,00 | 1,00 | - | - | - | - | - | - |
| Fornos de indução | 1,00 | 1,00 | - | - | - | - | - | - |

Fonte: Sistema elétrico e potência.

### 2.2.5.5 Fator de Utilização (Fu)

Esse fator é aplicado a potência nominal do aparelho para que se obtenha a potência média absorvida pelo aparelho determinado em condições de utilização. A tabela 5 mostra alguns valores do fator de utilização.

Tabela 5: Fator de utilização

| Aparelhos | Fator de utilização |
|---|---|
| Fornos a resistência | 1,00 |
| Secadores, caldeiras, etc. | 1,00 |
| Fornos de indução | 1,00 |
| Motores de | 0,70 |
| Motores de | 0,83 |
| Motores de | 0,85 |
| Acima de 40 cv | 0,87 |
| Soldadores | 1,00 |
| Retificadores | 1,00 |

Fonte: Sistema elétrico e potência.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os levantamentos e análises foram feitas com embasamento teórico contido dentro das normas regulamentadoras em conjunto com a análise local de tudo o que foi visualizado na empresa em questão, buscando abordar todos os conceitos necessários para o projeto determinado. Como os cálculos dos fatores de demanda, carga, perda, simultaneidade e utilização entre outros. O atual cenário não atende completamente as normas e pode estar impossibilitando uma economia no consumo de energia e melhor condição de trabalho e segurança como é descrito na tabela 6 adaptada abaixo:

Tabela 6: Cenário atual da empresa

| CENÁRIO ATUAL |
|---|
| Cabos expostos em diversos locais |
| Falta de iluminação adequada |
| Disjuntor sem proteção devida como é requerido pela norma |
| Uso de lâmpadas mistas e fluorescente, interferindo diretamente no consumo |
| Disjuntores dimensionados de maneira incorreta |
| Tomadas fora do padrão estabelecido pela norma |
| Falta de aterramento |
| Falta de identificação em alguns equipamentos |

Fonte: Dados coletados pelos autores nas visitas ao local

## 3.1 DESENVOLVIMENTOS DOS CÁLCULOS

Esse tópico tem como finalidade demonstrar a maneira que os cálculos foram realizados.

**No quadro de luz e tomadas temos**

- 8 REFLETORES DE LED 50W
- 5 LAMPADAS DE LED 15W
- 2 LAMPADAS DE LED 10W
- 18 LAMPADAS DE LED 9W
- 28 TOMADAS TUG 100 VA

• 13 TOMADAS TUG 600 VA

• 5 TOMADAS TUE

**Divisão dos circuitos para realizar equilíbrio nas fases**

• ILUMINAÇÃO 1 CIRCUITO

• TOMADAS TUG 600VA 4 CIRCUITOS

• TOMADAS TUG 100VA 1 CIRCUITO

**Número de dispositivos por circuitos**

• ILUMINAÇÃO 33 LAMPADAS NO CIRCUITO

• TOMADAS TUG 600VA 3 TOMADAS POR CIRCUITO (UM CIRCUITO COM 4)

• TOMADAS 100VA 28 TOMADAS NO CIRCUITO

### 3.1.1 Cálculo da demanda de iluminação

$$DL = DL1 + DL2 + DLN \quad \textbf{(04)}$$

A equação representada acima é usada para calcular a demanda total da iluminação, porém para a entrada dos valores é preciso primeiro elaborar o cálculo individual de cada demanda, como foi feito conforme figura 2 abaixo:

Figura 2: Descrição das equações necessárias.

$$DL = Dl_1 + Dl_2 + \ldots Dl_n$$

$$Dl_1 = \sum Nl_1 * \left( \frac{Pl_1 + \mathrm{Pr}_1}{Fp} \right)$$

$$Dl_2 = \sum Nl_2 * \left( \frac{Pl_2 + \mathrm{Pr}_2}{Fp} \right)$$

$$D\ln = \sum Nln * \left( \frac{P\ln + \mathrm{Pr}_n}{Fp} \right)$$

$\sum Nl$ = Quant. de Luminárias (Lâmpadas)

$\mathrm{Pl}_{(1,2,n)}$=Potência da Lâmpada 1, 2 e n
$\mathrm{Pr}_{(1,2,n)}$=Perda no Reator 1, 2 e n
$\mathrm{Dl}_{(1,2,n)}$= Demanda de Iluminação de luminária 1, 2 e n
Fp=cosϕ=Fator de potência médio (lâmpada + Reator)

Fonte: Creder (2007).

Lâmpada de led 50W

$$DL1 = \sum 8 * \frac{50}{1} = 0{,}4KVA$$

Lâmpada de led 15W

$$DL2 = \sum 5 * \frac{15}{1} = 0{,}075KVA$$

Lâmpada de led 10W

$$DL3 = \sum 2 * \frac{10}{1} = 0{,}020KVA$$

Tubular 9W

$$DL4 = \sum 18 * \frac{9}{1} = 0{,}162KVA$$

### 3.1.2 Cálculo total da demanda iluminação

$$DL = DL1 + DL2 + DLN \quad \textbf{(05)}$$

$$DLT = 0{,}4 + 0{,}075 + 0{,}020 + 0{,}162 = 0{,}657\ KVA \quad \textbf{(06)}$$

Após feito todos os cálculos das respectivas demandas de iluminação, foi feito o somatório dos valores encontrados para a obtenção do resultado final.

### 3.1.3 Corrente do circuito de iluminação

$$IFL = \frac{N}{VF} * \frac{PL+PR}{FP} \quad \textbf{(07)}$$

$$IFL = \frac{1}{220} * \frac{657+0}{1} = 2{,}98\ A$$

A lâmpada de led não possui perdas devido ao fato da não utilização de reatores, sendo assim considera-se o seu fator de potência igual a 1.

### 3.1.4 Cálculo da demanda de tomadas TUG´s e TUE´s

A forma de calcular as devidas demandas das tomadas está representada abaixo, onde o produto do total de tomadas e aplicado na divisão da potência total pelo fator de potência utilizado de 0,92.

$$DTUG = N * \frac{PT}{FP} \quad \textbf{(08)}$$

Tomadas TUG 600va

$$DTUG = 13 * \frac{600}{0{,}92} = 8{,}5KVA$$

Tomadas TUG 100va

$$DTUG = 28 * \frac{100}{0{,}92} = 3KVA$$

Tomadas TUG 8700va

$$DTUG = 1 * \frac{877}{0,92} = 0,95KVA$$

Tomadas TUG 5500va

$$DTUG = 2 * \frac{5500}{0,92} = 11,956\ KVA$$

Tomadas TUG 5655

$$DTUG = 2 * \frac{5655}{0,92} = 12,3\ KVA$$

### 3.1.5 Cálculo da demanda total das TUG´s e TUE´s

Após ter feito os cálculos individuais da demanda das tomadas, aplicou-se o somatório para obtenção da demanda total das mesmas e o resultado obtido foi calculado pela equação 09.

$$\sum DT = DT1 + DT2 + DTN \quad \textbf{(09)}$$

$$\sum DT = 8,5 + 3 + 0,95 + 11,956 + 12,3 = 36,7\ KVA$$

### 3.1.6 Cálculo da corrente por circuitos de tomadas

A forma utilizada para o cálculo da corrente dor circuitos de tomadas é colocada abaixo, onde utiliza-se o produto da divisão do número de tomadas pela tensão total e a potência total das tomadas pelo fator de potência das mesmas.

$$IFT = \frac{N}{V} * \frac{PT}{FP} \quad \textbf{(10)}$$

Tomadas TUG 600 VA

$$IFT = \frac{13}{220} * \frac{600 -}{0,92} = 38,53\ A$$

Lembrando que um circuito de tomada não pode ter mais do que 16 A, dessa forma a divisão ficou da seguinte maneira, em 3 circuitos com 3 tomadas e um circuito com 4 tomadas cada, então teremos:

$$IFT = \frac{3}{220} * \frac{600}{0{,}92} = 8{,}89\ A$$

O resultado acima corresponde aos 3 circuitos com 3 tomadas, onde a amperagem do circuito será de 8,89 a em cada um deles.

$$IFT = \frac{4}{220} * \frac{600}{0{,}92} = 11{,}85\ A$$

O resultado acima corresponde ao circuito que irá conter as 4 tomadas, onde a amperagem total desse circuito será de 11,85 A.

Tomadas de 100 VA:

$$IFT = \frac{28}{220} * \frac{100}{0{,}92} = 13\ A$$

Como é estabelecido pela norma, a corrente ficou a baixo de 16 A, podendo assim ser aplicada em apenas 1. Teremos dessa maneira 1 circuito contendo 28 tomadas no total.

Corrente ckt TUE 8700

$$IFT = \frac{1}{220} * \frac{877}{0{,}92} = 4{,}33A$$

Corrente ckt TUE 5655

$$IFT = \frac{2}{220 * \sqrt{3}} * \frac{5655}{0{,}92} = 32{,}26\ A$$

Vale ressaltar que os 32,26A são de dois circuitos diferentes sendo 16,13A para cada circuito.

Corrente ckt TUE chuveiro

$$IFT = \frac{2}{220} * \frac{5500}{0,92} = 54,34\ A$$

Os 54,34 A são de dois circuitos diferentes sendo 27,17 a para cada circuito.

$$Icircres = \frac{\sum ifase}{n° \ de \ circuitos} \quad \textbf{(11)}$$

$$Icircres = \frac{24,85}{2} = 12,42$$

Cada circuito reserva terá como valor em ampères 12,42 A, como encontrado nos cálculos acima.

### 3.1.7 Cálculo da demanda total do QDFL

$$QDFL = DT + DL \quad \textbf{(12)}$$

$$QDFL = 36,7 + 0,657 = 37,35\ KVA$$

A corrente do circuito reserva precisa de um ponto de partida para ser calculada e esse ponto se dá com base no resultado do Quadro de força de iluminação, cujo resultado foi 37,53KVA.

$$QDFL = \frac{37,35}{6} = 6,22\ KVA\ para\ cada\ circuito$$

$$DQDFL = 37,35 + (2 * 6,22) = 49,79\ KVA$$

$$IQDFL = \frac{49{,}79}{220 * \sqrt{3}} = 130{,}66\ A\ \ corrente\ do\ disjuntor\ de\ proteção\ com\ disjuntor\ res$$

Para um ajuste mais adequado possível iremos usar um disjuntor de 150 A o Weg DWP250L-150-3. Que tem como característica uma corrente nominal de 150 A, contendo 3 polos, com um disparador magnético interno.

### 3.1.8 Cálculo de demanda nas bancadas

O cálculo de cada bancada foi feito baseado no formato abaixo, anulando o fator número de motores pois não aplicamos nesse projeto. Ressaltando que os cálculos da máquina de solda foram feitos com seus dados em KVA, conforme descrito na figura 3.

Figura 3: Cálculo da Demanda.

$$D = Nm * \frac{P(CV) * 736}{\eta * Fp} * Fu * Fs$$

Onde:
P(CV)= Potência do motor em CV
Fp=cosϕ=Fator de potência
η = rendimento
Fu= Fator de Utilização
Fs= Fator de simultaneidade
Nm= número de motores

Fonte: Creder (2007).

$$IB1 = \frac{47{,}52}{220} = 124{,}7A\ corrente\ do\ disjuntor\ de\ proteção$$

$$CCB1 = \frac{47{,}52}{6} = 7{,}92\ KVA\ para\ cada\ circuito$$

$$DCCB1 = 47{,}52 + (2 * 7{,}92) = 63{,}36\ KVA$$

$$IB1 = \frac{63{,}36}{220 * \sqrt{3}} = 166{,}28\ A\ nova\ corrente\ do\ disjuntor\ de\ proteção$$

O disjuntor geral que foi utilizado na bancada 1 possuía dois circuitos reservas térmicos ajustáveis, modelo. weg modelo DWB250I200-3DF.

$$IB2 = \frac{16{,}69}{220 * \sqrt{3}} = 13{,}8A\ corrente\ do\ disjuntor\ de\ proteção$$

$$CCB2 = \frac{16{,}69}{6} = 2{,}78\ KVA\ para\ cada\ circuito$$

$$DCCB2 = 16{,}69 + (2 * 2{,}78) = 22{,}25KVA$$

$$IB2 = \frac{22{,}25}{220 * \sqrt{3}} = 58{,}39\ A\ nova\ corrente\ do\ disjuntor\ de\ proteção$$

O disjuntor geral que será utilizado na bancada 2 já com os dois circuitos reservas foi o weg, modelo DWB100CE70-3DX.

$$IB3 = \frac{16{,}54}{220 * \sqrt{3}} = 43{,}4A\ corrente\ do\ disjuntor\ de\ proteção$$

$$CCB3 = \frac{16{,}54}{6} = 2{,}75\ KVA\ para\ cada\ circuito$$

$$DCCB3 = 16{,}54 + (2 * 2{,}75) = 22{,}1\ KVA$$

$$IB3 = \frac{22{,}1}{220 * \sqrt{3}} = 58\ A\ nova\ corrente\ do\ disjuntor\ de\ proteção$$

O disjuntor geral que será utilizado na bancada 3 já com os dois circuitos reservas foi o mesmo utilizado na bancada 2 o weg, modelo DWB100CE70-3DX.

$$IB4 = \frac{6{,}036}{220 * \sqrt{3}} = 15{,}8A \; corrente \; do \; disjuntor \; de \; proteção$$

$$CCB4 = \frac{6{,}036}{4} = 1{,}5 \; KVA \; para \; cada \; circuito$$

$$DCCB4 = 6{,}036 + (2 * 1{,}5) = 9{,}036 \; KVA$$

$$IB4 = \frac{9{,}036}{220} = 23{,}71A \; A \; nova \; corrente \; do \; disjuntor \; de \; proteção$$

O disjuntor geral que será utilizado na bancada 4 já com os dois circuitos reservas foi o weg, modelo DWB100CE30-3DX.

No painel do compressor será utilizado um disjuntor de 40 Ampères, weg, modelo, MDWC25-3.

Após todos os levantamentos feitos de forma individual das demandas e correntes, efetuou-se o somatório para a obtenção da demanda total e corrente total do quadro de distribuição força. Neste calculo utilizamos o fator de simultaneidade e fator de utilização para nossa base de cálculo.

$$\underline{DQF = DCCB1 + DCCB2 + DCCB3 + DCCB4 + PN \; COMPR}$$

$$\underline{DQF = 66{,}86kva}$$

$$\mathrm{IQDF} = \frac{66{,}86 \; KVA}{220 * \sqrt{3}} = 175{,}5A$$

$$RESERVA = \frac{66{,}86kva}{5} = 13{,}3 \ \ KVA\ para\ cada\ circuito$$

$$DQDF = 66{,}86 + (2 * 13{,}3) = 93{,}46\ KVA$$

$$\text{IQDF} = \frac{93{,}46\ KVA}{220 * \sqrt{3}} = 245{,}3\ \text{A}$$

$A\ nova\ corrente\ do\ disjuntor\ de\ proteção$

O disjuntor geral que será utilizado no QDF já com os dois circuitos reservas será o weg, modelo DWB250JE250-3DF.

Após todos os levantamentos feitos do QDF e QDFL, efetuou-se o somatório para a obtenção do resultado da demanda total e corrente total do quadro de distribuição geral.

$$\underline{DT = QDF + QDFL}$$

$$\underline{DT = 93{,}46 + 49{,}79 = 146{,}25\ KVA}$$

$$\text{IQDG} = \frac{146{,}25\ KVA}{220 * \sqrt{3}} = 383{,}8A$$

$$CCB1 = \frac{146{,}25KVA}{2} = 73{,}125\ KVA\ para\ cada\ circuito$$

$$DCCB1 = 146{,}25KVA + (2 * 73{,}125KVA) = 292{,}5\ KVA$$

$$IQDG = \frac{292{,}5KVA}{220 * \sqrt{3}} = 767{,}3A\ A\ nova\ corrente\ do\ disjuntor\ de\ proteção$$

O disjuntor geral que será utilizado no QDF já com os dois circuitos reservas será o weg, modelo UBW1200H-ELS800-3ª.

### 3.1.9 Dimensionamento de cabos por queda de tensão

$$Cabo = distancia\,(m) * demanda\ \ (W)$$

Tabela 7: Dimensionamento de cabos

| Condutor ($mm^2$) | Queda de tensão *e* (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1% | 2% | 3% | 4% | 5% |
| 1,5 | 21 054 | 42 108 | 63 162 | 84 216 | 105 270 |
| 2,5 | 35 090 | 70 180 | 105 270 | 140 360 | 175 450 |
| 4 | 56 144 | 112 288 | 168 432 | 224 576 | 280 720 |
| 6 | 84 216 | 168 432 | 252 648 | 336 864 | 421 080 |
| 10 | 140 360 | 280 720 | 421 080 | 561 440 | 701 800 |
| 16 | 224 576 | 449 152 | 673 728 | 898 304 | 1 122 880 |
| 25 | 350 900 | 701 800 | 1 052 700 | 1 403 600 | 1 754 500 |
| 35 | 491 260 | 982 520 | 1 473 780 | 1 965 040 | 2 456 300 |
| 50 | 701 800 | 1 403 600 | 2 105 400 | 2 807 200 | 3 509 000 |
| 70 | 982 520 | 1 965 040 | 2 947 560 | 3 930 080 | 4 912 600 |
| 95 | 1 333 420 | 2 666 840 | 4 000 260 | 5 333 680 | 6 667 100 |

**Observação**: Para circuitos trifásicos, multiplicar as distâncias por $\sqrt{3}/2$

Fonte: Dimensionamento de condutores e eletrodutos. 20/06/2020.

QDG para QDFL (atendendo a 1%):

$$Cabo = 5 * 45779{,}2\ (W)$$

$$Cabo = 228896$$

$$Cabo = 16\ mm^2$$

QDFL para Iluminação (atendendo a 1%):

$$Cabo = ((7 + 9 + 6{,}5 + 8{,}5 + 10 + 12{,}5 + 14{,}5 + 16{,}5) * 50) + ((22{,}5 + 22{,}5 + 24{,}5) * 10) + ((24{,}5 + 17{,}5 + 19 + 19) * 15) + ((15{,}5 + 15{,}5 + 17{,}5 + 20{,}5 + 20{,}5 + 25{,}5 + 25{,}5 + 27{,}5 + 27{,}5) * 9)$$

$$Cabo = 7537 = 1{,}5mm^2$$

Atendendo a NBR5410 para circuito de força utilizaremos 2,5mm².

QDFL para ar condicionado 877W

$$Cabo = 15 * 877$$

$$Cabo = 13155\ cabo\ 1{,}5\ mm^2$$

Atendendo a NBR5410 para circuito de força utilizaremos 2,5mm²

QDFL para ar condicionado 5665 w (atendendo a 1%)

$$Cabo = 33 * 5665$$

$$Cabo = 186945 = 10mm^2$$

Serão dois circuitos, um para cada Ar condicionado.

QDFL para chuveiro (atendendo a 1%)

$$Cabo = 26 * 5500$$

$$Cabo = 143000 = 6mm^2$$

Serão dois circuitos, um para cada chuveiro.

QDFL para 3 tomadas TUG 600va (garagem e Galpão) atendendo 1%.

$$Cabo = (13 + 20 + 20) * 600$$

$$Cabo = 31800 = 2{,}5mm^2$$

QDFL para 3 tomadas TUG 600va (escritório) atendendo 1%

$$Cabo = (9 + 10 + 13) * 600$$

$$Cabo = 18600 = 2{,}5mm^2$$

$$(atendendo\ norma\ NBR5410)$$

QDFL para 3 tomadas TUG 600va (cozinha) atendendo 1%

$$Cabo = (23 + 23 + 24) * 600$$

$$Cabo = 42000 = 2{,}5mm^2$$

QDFL para 4 tomadas TUG 600va (loja) atendendo 1%

$$Cabo = (13 + 22{,}5 + 27 + 32) * 600$$

$$Cabo = 56000 = 4\ mm^2$$

QDFL para 3 tomadas TUG 100va (garagem e Galpão)

$$Cabo = (5 + 6 + 7 + 9 + 10 + 12 + 18 + 23 + 27 + 10 + 12 + 14 + 16 + 48 + 22 + 25 + 9 + 12 + 15 + 12 + 15 + 18 + 18 + 14 + 16 + 20 + 24 + 30) * 100$$

$$Cabo = 43700 = 4mm^2$$

QDG para QDF (atendendo 1%)

$$Cabo = 6 * 85983{,}2$$

$$Cabo = 515899{,}2 = 35mm^2$$

QDF para CCB1 (atendendo 2%)

$$Cabo = 10 * 63360$$

$$Cabo = 633600 = 16mm^2$$

QDF para CCB2 (atendendo 2%)

$$Cabo = 15 * 22250$$

$$Cabo = 333750 = 10mm^2$$

QDF para CCB3 (atendendo 2%)

$$Cabo = 11 * 22100$$

$$Cabo = 243100 = 6mm^2$$

QDF para CCB4 (atendendo 2%)

$$Cabo = 16 * 9036$$

$$Cabo = 144476 = 4mm^2$$

QDF para painel do compressor (atendendo 2%)

$$Cabo = 2 * 5430$$

$$Cabo = 10860 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínima de 2,5mm²

CCB1 para MÁQUINA DE SOLDA 10000 (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 10000$$

$$Cabo = 20000 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB1 para compressor (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 1500$$

$$Cabo = 3000 = 2{,}5mm^2$$

$$atendendo\ a\ norma\ NBR5410, cabo\ de\ força\ minimo\ de\ 2{,}5mm^2$$

CCB1 para betoneira (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 1500$$

$$Cabo = 3000 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB1 para guincho (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 1000$$

$$Cabo = 2000 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB1 para máquina de solda 18700 (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 18700$$

$$Cabo = 37400 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB1 para SERRA (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 3680$$

$$Cabo = 7360 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB2 para máquinas pequenas (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 900$$

$$Cabo = 1800 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB2 para martelete 10KG (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 1520$$

$$Cabo = 3040 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB2 para martelete 16KG (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 1760$$

$$Cabo = 3520 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB2 para martelete de 30KG (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 2450$$

$$Cabo = 4900 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB2 para policorte (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 1500$$

$$Cabo = 3000 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB2 para I (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 8400$$

$$Cabo = 16800 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB3 para martelete 10KG (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 1520$$

$$Cabo = 3040 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB3 para martelete 16KG (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 1760$$

$$Cabo = 3520 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB3 para martelete 30KG (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 2450$$

$$Cabo = 4900 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB3 para policorte (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 1500$$

$$Cabo = 3000 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB3 para inversora (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 8400$$

$$Cabo = 16800 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB3 para motor 736 (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 736$$

$$Cabo = 1472 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB4 para martelete 16KG (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 1760$$

$$Cabo = 3520 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB4 para martelete 30KG (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 2450$$

$$Cabo = 4900 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

CCB4 para policorte (atendendo 1%)

$$Cabo = 2 * 1500$$

$$Cabo = 3000 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm²

Painel do compressor (atendendo 1%)

$$Cabo = 2{,}5 * 3000$$

$$Cabo = 7500 = 2{,}5mm^2$$

Atendendo a norma NBR5410, usaremos o cabo de força mínimo de 2,5mm².

# 4 RESULTADOS

## 4.1 DEMANDA CALCULADA DE ILUMINAÇÃO

Após feito todos os cálculos das respectivas demandas de iluminação, foi feito o somatório dos valores encontrados para a obtenção do resultado final, como visto na tabela 8:

Tabela 8: Demanda calculada de iluminação

| | LAMPADAS | Nº DE LAM | POTENCIA | FP | DEMANDA |
|---|---|---|---|---|---|
| ILUMINAÇÃ | REFLETOR LED | 8 | 50 | 1 | 0,4 KVA |
| | LED | 5 | 15 | 1 | 0,075 KVA |
| | LED | 2 | 10 | 1 | 0,02 KVA |
| | TUBULAR | 18 | 9 | 1 | 0,162 KVA |
| QDL | TOTAL | | | | 0,657 KVA |

Fonte: Autores.

## 4.2 DEMANDA CALCULADA DE TOMADAS TUG´S E TUE´S

Após ter feito os cálculos individuais da demanda das tomadas, aplicou-se o somatório para a obtenção da demanda total das mesmas e o resultado obtido está expresso na tabela 9:

Tabela 9: Demanda das tomadas TUG´s e TUE´s

| | EQUIPAMENTOS | Nº DE LAM | POTENCIA | FP | DEMANDA | CORRENTE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TUG | TUG 100 VA | 28 | 100 | 0,92 | 3KVA | 13 A |
| E | TUG 600 VA | 13 | 600 | 0,92 | 8,5 KVA | 38,53 A |
| TUE | CHUVEIRO | 2 | 5500 | 0,92 | 11,956 KVA | 54,34 A |
| | AR COND. 60000 BTU | 2 | 5665 | 0,92 | 12,3 KVA | 56 A |
| | AR COND. 9000 BTU | 1 | 877 | 0,92 | 0,95 KVA | 4,33 A |
| QDT | TOTAL | | | | 36,7 KVA | 166,2 A |

Fonte: Autores.

## 4.3 DEMANDA CALCULADA DAS BANCADAS

O cálculo da demanda da bancada 1 é detalhado na tabela 10:

Tabela 10: Demanda calculada da bancada 1

| | CIRCUITOS | POTENCIA | AMPERAGEM | DISJUNTOR | TOMADAS |
|---|---|---|---|---|---|
| BANCADA 1 | MAQUINA DE SOLDA | 10KVA | 41,8 | 50 | TUE |
| | COMPRENSSOR | 2,039 CV | 6,8 | 10 | TUG |
| | BETONEIRA | 2,039 CV | 6,8 | 10 | TUG |
| | GUINCHO | 1,36 CV | 4,54 | 6 | TUG |
| | SERRA DE BANCADA | 5,039 CV | 16,62 | 20 | TUE |
| | MAQUINA DE SOLDA 425 | 30,0KVA | 136,36 | 150A | TUE |
| | - | | | | |
| CCB01 | DEMANDA TOTAL | 47,52KVA | 212,92 | 250A | |

Fonte: Autores.

$$IB1 = \frac{63,36}{220 * \sqrt{3}} = 166,28\ A$$

O disjuntor geral que será utilizado na bancada 1 já com os dois circuitos reservas será o térmico ajustável, modelo. weg modelo DWB250I200-3DF. O cálculo da demanda da bancada 2 é detalhado na tabela 11:

Tabela 11: Demanda calculada da bancada 2

| | CIRCUITOS | POTENCIA | AMPERAGEM | DISJUNTOR | TOMADAS |
|---|---|---|---|---|---|
| BANCADA 2 | MAQ. PEQUENAS | 1,22CV | 4,1 | 6 | TUG |
| | MARTELETE 10KG | 2,066CV | 6,91 | 10 | TUG |
| | MARTELETE 16KG | 2,4CV | 8 | 10 | TUG |
| | MARTELETE 30KG | 3,35 CV | 11,13 | 16 | TUE |
| | POLICORTE | 2,039CV | 6,8 | 10 | TUG |
| | INVERSORA | 11,5CV | 38,18 | 40 | TUE |
| | - | | | | |
| CCB02 | TOTAL | 16,69KVA | 75,12 | 80A | |

Fonte: Autores.

$$IB2 = \frac{22,25}{220 * \sqrt{3}} = 58,39\ A$$

O disjuntor geral que será utilizado na bancada 2 já com os dois circuitos reservas será o weg, modelo DWB100CE70-3DX. O cálculo da demanda da bancada 3 é detalhado na tabela 12:

Tabela 12: Demanda calculada da bancada 3

| | CIRCUITOS | POTENCIA | AMPERAGEM | DISJUNTOR | TOMADAS |
|---|---|---|---|---|---|
| BANCADA 3 | MARTELETE 10KG | 2,066 | 6,91 | 10 | TUG |
| | MARTELETE 16KG | 2,34 CV | 8 | 10 | TUG |
| | MARTELETE 30KG | 3,35CV | 11,13 | 16 | TUE |
| | POLICORTE | 2,039 CV | 6,8 | 10 | TUG |
| | INVERSORA | 11,5 CV | 38,18 | 40 | TUE |
| | MOTOR ACION | 1 CV | 3,34 | 6 | TUG |
| | - | | | | |
| CCB03 | TOTAL | 16,54KVA | 74,36 | 80A | |

Fonte: Autores.

$$IB3 = \frac{22,1}{220 * \sqrt{3}} = 58\ A$$

O disjuntor geral que será utilizado na bancada 3 já com os dois circuitos reservas será o mesmo utilizado na bancada 2 o weg, modelo DWB100CE70-3DX. O cálculo da demanda da bancada 4 é detalhado na tabela 13:

Tabela 13: Demanda calculada da bancada 4

| | CIRCUITOS | POTENCIA | AMPERAGEM | DISJUNTOR | TOMADAS |
|---|---|---|---|---|---|
| BANCADA 4 | MARTELETE 16KG | 2,34 CV | 8 | 6 | TUG |
| | MARTELETE 30KG | 3,35 | 11,13 | 16 | TUG |
| | POLICORTE | 2, 039 | 6,8 | 10 | TUG |
| | GUINCHO | 1,36CV | 38,18 | 40 | TUE |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | - | | | | |
| CCB04 | TOTAL | 6,036 | 64,11 | 70 | |

Fonte: Autores.

$$IB4 = \frac{9,036}{220} = 23,71A$$

O disjuntor geral que será utilizado na bancada 4 já com os dois circuitos reservas será o weg, modelo DWB100CE30-3DX. Dados do compressor:

Tabela 14: Dados do compressor

| PAINEL | CIRCUITOS | POTENCIA | AMPERAGEM | DISJUNTOR |
|---|---|---|---|---|
| | COMPRESSOR | 5,43KVA | 18,18 | 25 |
| | TOTAL | 5,43KVA | 18,18 | 25 |

Fonte: Autores.

No painel do compressor será utilizado um disjuntor de 40 Ampères, weg, modelo, MDWC25-3.

## 4.4 DEMANDA CALCULADA TOTAL DO QDFL

$$DQDFL = 37{,}35 + (2 * 6{,}22) = 49{,}79\ KVA$$

Tabela 15: Demanda calculada total do QDFL

| QDFL | CIRCUITOS | POTENCIA | AMPERAGEM |
|---|---|---|---|
| | ILUMINAÇAO | 0,657 | 2,98 A |
| | TOMADAS | 36,7 | 166,2 A |
| | RESERVA 1 | 6,22 | 28,3 A |
| | RESERVA 2 | 6,22 | 28,3 A |
| | | | |
| | | | |
| | TOTAL | 49,79 | 226,31 A |

Fonte: Autores.

$$IQDFL = \frac{49{,}79}{220 * \sqrt{3}}$$
$$= 130{,}66\ A\ \ corrente\ do\ disjuntor\ de\ proteção\ com\ disjuntor\ res$$

Para um ajuste mais adequado possível iremos usar um disjuntor de 150 A o Weg DWP250L-150-3. Que tem como característica uma corrente nominal de 150 A, contendo 3 polos, com um disparador magnético interno.

## 4.5 DEMANDA CALCULADA TOTAL DO QDF

Tabela 16: Demanda calculada total do QDF

| | CIRCUITOS | POTENCIA | AMPERAGEM |
|---|---|---|---|
| QDF | BANCADA 1 | 47,52 | 212,92 A |
| | BANCADA 2 | 16,69 | 75,12 A |
| | BANCADA 3 | 16,54 | 74,36 A |
| | BANCADA 4 | 6,036 | 34,11 A |
| | COMPRESSOR | 5,43 | 40 A |
| | RESERVA | 13,3 | 60A |
| | RESERVA | 13,3 | 60A |
| TOTAL | | 106,8 | 556,51 |

Fonte: Autores.

$$IQDF = \frac{93{,}46\ KVA}{220 * \sqrt{3}} = 245{,}3\ A$$

O disjuntor geral que será utilizado no QDF já com os dois circuitos reservas será o weg, modelo DWB250JE250-3DF.

## 4.6 DEMANDA CALCULADA TOTAL DO QDG

Tabe**la 17: Demanda calculada total do QDG**

| | CIRCUITOS | POTENCIA | AMPERAGEM |
|---|---|---|---|
| QDG | QDF | 93,46 | 424 |
| | QDFL | 49,79 | 226 |
| | RESERVA | 73,12 | 332 |
| | RESERVA | 73,12 | 332 |
| TOTAL | | 292,5 | 1314 |

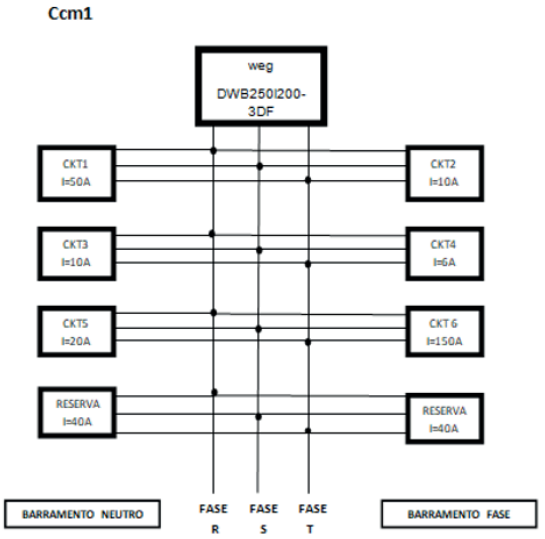
Fonte: Autores.

$$IQDG = \frac{292{,}5KVA}{220 * \sqrt{3}} = 767{,}3A$$

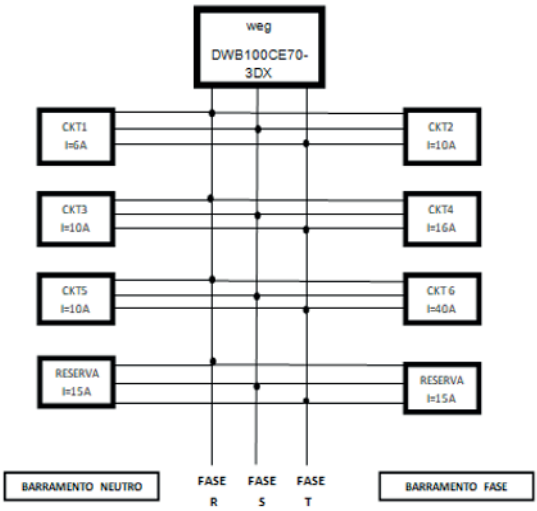
O disjuntor geral que será utilizado no QDF já com os dois circuitos reservas será o weg, modelo UBW1200H-ELS800-3ª

## 4.7 DIAGRAMAS ELÉTRICOS DAS 4 BANCADAS (ESTAÇÕES DE TRABALHO)

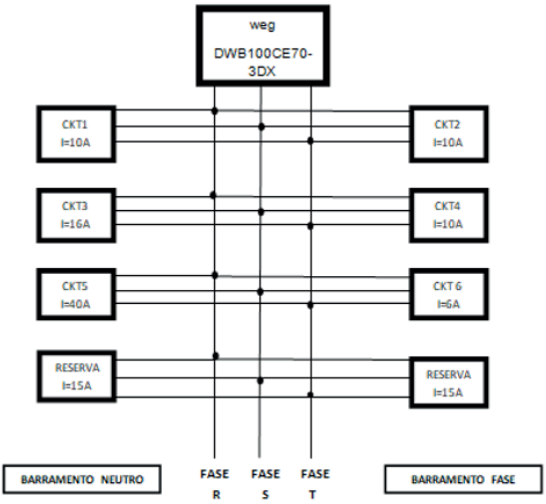
Figura 4: Diagrama elétrico das estações de trabalho – Ccm1 (bancada 1); Ccm2 (bancada 2); Ccm3 (bancada 3) e Ccm4 (bancada 4).

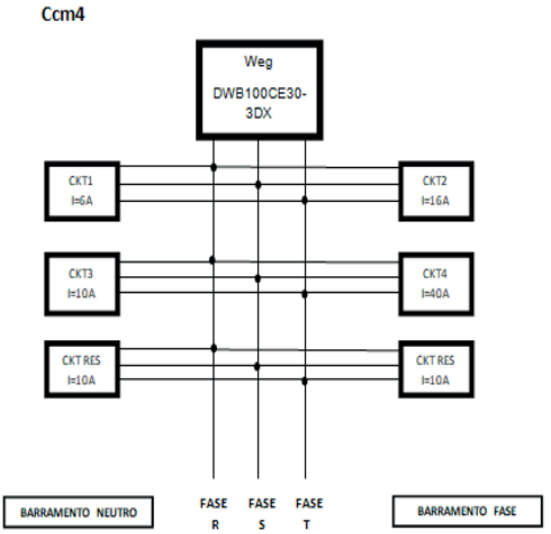


Ccm2


weg
DWB100CE70-3DX
CKT1 I=6A
CKT2 I=10A
CKT3 I=10A
CKT4 I=16A
CKT5 I=10A
CKT 6 I=40A
RESERVA I=15A
RESERVA I=15A
BARRAMENTO NEUTRO
FASE R
FASE S
FASE T
BARRAMENTO FASE

Ccm3


weg
DWB100CE70-3DX
CKT1 I=10A
CKT2 I=10A
CKT3 I=16A
CKT4 I=10A
CKT5 I=40A
CKT 6 I=6A
RESERVA I=15A
RESERVA I=15A
BARRAMENTO NEUTRO
FASE R
FASE S
FASE T
BARRAMENTO FASE

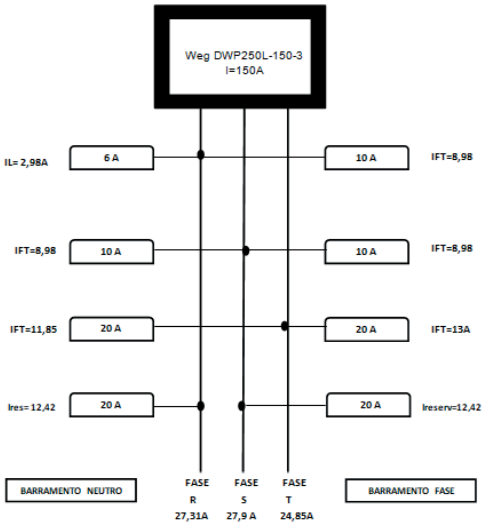


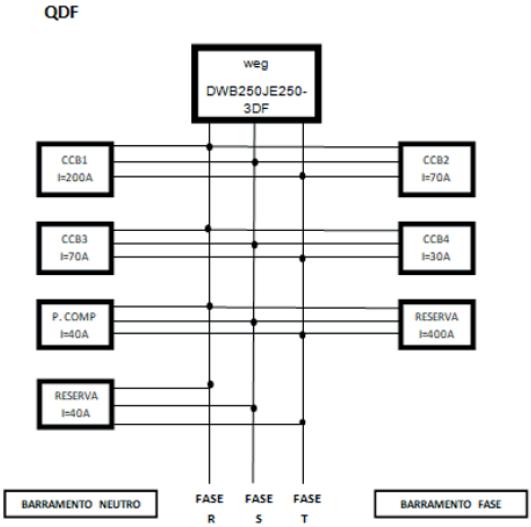

Fonte: Autores.

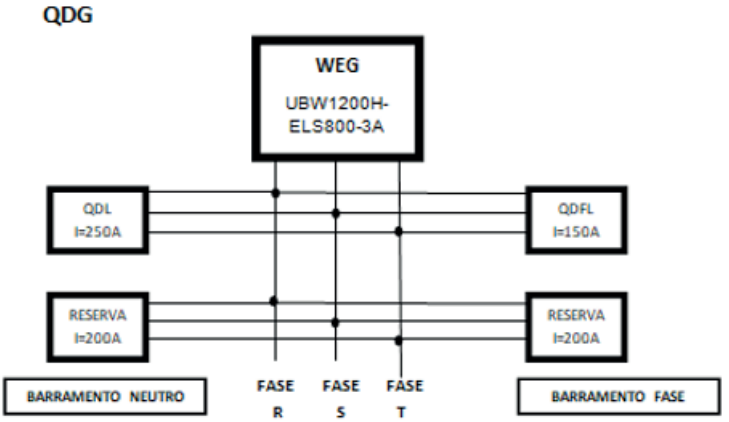
## 4.8 DIAGRAMAS DE DISTRIBUIÇÃO

A figura 5 apresenta os diagramas de distribuição projetados para as respectivas bancadas, sendo os seguintes: QDFL; QDF e QDG.

Figura 5: Diagramas de distribuição.



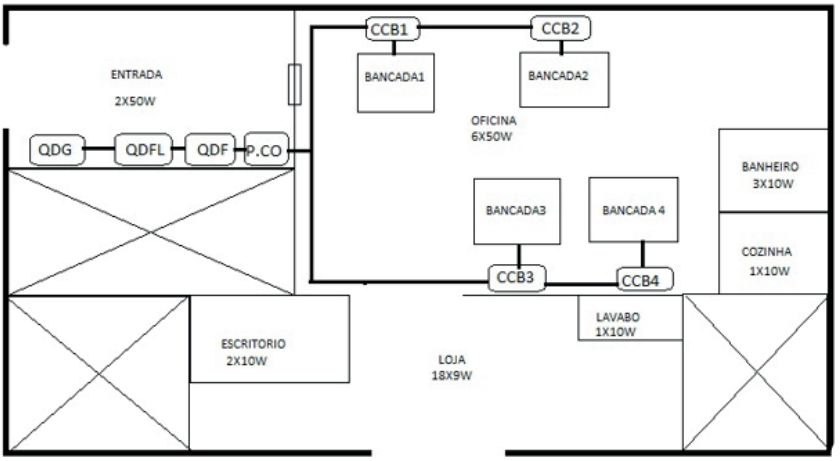



Fonte: Autores.

## 4.9 PLANTA HUMANIZADA

A figura 6 apresenta o layout proposto para melhorar a eficiência da distribuição energética e melhorar a produtividade dos colaboradores.

Figura 6: Layout proposto das bancadas.




Fonte: Autores.

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho se baseou nas NBR´s específicas, a fundamentação teórica e técnica, análise de dados, que veio a surgir da observação de uma necessidade em nosso cliente em potencial, frente as possibilidades de melhorias existentes no *layout* de quatro estações de manutenção elétrica (bancadas).

A partir do levantamento das cargas, a enumeração da quantidade de equipamentos existentes no local, foi possível coletar dados e dimensionar os quadros de distribuição, os cabos e gerar as planilhas com todos os resultados de maneira detalhada de modo a permitir maior eficiência e produtividade das atividades laborais.

Os resultados indicaram propostos indicaram que a realização não tão somente da distribuição de carga eficiente, mas também da reestruturação do layout da oficina condicionaria a um novo passo na implantação do sistema e com testes sistêmicos proporcionaria a todos os envolvidos “colaboradores e clientes” um acompanhamento mais eficaz.

Conclui-se também que o ganho com as adequações propostas será significativo a médio e longo prazo, tanto os ganhos estruturais quando de qualidade para os empregados na execução das suas atividades diárias, no caso dos funcionários o fator retorno será imediato partindo do princípio da melhoria do local de trabalho versus produtividade.

## REFERÊNCIAS


ALBUQUERQUE, Felipe Almeida. **Apresentação de sistemas elétricos demanda e potência**. Disponível em: https://www.slideshare.net/Feracity/apresentao-de-sistemas-eltricos-demanda-e-potncia. Acesso em: 06 jun. 2020

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução nº456**: Estabelece deforma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de energia elétrica, de 29 de novembro de 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, set, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, Jan, 1992.

vASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 5419**: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, Fev, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15461**: Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Construção e instalação de tanque aéreo de aço carbono. Rio de Janeiro, 2007.

CAMPOS, Luiz Fernando Rodrigues. **Gestão de projetos**. Instituto Federal do Paraná, 2012

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MAMED FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**/ João

Mamed Filho. 8.ed-[Reimp.]. -Rio de janeiro: LTC, 2012.

O QUE é um projeto? Entenda o essencial para construir o seu. **DCML Solutions**. Disponível em: https://www.dcml.com.br/blog/energia-para-industria/. Acesso em: 20 maio 2020.

RICHARDSON, Robert Jarry (org). **Pesquisa Social:** métodos e técnicas. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

SILVA, Antônio Joaquin da; CIM, Maycon. **Gestão de projetos.** Florianópolis-SENAI/SC, 2012. EAD.

STRAUSS, Anselm; CORBIN, Juliet. **Pesquisa qualitativa**: técnicas e procedimentos para o desenvolvimento de teoria fundamentada. Tradução Luciane de Oliveira da Rocha. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

TAMEIRÃO, Nathália. **O que é um projeto?** Entenda o essencial para construir o seu. Disponível em: https://sambatech.com/blog/insights/o-que-e-um-projeto/.Acesso em: 8 set. 2019.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projeto e relatório de pesquisa em administração**.10. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

VIANA, Dandara. Dimensionamento de condutores e eletrodutos. **Guia de Engenharia**, fev. 2019. Disponível em: https://www.guiadaengenharia.com/dimensionamento-condutores-eletrodutos/. Acesso em: 20 jun. 2020.

YIN, Robert K. **Estudo de caso:** planejamentos e métodos. Tradução Ana Thorell. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

# PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM SISTEMAS DE INSTRUMENTAÇÃO

## PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN FOR INSTRUMENTATION SYSTEMS

Liomar Júnior da Rocha Faustino[1]
Rodrigo Marcelino Guilherme[2]
Miguel Alexandre Vieira Fusco[3]

**RESUMO:** Este trabalho apresenta e discute algumas técnicas de implementação de um plano de manutenção elétrica aplicado a uma malha de controle e processo conceitual, utilizando a ferramenta SAP. Sistemas que possuem monitoramento online de suas variáveis, auxiliam na tomada de decisões em tempo real, relativas à operação e manutenção do equipamento. A alta competividade no mercado industrial, associada a grande importância do controle das malhas de instrumentação para garantia dos processos industriais, faz com que o aumento da confiabilidade operativa e a otimização dos procedimentos de manutenção dos instrumentos sensores e atuadores seja imperativa para o sucesso da empresa. Conclui-se que nas estruturas empresariais atuais a importância da utilização das ferramentas analíticas de manutenção são cruciais para um sistema robusto de gerenciamento de ativos para aumento da confiabilidade dos equipamentos de uma malha de instrumentação.

**Palavras-chave:** Sensoriamento. Monitoramento online. Manutenção preventiva.

1 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Docente Mestre do Curso de Engenharia Elétrica Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**ABSTRACT:** This work presents and discusses some techniques for implementing an electrical maintenance plan applied to a control loop and conceptual process, using the SAP tool. Systems that have online making decisions in real time, related to the operation and maintenance of the equipment. The high competitiveness in the industrial market, associated with the great importance of the control of the instrumentation meshes to guarantee the industrial processes, makes the increase of the operational reliability and the optimization of the maintenance procedures of the sensor instruments and actuators is imperative for company's success. It is concluded that in the current business structures, the importance of using analytical maintenance tools is crucial for a robust asset management system to increase the reliability of equipment in an instrumentation grid.

**Keywords:** Sensing. Online monitoring. Preventive maintenance.

## 1 INTRODUÇÃO

Na rotina diária, a equipe de manutenção tende comumente a trabalhar segundo o conceito "troca peça", onde os componentes são trocados sem uma análise da causa raiz do problema, provocando a substituição de peças de forma sistemática, o que frequentemente eleva os custos de operação. Assim, através de técnicas adequadas, se pode proceder com o acompanhamento periódico, provocando um sistema crível e com menores custos de manutenibilidade.

É justo afirmar que quando técnicas são empregadas corretamente, há maior disponibilidade operacional do equipamento e agilidade no processo de análise de falha, a fim de construir um histórico do equipamento e contar com informações que proporcionam atuações cada vez mais assertivas.

### 1.1 OBJETIVOS

Este artigo tem como objetivo descrever o uso das técnicas relevantes ao processo e a determinação do tipo de manuten-

ção e sua periodicidade, consequentemente sua importância ao bom funcionamento do equipamento ao qual o instrumento em análise foi alocado.

## 2 MANUTENÇÃO

Com o advento da revolução industrial, os processos de manutenção sofreram grandes alterações. Outrora, a produção era realizada de forma artesanal e em quantidades ínfimas, o que propiciava ao desprezo da manutenção dos equipamentos, frente a necessidade de produção.

Entretanto, a revolução industrial provocou, de forma exponencial, melhoria nos processos produtivos e a evolução do maquinário fabril, substituindo por diversas vezes a mão-de-obra humana por maquinários com elevada complexidade.

Tal evolução nos equipamentos produtivos, motivou a necessidade de monitorar e ter domínio sobre os fenômenos físicos e químicos que ditam a transformação da matéria-prima no produto acabado, vendido pela empresa.

Dessa forma, a fidedignidade e disponibilidade do equipamento ditam o conceito de utilização do equipamento, ou seja, a taxa entre o tempo de operação e tempo de parada do equipamento. Assim, ao obter-se uma elevada taxa de utilização, descartando outros fatores, há garantia de plena produção de um equipamento.

A manutenção industrial conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT – 5462/1994), é definida como a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

Ou seja, é responsabilidade do setor de manutenção, dentro de uma empresa, propiciar a menor ociosidade do equipamento, garantindo que esse esteja em sua plena capacidade produtiva e com a certeza de sua operação.

Os autores Kardec e Nascif (2010) julgam manutenção como a função de garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações, de modo a atender a um processo de pro-

dução e a preservação do meio ambiente com confiabilidade, segurança e custos adequados.

O custo de manutenção compõe parte significativa do custo operacional de uma planta industrial, de forma a influenciar diretamente no valor do produto final e na sobrevivência do equipamento, bem como na existência da empresa. Nesse sentido, se pode afirmar que a manutenção é responsável por garantir a sobrevivência do equipamento, em detrimento aos anos de uso e aos desgastes provocados pela utilização diária do mesmo, e sua atualização mediante ao surgimento de novas tecnologias no mercado.

Desse modo, importante apresentar planilha que exemplifica o custo de manutenção em relação ao faturamento bruto, apresentada pelos autores Kardec e Nascif (2010), conforme tabela 1:

Tabela 1: Custo de Manutenção Relacionado ao Faturamento Bruto

| Custo de Manutenção em Relação ao Faturamento Bruto | |
|---|---|
| Segmento Econômico | % |
| Alimentos, Açúcar e Álcool | 1,90 |
| Automotivo e Aeronáutico | 2,10 |
| Cimento e Cerâmica | 2,80 |
| Eletroeletrônica e Telecomunicações | 3,60 |
| Energia Elétrica | 2,10 |
| Engenharia (Construção, Saneamento) | 2,70 |
| Higiene, Limpeza e Farmacêutico | 3,00 |
| Metalúrgico, Máquinas e Equipamentos | 2,90 |
| Mineração | 6,00 |
| Papel e Celulose | 3,70 |
| Petróleo | 3,40 |
| Plástico, Petroquímica e Revestimentos | 3,00 |
| Predial, Hospitalar e Hotelaria | 4,30 |
| Prestação de Serviços (Mão-de-Obra) | 5,90 |
| Prestação de Serviços (Equipamentos) | 4,60 |
| Químico | 2,90 |
| Siderúrgico | 6,20 |
| Têxtil | 2,40 |
| Transporte | 9,30 |

Fonte: Adaptada de Kardec e Nascif (2010)

Sendo assim, a manutenção é um elemento essencial e de re-

levante importância aos processos produtivos, de tal modo que o desempenho esperado de produção deve ser traduzido para uma estratégia de manutenção.

Desse modo, essa estratégia de manutenção fomentará a combinação dos índices de Confiabilidade, Disponibilidade e Grau de Criticidade, alinhados com as metas de produção estabelecidas para a Empresa. Ato contínuo, importante destacar que segundo Juliato e Lima (2004), a disponibilidade dos recursos da produção torna-se fator crucial para o atendimento dos objetivos estratégicos das empresas e seria impossível pensar no órgão de manutenção como uma área isolada do planejamento estratégico.

## 2.1 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)

Na concepção MCC tem-se por objetivo a preservação da funcionalidade do equipamento e a definição das ações de manutenção que de fato irão contribuir para a mesma.

A partir do momento em que o equipamento obtém maior e melhor confiabilidade, passa-se a encontrar maiores indicadores de disponibilidade, segurança e consequentemente menores custos.

Fuentes (2006), argumenta no sentido que a manutenção preventiva assegura o esperado em confiabilidade, porém não a aumenta. O aumento da confiabilidade é possível somente por melhorias no projeto ou “revamp” no equipamento.

Na MCC se fará uso de técnicas e ferramentas para que haja informação suficiente para auxílio na tomada de decisão e, desse modo, possa ocorrer um melhor gerenciamento da manutenção. Outrossim, tradicionalmente a Manutenção Centrada em Confiabilidade é centrada em quatro pilares:

- Preservação da função do equipamento;
- Identificação das falhas funcionais e dos modos de falha dominante;
- Priorização das falhas funcionais de acordo com sua gravidade;

• Priorização das atividades de manutenção e custo para execução.

Conforme Kardec e Nascif (2010) a Manutenção Centrada em Confiabilidade fornece as respostas a sete questões básicas:

• Quais são as funções e padrões do equipamento no contexto operacional atual?

• Quando o equipamento falha em cumprir sua atribuição?

• Qual o motivo de ocorrência da falha?

• O que acontece no momento de cada falha?

• Qual a relevância da falha?

• O que pode ser realizado para prevenção contra falha?

• Qual a medida de contenção, caso não haja uma solução preventiva adequada?

Os planos de manutenção preventiva, em sua construção, devem fornecer respostas a cada uma dessas perguntas. Feito isso, há grande sucesso na implementação do plano de manutenção.

## 2.2 CONCEITOS BÁSICOS APLICADOS A MCC

Com base na normativa NBR5462 (1994), os principais conceitos associados à confiabilidade são:

### 2.2.1 Confiança ou Confiabilidade

O funcionamento de um equipamento em um prazo determinado, orientado pelas intempéries enfrentadas pelo item no local onde foi instalado, e mantendo suas plenas características de funcionamento, reflete o conceito de confiabilidade.

De acordo com a NBR 5462 (1994), confiabilidade é definida pelo termo R(t) que pode ser utilizado como uma forma de mensurar o desempenho da confiabilidade. Desse modo, po-

de-se obter o índice de confiabilidade através da aplicação da equação 01.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \textbf{(01)}$$

Onde:

R(t) = Medida de confiabilidade em função do tempo;

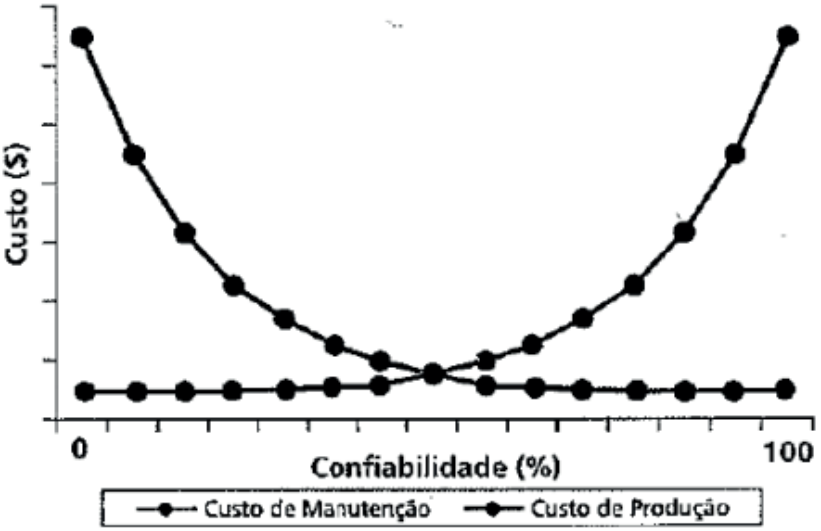
$e$ = Base logarítmica neperiana ($e$ =2,718...);

λ = Taxa de falhas;

t = Tempo determinado para funcionamento do equipamento.

A confiabilidade será uma medida percentual entre 0 e 100, sendo que quanto menor o índice encontrado para descrever a confiabilidade, maiores serão as chances de se presenciar um episódio de falha do equipamento. De modo análogo, ocorrerá quando índices maiores forem encontrados, ou seja, menores as chances de vivenciar um episódio de falha. Porém Kardec e Nascif (2010), ressaltam que confiabilidade e custo estão entrelaçados, conforme apresentado na figura 1.

Figura 1: Relação entre Confiabilidade e Custo.




Fonte: Adaptada de Kardec e Nascif (2010).

### 2.2.2 Manutenibilidade

O índice de dificuldade ou facilidade de se reparar um determinado equipamento é o que constitui o conceito de Manutenibilidade. Ou seja, é através dessa ferramenta que conseguimos definir a facilidade ou não de se reestabelecer um equipamento, através do emprego dos modos de execução previamente planejados. Este índice é determinante para a avaliação dos padrões e procedimentos adotados pela equipe de manutenção, através da aplicação da equação 02.

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \qquad \textbf{(02)}$$

Onde:

M(t) = Medida entre o tempo inicial t0 e o tempo necessário para realização da atividade;

$e$ = Base logarítmica neperiana ($e$ =2,718...);

μ = Taxa de reparos;

t = Tempo de reparo previsto.

A manutenibilidade, assim como a confiabilidade, será uma medida percentual entre 0 e 100, quanto mais próximo de 100% se aproximar o índice, menor é sua dificuldade em se reestabelecer a função do equipamento. De modo análogo ocorrerá quando o índice estiver mais próximo a 0%, ou seja, maior a dificuldade nos procedimentos de manutenção.

### 2.2.3 Segurança

Nível aceitável de risco em condições que podem provocar a morte, dano ou doenças ocupacionais a pessoas e, de maneira análoga, a equipamentos. O Índice de Risco (ou Número de Prioridade de Risco) é utilizado para correlacionar a frequência, gravidade e detectabilidade da falha. Essa ferramenta é essencial para que se possa mensurar a prioridade e risco da falha, conforme emprego da equação 03.

$$NPR = Frequência x Gravidade x Detectabilidade \quad \textbf{(03)}$$

Onde:

- Frequência – Probabilidade de acontecimentos da falha;
- Gravidade – Maneira como a ocorrência da falha afeta direta ou indiretamente o equipamento;
- Detectabilidade: O quão fácil é identificar a falha.

Kardec e Nascif (2010), sugerem a tabela 2 mostra a orientação para determinação dos pesos a serem atribuídos a cada uma das variáveis utilizadas no cálculo da NPR.

Tabela 2: Determinação do NPR.

| Componente do NPR | Classificação | Fator |
|---|---|---|
| FREQUÊNCIA DA OCORRÊNCIA | Improvável | 1 |
| | Muito pequena | 2 ~ 3 |
| | Pequena | 4 ~ 6 |
| | Média | 7 ~ 8 |
| | Alta | 9 ~ 10 |
| GRAVIDADE DA FALHA | Apenas Perceptível | 1 |
| | Pouca Importância | 2 ~ 3 |
| | Moderadamente Grave | 4 ~ 6 |
| | Grave | 7 ~ 8 |
| | Extremamente Grave | 9 ~ 10 |
| DETECTABILIDADE | Alta | 1 |
| | Moderada | 2 ~ 5 |
| | Pequena | 6 ~8 |
| | Muito pequena | 9 |
| | Improvável | 10 |

Fonte: Adaptada de Kardec e Nascif (2010).

Ao correlacionar as variáveis com seus devidos fatores, se obterá a medida do Índice de Risco esperado, que pode ser expresso pela tabela 3:

Tabela 3: Índice de Risco

| Componente do NPR | Classificação | Fator |
|---|---|---|
| ÍNDICE DE RISCO (NPR) | Baixo | 1 ~ 50 |
| | Média | 50 ~ 100 |
| | Alta | 100 ~ 200 |
| | Muito Alto | 200 ~1000 |

Fonte: Adaptada de Kardec e Nascif (2010).

### 2.2.4 Qualidade

Atendimento das características determinadas de um projeto ou execução de um produto, para que este apresente a menor variação de tais especificações.

### 2.2.5 Disponibilidade

É a capacidade de um equipamento realizar suas funções por um determinado período de tempo, mediante aplicação de manutenção apropriada. A disponibilidade pode ser obtida através da relação entre o Tempo Médio Entre Falhas (TMEF) e o Tempo Médio de Reparo do Equipamento (TMPR), conforme pode-se ver na equação 04.

$$A = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \quad \textbf{(04)}$$

## 2.3 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA, EFEITO E CRITICIDADE (FMECA)

Conhecido predominantemente por sua sigla em inglês FMECA ("*Failure Mode Effects and Critically Analisys"*), deriva do método de análise FMEA ("*Failure Mode and Effect Analysis*"), trata-se de um sistema hierárquico de falhas utilizado para definir as ações preventivas nos equipamentos, processos ou sistemas produtivos. Pode ser dividido em três categorias: Projeto, Processo e Sistema.

O FMECA e o FMEA se diferem no fato de o FMEA ter sua utilização voltada para avaliação de projetos, enquanto o FMECA é voltado para a análise crítica. Onde há uma principal preocupação com a correlação entre os modos de falha e a chance de tal falha vir a ocorrer.

Tal técnica analítica é utilizada pela equipe de engenharia em conjunto com os responsáveis diretos pela manutenção do equipamento, como recurso para a garantia, da forma mais abrangente possível, dos potenciais modos de falha onde suas causas de origem possam ser identificadas e tratadas. Sendo

assim é necessário que se defina conceitualmente: Falha, Efeito, Modo e Causa. Para tal, será utilizado a definição presente no dicionário Michaelis (2000):

- Falha – “Defeito”, Desarranjo, enguiço” ou “ato ou efeito de falhar”;
- Efeito – “Resultado produzido por uma ação ou um agente, denominados causa em relação a esse resultado”;
- Modo – “Forma ou maneira de ser ou manifestar-se uma coisa”, “Maneira de conseguir as coisas, meio, via”;
- Causa – “Aquilo que determina a existência de uma coisa”, “agente, motivo, razão, origem, princípio”.

Nesse sentido, pode-se chegar à conclusão que modo de falha é: “A forma do Defeito”, ou seja, a maneira pela qual a anormalidade no funcionamento do equipamento irá se apresentar. Assim, pode-se dizer que os efeitos são consequentes à apresentação do modo de falha do equipamento, e suas causas, o motivo de origem da falha.

Para facilitar o uso do FMECA, aconselha-se a elaboração de um formulário base para orientação da análise. Tal formulário pode ser confeccionado de diversas formas e sempre alterado de acordo com a necessidade encontrada. Segue abaixo a sugestão de formulário elaborada pelos autores para este artigo.

| FMECA - Análise de Modo Falha efeito | | | |
|---|---|---|---|
| Data: | Responsável: | | Empresa: |
| Item / Função: | | | |
| Modo Potencial de Falha: | | | |
| Efeito: | | | |
| Causa: | | | |
| Medidas Preventivas: | | | |
| Forma de Detecção: | | | |
| Número de Prioridade de Risco – NPR | | | |
| Gravidade de Falha: | Frequência de Ocorrência: | Detectabilidade: | Índice NPR: |
| Ação Recomendada: | | | |

## 2.4 INSTRUMENTAÇÃO

Durante a evolução da humanidade, o homem, de maneira única, se comparada a outras espécies, começou a entender que podia utilizar do meio onde habitava para criar condições melhores para seu sustento.

Os registros de ferramentas datam por volta de 3,5 milhões de anos há 10.000 anos a.C.; estes instrumentos primitivos feitos comumente de ossos e pedras lascadas eram empregados para obtenção de alimento e proteção contra animais ou grupos inimigos.

Com o decorrer da evolução, o homem mostrou-se um ser sociável e deu início ao abandono do modo de vida nômade para se organizar em comunidade, em um local fixo. Dessarte, a necessidade de medir teve seu início.

Segundo o dicionário Michaelis medir é “determinar ou avaliar por meio de instrumento ou utensílio de medida, ou algo usado como padrão”. Por longos anos cada país e/ou região possuía seu próprio sistema de medida, o que acarretava em dados imprecisos ou arbitrários (pode-se citar os baseados no corpo

humano, tais como palmo, polegada, pé e outros).

Em 1789 foi criado o Sistema Métrico Decimal, composto por três unidades básicas: metro, litro e quilograma; substituído posteriormente pelo Sistema Internacional de medidas (SI).

A necessidade de efetuar medidas cada vez mais precisas, impulsionadas pelo desenvolvimento tecnológico, se tornou essencial à evolução tecnológica da humanidade.

Como pode-se observar nos dias atuais, a sociedade evoluiu de forma exponencial, fazendo-se conhecedora de diversos ramos tecnológicos e científicos, que propiciaram a criação contínua de ferramentas que levam ao aumento significativo dos ganhos na obtenção de alimentos e recursos.

Nesse sentido, considerado o pai da administração moderna, Peter Ferdinand Drucker foi escritor, professor e consultor. Nascido na Áustria, em 1909, afirmou que: “Se você não pode medir, não pode gerenciar”, Drucker (2001); aplicando tal informação ao nosso objeto de estudo “Não é possível controlar, algo que não podemos medir”.

Outrossim, só será feita tal mensura a partir do momento que possuirmos domínio elevado de nosso processo, para que possamos aplicar o instrumento adequado e, dessa forma, proceder com efetiva coleta de dados. Logo, cabe destacar que existem diversos tipos de instrumentos com múltiplas aplicabilidades e que alguns dos principais serão abordados adiante.

## 2.5 INSTUMENTAÇÃO INDUSTRIAL

Devido à grande diversidade de industrias e a imensurável quantidade de produtos fabricados diariamente em todo mundo, percebe-se que os processos industriais tendem a ser variados, o que por sua vez traz grande exigência sobre as características de transformação da matéria prima no produto acabado. Desse modo as características principais que influenciam diretamente na produção de quaisquer indústrias, são:

- Pressão;
- Nível;
- Vazão;
- Temperatura;
- pH;
- Condutividade;
- Velocidade;
- Umidade.

Outrora, o controle dessas variáveis era realizado de forma manual, ou seja, sofria diretamente a influência do homem, o que poderia implicar na qualidade desejada. Assim, a alternativa encontrada foi automatizar os processos industriais.

Sendo assim, passa-se a existir um elemento sensor e um elemento atuador, que irão dentro de limites estabelecidos controlar o processo. Dessa forma, dois métodos foram desenvolvidos: o controle em malha aberta e o controle em malha fechada.

No controle em malha aberta, após a ação do elemento de controle, não há uma realimentação do sistema com a informação. Sendo assim, o mesmo não é utilizado para ajuste ou compensação de variações do processo. Para Bega et al (2006) “(...) a função fundamental do sistema de controle em malha fechada, ou sistema de controle com realimentação, é manipular a relação entrada e saída de energia ou material”.

### 2.5.1 Planta Modelo

O range de trabalho do nível do tanque TQ1002 é de 20% a 80% de sua capacidade nominal. Essa faixa de trabalho é necessária por definições de segurança de projeto.

O tanque TQ1002 recebe a alimentação de água da tubulação de entrada, a partir do momento em que o controlador LIC1001 envia o sinal para abertura da válvula LCV1001, condição está somente poderá ser satisfeita se o transmissor de pressão

PIT1001 estiver com indicação abaixo de 8bar, ou seja, sem que haja o alarme de pressão alta na entrada PAH e a indicação de nível do transmissor LIT1001 estiver abaixo de 80% da capacidade nominal do tanque TQ1002.

A distribuição de água ocorrerá pela tubulação válvula LCV1003, quando o nível medido pelo transmissor LIT1001 estiver entre 20% a 79% da capacidade nominal do tanque TQ1002.

Todas as ações de controle, alarmes de proteção e processamento dos sinais enviados pelos transmissores (LIT1001 e PIT1001) serão gerenciadas pelo controlador de nível LIC1001. Tal malha é composta por:

1 Transmissor Indicador de pressão (PIT1001);

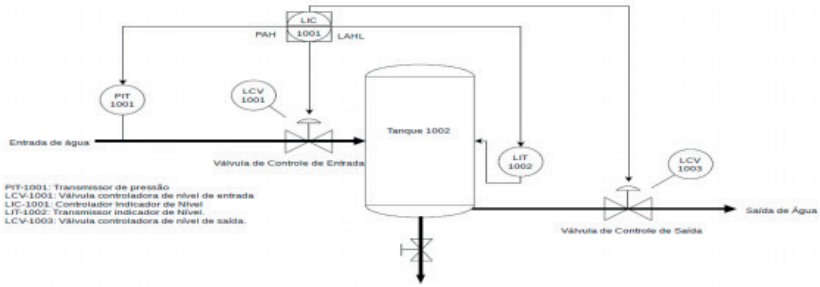
2 Válvulas controladoras de nível pneumáticas (LCV1001 / LCV1003);

1 Transmissor Indicador de Nível (LIT1001);

1 Controlador de Nível (LIC1001).

A figura 2 mostra a representação esquemática do projeto proposto.

Figura 2: Representação esquemática do projeto proposto




Fonte: Autores.

## 2.6 PLANO DE MANUTENÇÃO NO SAP

A manutenção preventiva é assegurada por ordens de manutenção geradas periodicamente, baseadas nos planos de ma-

nutenção definidos no sistema SAP, onde estão identificados os objetivos técnicos (tarefas ou roteiro), as operações e respectivas periodicidades.

Durante a criação do plano deverá ser inserido as informações pertinentes a execução da atividade, recursos necessários, recomendações de segurança e o passo-a-passo para sua execução que é denominado lista de tarefas, baseando-se nas recomendações do fabricante e nos procedimentos levantados através do formulário FMECA.

Segue exemplo de uma lista de tarefa, para calibração de transmissores.

"Conectar o instrumento padrão de calibração (Balança manométrica, Forno de calibração, etc.)".

Efetuar o zero do instrumento e do padrão de calibração.

Aplicar sinal de entrada para o instrumento em teste, comparando com o padrão de referência e registrando os valores de saída (mA ou Vdc) do mesmo a cada ponto pré-determinado conforme valores abaixo (2 Loops).

000% valor aplicado.

025% valor aplicado.

050% valor aplicado.

075% valor aplicado.

100% valor aplicado.

075% valor aplicado.

050% valor aplicado.

025% valor aplicado.

000% valor aplicado.

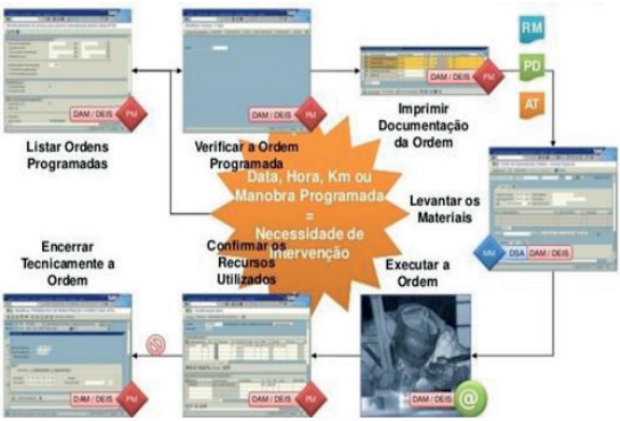
Caso necessário realizar o ajuste do instrumento, efetuar a calibração novamente (2 Loops).

Vale ressaltar a importância de uma priorização das atividades

de forma coerente em relação a necessidade do equipamento, verificando a necessidade de parada planejada do equipamento, ou se a ordem de manutenção pode ser realizada com o equipamento em seu estado comum de funcionamento, frente a disponibilidade de mão-de-obra e recursos materiais. Sendo assim, fatores preponderantes à plena execução da atividade de manutenção.

Decorrida a execução da referida ordem de serviço, os profissionais executantes deverão inserir as observações oriundas da atividade executada no SAP, conforme figura 3. Finalizando assim o fluxo do processo de manutenção.

Figura 3: Fluxo de manutenção no SAP




Fonte: Autores.

## 3 CONCLUSÕES

Neste artigo foram apresentados os conceitos teóricos sobre manutenção e sua principal finalidade quando empregada nos processos fabris de quaisquer empresas. É papel do setor de manutenção manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

Sendo assim, foi abordado o conceito de Manutenção Centrada na Confiabilidade, que retrata bem a preocupação em se garan-

tir o pleno funcionamento dos equipamentos através da redução e/ou eliminação da iminência de falha ou redução da eficácia projetada, evitando assim que o mesmo venha a danificar e que haja a necessidade de intervenções não programadas.

Nesse sentido, fazendo-se uso dos conceitos de Confiabilidade, Manutenibilidade e por meio da Análise dos Modos de Falha, Efeito e Causa (FMECA) ao que diz respeito às técnicas analíticas, demonstradas através de dados aleatórios e de uma malha de instrumentação teórica. Aplicando-se o FMECA, conclui-se que esse orientará a equipe de Engenharia responsável pela criação dos planos de manutenção preventivas dos equipamentos, para que esses possam tratar as falhas, efeitos e causas levantadas outrora.

Do mesmo modo, interessante destacar o emprego da ferramenta SAP para gestão dos ativos, que possibilita um melhor gerenciamento de todo o fluxo de manutenção e criação de um histórico para rastreabilidade e posterior revisão dos planos de manutenção em uso. Por todo o exposto, conclui-se pela importância da utilização das ferramentas analíticas de manutenção, em conjunto com um sistema robusto de gerenciamento de ativos (SAP)para aumento da confiabilidade dos equipamentos de uma malha de instrumentação.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **Normalizaçã**o. Disponível em: http://www.abnt.org.br/. Acesso em: 03 jun. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

BEGA *et al*. **Instrumentação industrial**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

DELMÉE, G. **Manual de medição de vazão**. 3. ed. São Paulo: Edgard Bucher , 2003.

DRUCKER, Peter. **O melhor de Peter Drucker – a administração**. São Paulo: Nobel, 2001.

FIGUEIREDO, Danielle Lima de; **Indicadores de performance:** um enfoque na gestão da manutenção. *In*: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Disponível em: https://sienpro.catalao.ufg.br/up/1012/o/DANIELLE_LIMA_DE_FIGUEIREDO.pdf. Acesso em: 27 maio 2020.

FMECA. Failure mode and effects analysis. Kinetic LLC. Disponível em: http://www.fmeca.com/. Acesso em: 10 jun. 2020.

FROM inventingthe enterprise software sector to helpinfthe world run better. SAP. Disponível em: https://www.sap.com/documents/2020/02/70eee289-847d-0010-87a3-c30de2ffd8ff.html. Acesso em: 03 jun 2020.

FUENTES, F. F. E. **Metodologia para inovação da gestão de**

**manutenção industrial**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em. Acesso em: 03 jun. 2020.

JULIATO, A. C.; LIMA, C. R. C. Definição de políticas de manutenção à luz da teoria das restrições. *In*: SIMPEP,11. Bauru/SP, 08 a 10 de novembro de 2004. Anais [...]. Bauru/SP, 2014.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção:** função estratégica. 3.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark , 2010.

MICHAELIS. **UOL**. Disponível em: https://michaelis.uol.com.br/. Acesso em: 10 jun. 2020.

STAIR, Ralph M. **Princípios de sistemas de informação**. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

XENOS, Harilaus Gerogius D'Philippos. **Gerenciando a manutenção produtiva**, Belo Horizonte, 1998.

# ANÁLISE DE DISTÚRBIOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM CARGAS ESPECIAIS

## DISORDER ANALYSIS IN ELECTRICITY DISTRIBUITION NETWORKS WITH SPECIAL LOADS

Ana Carolina Leitoguinho[1]
Mayla Campos de Lima Fernandes[2]
Hermes Roberto Pereira Mascarenhas de Oliveira[3]
José Nilton Cantarino Gil[4]

**RESUMO:** O trabalho apresentado tem como foco a importância do tema qualidade de energia elétrica e apresenta alguns dos mais variados tipos de distúrbios na rede de distribuição ou transmissão. Atualmente, a distribuição e fornecimento de energia elétrica acarreta vários problemas que podem levar ao mau funcionamento dos equipamentos elétricos e, por vezes, danificar os mesmos e/ou produtos que estão dependentes do seu bom funcionamento. Para atuar sobre os problemas de Qualidade de Energia Elétrica (QEE) associados às instalações elétricas é necessário em primeira instância identificá-los. Para este efeito são indispensáveis os Sistemas de Monitorização de QEE, estes têm de possuir características únicas, entre elas, necessitam de ser compactos, robustos, de simples utilização e, como característica principal, necessitam ser de baixo custo. Através do PSSIMUL, software específico da área de sistemas elétricos de potência, foram feitas simulações computacionais para demonstrar as formas de onda da corrente e da tensão em redes de distribuição onde existam cargas lineares e não lineares, proporcionando a simulação de situações reais en-

1 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Docente Mestre do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
4 Docente Mestre do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

contradas nas concessionárias de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Sistema de monitorização. Qualidade da energia elétrica. Cargas elétricas. PSSIMUL.

**ABSTRACT:** The paper presented focuses on the importance of the topic of electricity quality and presents some of the most varied types of disturbances in the distribution or transmission network. Today, electricity's distribution can lead to several issues that can result in electrical equipment malfunctioning and sometimes even damage those equipment's or products that depend on their proper functioning. To effectively solve the Power Quality issues related to electrical installations, they must be previously identified. In order to do so, Power Quality Monitoring Systems are imperative, and they must have unique features, such as being compact, robust, simple to use, and especially low-cost. Through PSSIMUL, specific software in the area of electrical power systems, computer simulations were made to demonstrate the current and voltage waveforms in distribution networks where there are linear and non-linear charges, providing the simulation of real situations found in the concessionaires of electricity.

**Keywords:** Monitoring system. Quality of electrical energy. Electrical charges. PSSIMUL.

## 1 INTRODUÇÃO

O termo qualidade de energia elétrica é utilizado para descrever um amplo conjunto de fenômenos eletromagnéticos que podem afetar a amplitude e a forma de onda da tensão e/ou corrente no sistema elétrico. Assim, ao se afirmar que uma instalação não possui uma boa qualidade de energia significa que a forma de onda da tensão e/ou da corrente elétrica têm desvios em relação aos padrões considerados normais que podem levar a um mau funcionamento dos componentes ou mesmo leva-los à falha que, não raro, pode resultar na necessidade

de substituição. Uma instalação com boa qualidade de energia apresenta baixos níveis de desvios e, portanto, os equipamentos funcionam normalmente. A confiabilidade do sistema é afetada caso os desvios ultrapassem os limites indicados por normas e regulamentações (ROCHA,2016).

Um ponto importante quanto à qualidade da energia elétrica é o seu efeito na eficiência energética, pois sistemas com altos níveis de distorções nas formas de onda normalmente provocam perdas adicionais por efeito Joule nos condutores, transformadores e outros equipamentos durante a distribuição. Entretanto, para que sejam obtidos aumentos da eficiência energética, os equipamentos industriais e comerciais passaram a fazer uso intensivo da eletrônica de potência, resultando em melhorias substanciais no rendimento dos equipamentos. Porém, o uso da eletrônica de potência contribui decisivamente na ampliação dos níveis de distorções da forma de onda da corrente e tensão no sistema elétrico.

Dispositivos que utilizam microprocessadores para fazer seu controle, por exemplo, são mais sensíveis às variações nos parâmetros da rede, que podem ser os níveis de distorção da onda ou a variação da amplitude da mesma. Com base no PRODIST, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica, módulo 8, que regula todos os procedimentos a serem seguidos no sistema de distribuição, é possível destacar os principais fenômenos que afetam a qualidade da energia:

- Distorções harmônicas;
- Variações e flutuações da tensão;
- Transitórios;
- Desequilíbrios.

Esses distúrbios podem ser mostrados através de analisadores específicos das formas de onda do sistema e poderão resultar ou não em impactos nos consumidores dependendo

das características dos equipamentos utilizados, podendo ser eliminado ou minimizado através do emprego de técnicas de engenharia.

### 1.1 OBJETIVOS

Apresentar e caracterizar os principais distúrbios que podem ocorrer em uma rede elétrica e afetar a distribuição de energia aos consumidores.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

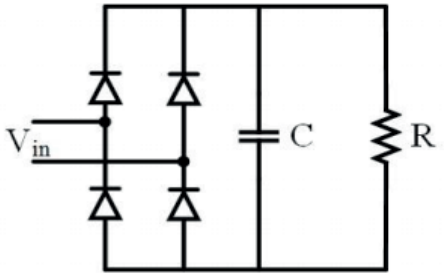
### 2.1 CARGAS ELÉTRICAS ESPECIAIS

São equipamentos que fazem parte dessa categoria aqueles que possuem núcleo magnético saturado, tais como: reatores e transformadores de núcleo saturado, produzindo grande conteúdo de harmônicos na rede. Essas cargas possuem chaves semicondutoras que recortam a onda de corrente. Alguns componentes monofásicos também geram distorções harmônicas, como por exemplo: equipamentos que possuem fontes chaveadas (televisores, computadores, aparelhos de som etc.) e lâmpadas fluorescentes (ROCHA, 2016).

Tais cargas elétricas especiais, também denominadas “não lineares”, podem provocar distúrbios nas formas de onda da tensão e/ou da corrente elétrica nas redes, ou seja, ocorre a distorção da forma de onda de corrente mesmo quando alimentada com uma tensão senoidal. A ampliação do número de cargas especiais na geração, transmissão ou distribuição constitui em uma das maiores preocupações tanto das concessionárias quanto dos consumidores, sendo também o motivo de constantes problemas para o sistema elétrico. O uso de um retificador a diodos com um filtro capacitivo na saída, conforme apresentado na figura 1, é um exemplo comum a ser citado, pois a corrente só circulará quando a tensão instantânea da fonte superar a tensão do capacitor de filtro, ou seja, a corrente

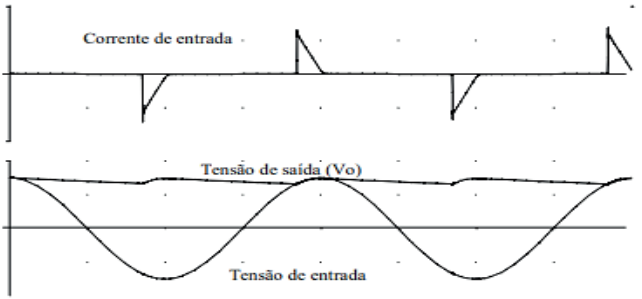
só entrará no retificador quando a onda da tensão estiver próxima do seu pico. Em consequência, a corrente será pulsada e, portanto, não senoidal, figura 2.

Figura 1: Retificador Monofásico com Filtro Capacitivo




Fonte: SILVA (2016)

Figura 2: Formas de Onda para Retificador Monofásico com Carga Capacitiva



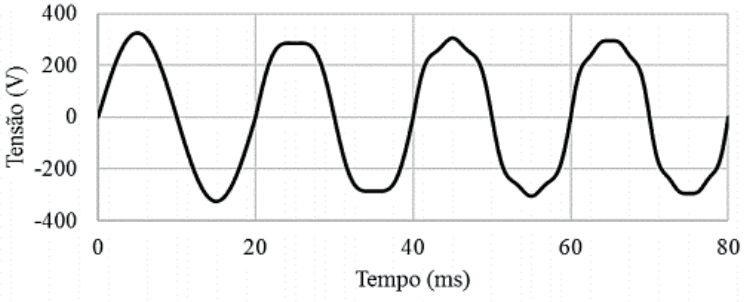

Fonte: POMILIo (2014)

## 2.2 COMPONENTES HARMÔNICOS NA REDE

O principal objetivo de uma concessionária é fornecer energia de boa qualidade aos consumidores. Pelas regulamentações vigentes, esta energia deve ser transmitida conforme gerada, apresentando tensão perfeitamente senoidal e com frequên-

cia e amplitude constantes. Entretanto, através de medições e registros é possível constatar desvios significativos dos parâmetros considerados como ideais. Os harmônicos são uma representação matemática de uma forma de onda distorcida. Os harmônicos de corrente são produzidos por cargas não lineares, os quais geram correntes com formas de onda não senoidais mesmo sendo alimentadas com tensão senoidal. Essas correntes distorcidas ao circularem pela impedância do sistema, constituída pela impedância da fonte além das impedâncias dos cabos e transformadores, podem provocar a distorção da forma de onda da tensão (Da Silva, 2016), conforme mostra a figura 3.

Figura 3: Forma de Onda da Tensão com Conteúdo Harmônico.

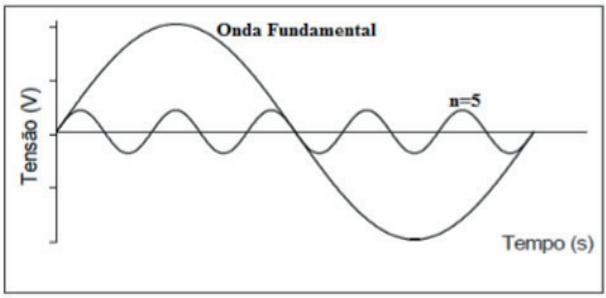



Fonte: SILVA (2016)

A figura 4 ilustra uma forma de onda distorcida decomposta em componente fundamental e de quinto harmônico. Importante ressaltar que a forma de onda da Figura 3 é a soma no tempo das duas componentes mostradas na Figura 4. São considerados relevantes os harmônicos que possuem amplitudes de ordem ímpar, h=1, h=3, h=5, etc., pois as ondas de tensão e/ou corrente costumam ter simetria ímpar, ou seja, o semiciclo positivo tem simetria com o semiciclo negativo da onda. Para fins didáticos considera-se que não existem harmônicos de ordem par para a maioria das cargas, com exceção apenas dos fornos a arco em que as componentes harmônicas de ordem par são

relevantes (MAIA; PINHEIRO, 2006).

Figura 4: Decomposição da Forma de Onda da Tensão contendo a Componente Fundamental e Quinto Harmônico




Fonte: MAIA; PINHEIRO (2006)

Os retificadores trifásicos a seis pulsos, conhecidos também como Ponte de Graetz, também são responsáveis pela injeção de componentes harmônicos nos lados de corrente alternada (AC) e corrente contínua (DC) do sistema (DUGAN, MCGRANAGHAN, 1996).

## 2.3 BANCOS DE CAPACITORES

Os bancos de capacitores são utilizados para compensar a energia reativa presente no sistema, sendo componentes de baixo custo e fácil instalação. Capacitores geram reativo capacitivo, ou seja, elevam a tensão até os níveis desejados. A geração de reativos de um capacitor aumenta com o quadrado da corrente (MAMEDE FILHO, 2019), conforme a equação 01.

$$\mathbf{Q_c = I^2.X_c} \qquad \textbf{(01)}$$

Onde:

- $Q_c$: potência reativa gerada pelo capacitor;
- I: corrente elétrica;

• $X_c$: reatância capacitiva.

Um capacitor ligado em série a uma linha de transmissão tem como função gerar mais reativos para diminuir o afundamento da tensão provocado pelo aumento do fluxo de potência na linha. O capacitor em derivação, quando está ligado juntamente a motores ou transformadores tem como função de limitar o fluxo de energia reativa através dos circuitos elétricos, logo a energia reativa que é necessária para magnetização das máquinas de indução passa a ser produzida pelos capacitores, ao invés de fluir pelos circuitos de alimentação das cargas (WEG, 2020). Existem três modelos para se trabalhar com banco de capacitores, são eles:

1) **Banco de capacitores fixos**: todas as células capacitivas são acionadas e desligadas diretamente ao comutar o disjuntor ou chave geral. Ideal para instalações e equipamentos onde não existem variações nos níveis de consumo. É um banco de baixo custo e normalmente utilizado para transformadores operando a vazio. Independentemente do nível da carga ou da hora do dia eles atuam normalmente e são os mais utilizados para correção do FP, tanto na indústria, quanto no sistema de distribuição de energia elétrica (CODI, 2004).

2) **Banco de capacitores semiautomático**: opera por meio de temporizador permitindo a atuação apenas nos períodos desejados. Além disso, deve possuir relé tipo falta de fase para evitar que os capacitores queimem em uma possível falta de fase da rede elétrica e relé de retardo na energização de aproximadamente 15 segundos para evitar que os capacitores queimem quando ocorrer um afundamento da tensão. É indicada para corrigir o fator de potência de pequenos estabelecimentos, até no máximo 15 kVAr/220 Vac, no qual o fator de potência tem pouca variação, em torno de no máximo 10%. Entretanto apesar de ter o fator de potência corrigido e a eliminação da energia reativa excedente, ao se utilizar os bancos de

capacitores semiautomáticos para as empresas que possuem muita variação no fator de potência, quando as cargas (motores, transformadores, etc) desligarem, a rede poderá ficar capacitiva (excesso de capacitores ligados) elevando a tensão da rede. À medida que a tensão aumenta, o consumo de energia ativa da empresa também aumentará, impactando no valor da conta de energia e aumentando a probabilidade de queima de equipamentos (CODI, 2004).

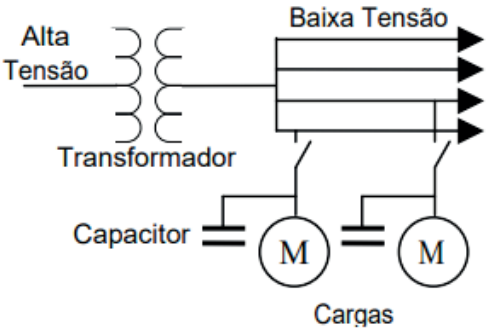
3) **Banco de capacitores automático**: permite maior precisão no controle por meio de estágios, permitindo um controle fino no fator de potência através de um controlador eletrônico. Indicado para grandes instalações com níveis de consumo altamente variáveis. Para a operação automática do banco, utiliza-se equipamentos de manobra (contatores) acionados por um controlador automático de fator de potência. Monitoram-se os níveis de tensão e os níveis de corrente em um alimentador geral (através de sinais obtidos a partir da rede monitorada) e os níveis de corrente em um alimentador geral (através do secundário de TCs - transformadores de corrente) (CODI, 2004).

Existem várias alternativas para a instalação de capacitores em uma rede elétrica, cada uma delas apresentando vantagens e desvantagens. Nesse sentido, a escolha da melhor alternativa dependerá de análises técnicas de cada instalação com orientação de profissionais especializados. Os tipos de compensação descritos abaixo estão de acordo com o manual de orientação aos consumidores do Comitê de Distribuição de Energia Elétrica (CODI) (CODI, 2004).

### 2.3.1 Compensação Individual

É efetuada instalando os capacitores junto ao equipamento cujo fator de potência se pretende melhorar, como mostra a figura 5.

Figura 5: Esquema de Ligação para Compensação Individual.




Fonte: CODI (2004)

Representa, do ponto de vista técnico, a melhor solução, apresentando as seguintes vantagens:

- Reduz as perdas energéticas em toda a instalação;
- Diminui a carga nos circuitos de alimentação dos equipamentos compensados;
- Melhora os níveis de tensão de toda a instalação;
- Pode-se utilizar um sistema único de acionamento para a carga e o capacitor, economizando-se em equipamentos de manobra;
- Gera reativos somente onde é necessário.

Existem, contudo, algumas desvantagens dessa forma de compensação com relação às demais:

- Muitos capacitores de pequena potência têm custo maior que capacitores concentrados de potência maior;
- Pouca utilização dos capacitores, no caso do equipa-

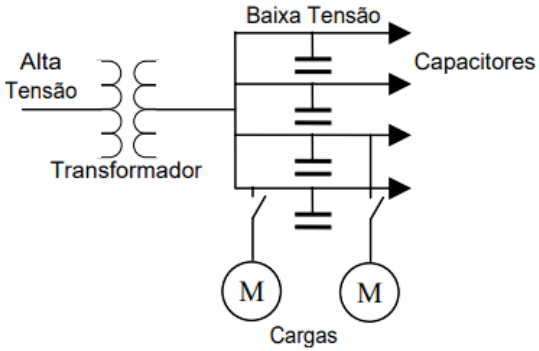
mento compensado não ser de uso constante;

• Para motores, deve-se compensar no máximo 90% da energia reativa necessária.

**• Compensação por Grupo de Cargas**

O banco de capacitores é instalado de forma a compensar um setor ou um conjunto de máquinas. É colocado junto ao quadro de distribuição que alimenta esses equipamentos. A potência necessária será menor que no caso da compensação individual, o que torna a instalação mais econômica. Tem como desvantagem o fato de não haver diminuição de corrente nos alimentadores de cada equipamento compensado. A figura 6 mostra como é a ligação deste tipo de compensação.

Figura 6: Esquema de Ligação para Compensação por Grupo de Cargas.

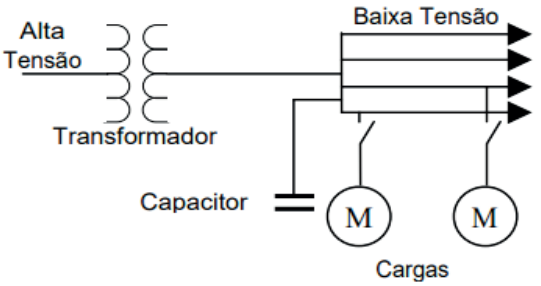



Fonte: CODI (2004)

**• Compensação Geral**

O banco de capacitores é instalado na saída do transformador ou do quadro de distribuição geral, se a instalação for alimentada em baixa tensão, conforme figura 7. Tem como principal desvantagem não possuir alívio sensível dos alimentadores de cada equipamento.

Figura 7: Esquema de Ligação para Compensação Geral.




Fonte: CODI (2004)

Utiliza-se em instalações elétricas com número elevado de cargas com potências diferentes e regimes de utilização pouco uniformes. Apresenta as seguintes vantagens principais:

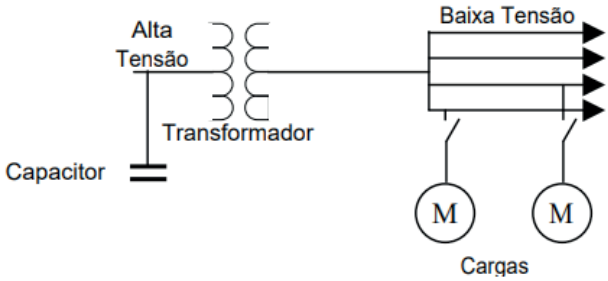
- Os capacitores instalados são mais utilizados;
- Fácil supervisão;
- Possibilidade de controle automático;
- Melhoria geral do nível de tensão;
- Instalações adicionais suplementares relativamente simples.

**• Compensação na Entrada da Alimentação de Alta Tensão (AT)**

Não é muito frequente a compensação no lado da alta tensão. Tal localização não alivia nem mesmo os transformadores e exige dispositivos de comando e proteção dos capacitores com isolação para a tensão primária. Embora o preço por kVAr dos capacitores seja menor para tensões mais elevadas, este tipo de compensação, em geral, só é encontrado nas unidades consumidoras que recebem grandes quantidades de energia

elétrica e dispõem de subestações transformadoras. A Figura 8 apresenta o esquema de ligação deste tipo de compensação.

Figura 8: Esquema de Ligação para Compensação em AT.




Fonte: CODI (2004)

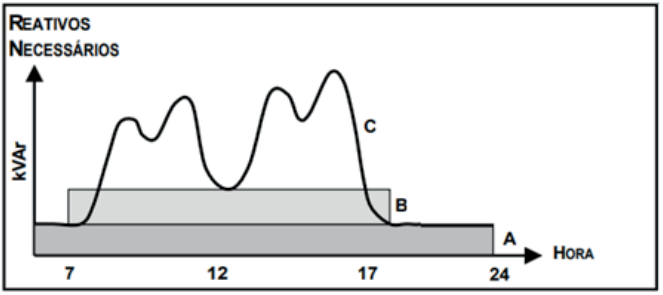
**• Compensação com Regulação Automática**

Nas formas de compensação geral e por grupos de equipamentos, é usual utilizar-se uma solução em que os capacitores são agrupados por bancos controláveis individualmente. Um relé varimétrico, sensível às variações de energia reativa, comanda automaticamente a operação dos capacitores necessários à obtenção do fator de potência desejado.

**• Compensação Combinada**

Em muitos casos são utilizadas, conjuntamente, as diversas formas de compensação, com mostra a figura 9.

Figura 9: Tipos de Bancos utilizados na Compensação Combinada.




Fonte: CODI (2004)

Na figura 9, a barra A indica o banco fixo, com utilização ininterrupta, a barra B indica o banco fixo, ligado somente no período de atividade dos equipamentos a ele ligado e a linha C represente o banco automático, controlando continuamente a quantidade de reativo (kVAr).

**• Compensação por Motores Síncronos**

Motores síncronos podem ser utilizados para compensação do fator de potência por gerarem energia reativa, da mesma forma como um gerador convencional o faz. A potência reativa capacitiva fornecida por um motor síncrono à instalação, é função da corrente de excitação e da carga em seu eixo. Entretanto, devido ao fato de ser um equipamento bastante caro, nem sempre é compensador do ponto de vista econômico, sendo competitivo, em princípio, para potências superiores a 200 CV e funcionamento por períodos longos.

Há algumas precauções que devem ser tomadas para que se possa instalar e operar os capacitores. Para maior segurança e eficiência na operação do banco de capacitores, é importante consultar a norma P-NB-209 da ABNT e, ainda, considerar os seguintes aspectos:

- A instalação de capacitores deve ser feita em local onde haja boa ventilação e com espaçamento adequado entre as unidades;
- Após desligar, esperar algum tempo para religar ou fa-

zer o aterramento de capacitor. Isso porque o capacitor retém a sua carga por alguns minutos, mesmo desligado; proceder o aterramento dos capacitores antes de tocar sua estrutura ou seus terminais;

• Para capacitores ligados em alta tensão (13,8 kV, por exemplo), é sempre conveniente que as operações de ligar e desligar sejam feitas utilizando-se o disjuntor principal da instalação, antes de se abrir ou fechar a chave principal de capacitores, no caso de não haver dispositivos adequados de manobra sob carga;

• Evitar a energização simultânea de dois ou mais bancos de capacitores, a fim de se evitar possíveis sobretensões.

## 3 ANÁLISE DE OPERAÇÕES QUE AFETAM A QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA EM REDES INDUSTRIAIS

### 3.1 CASO 1 – ENERGIZAÇÃO DO BANCO DE CAPACITORES EM UMA REDE INDUSTRIAL TRIFÁSICA OPERANDO COM CARGA

Conforme visto anteriormente, durante a energização de banco de capacitores há o surgimento de sobretensões transitórias que podem ser amplificadas em pontos distantes da rede. A tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados para o estudo do caso 1 considerando uma rede trifásica de 13,8 kV.

Tabela 1: Parâmetros do Caso 1

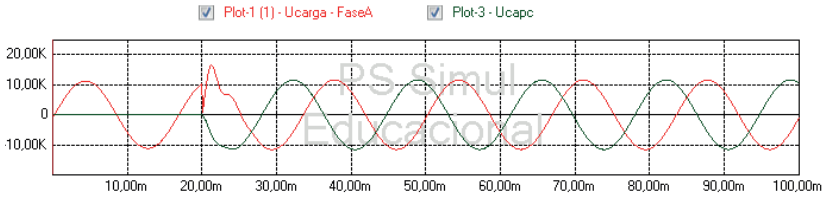
| Carga | | Fator de potência | Potência do banco de capacitores | Potência da rede |
|---|---|---|---|---|
| Potência ativa | 4,5 MW | 85% | 1,5 MVAr | 50 MVA |
| Potência reativa | 2,8 MVAr | | | |
| Potência aparente | 5,3 MVA | | | |

Fonte: Autores

Sabe-se que quando ocorre a energização do banco, os capacitores se comportam como um curto-circuito para o sistema, fazendo com que após o fechamento do disjuntor sejam geradas tensões e correntes transitórias de elevada magnitude e

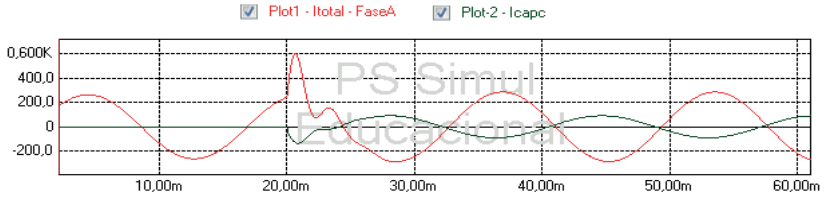
frequência de oscilação (ROCHA,2019). Na Figura 10 nota-se que no instante inicial a forma de onda de tensão na fase A não apresenta distorção, após a inserção do banco de capacitores de 1,5 MVAr no instante de 20 ms a forma de onda sofre um pico, ou seja, para um intervalo de 0 a 100 ms, o pico de tensão máximo chega próximo a 20 kV, logo o sistema apresenta uma elevação momentânea de tensão.

Figura 10: Forma de Onda da Tensão na Fase A e no Capacitor após o Chaveamento do Banco.




Fonte: Autores

Figura 11: Forma de Onda da Corrente na Fase A e no Capacitor após o Chaveamento do Banco.




Fonte: Autores

Diante dos resultados é possível observar que não há presença significativa de transitórios devido ao efeito resistivo do sistema, pois quanto maior for a resistência, maior será a queda de tensão, o que implicará em transitórios de menor duração e

menor amplitude tanto de tensão quanto de corrente.

### 3.2 CASO 2: ENERGIZAÇÃO DO BANCO DE CAPACITORES EM UMA REDE INDUSTRIAL TRIFÁSICA OPERANDO SEM CARGA

Neste caso será apresentado o gráfico da forma de onda da tensão e da corrente no instante em que ocorre a energização do banco de capacitores para uma linha de 13,8 kV operando sem carga. Os parâmetros utilizados no estudo do caso 2 estão na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros do Caso 2

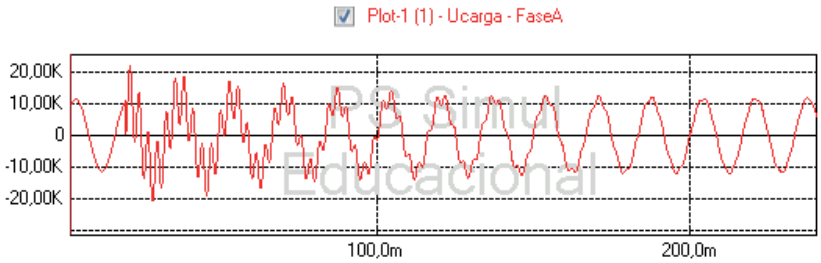
| **Carga** | | **Fator de potência** | **Potência do banco de capacitores** | **Potência da rede** |
|---|---|---|---|---|
| Potência ativa | 0 kW | 0% | 1,5 MVAr | 50 MVA |
| Potência reativa | 0 kVAr | | | |
| Potência aparente | 0 kVA | | | |

Fonte: Autores

A figura 12 mostra o transitório contido na onda da tensão para um intervalo de 0 a 300 ms. Observa-se que no instante de 20 ms ocorre a comutação dos capacitores e a onda fica totalmente distorcida. O sistema sofre uma sobretensão acima de 20 kV

e continua oscilando

Figura 12: Forma de Onda da Tensão na Fase A após o Chaveamento do Banco.



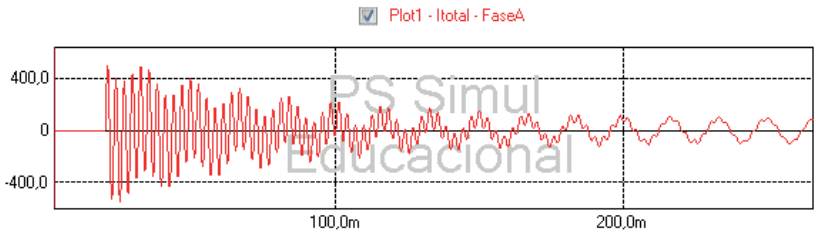

Fonte: Autores

Uma das técnicas disponíveis que pode ser aplicada a fim de atenuar as sobretensões transitórias durante o chaveamento do banco consiste na inserção de indutores ou resistores em série com os capacitores para que parte da energia armazenada no capacitor seja dissipada para esses componentes.

A figura 13 mostra o transitório contido na onda da corrente para um intervalo de 0 a 300 ms. Após a energização do banco há uma sobrecorrente transitória de amplitude próxima a 400A.

Nota-se que em ambos os gráficos o tempo de amortecimento tanto para a tensão quanto para a corrente demanda um maior tempo para amortecer, comparados ao caso 1. Isso ocorre pelo fato de não haver cargas neste sistema, fazendo com que a resistência presente seja muito pequena, implicando em transitórios oscilatórios de maior duração e amplitude.

Figura 13: Forma de Onda da Corrente na Fase A após o Chaveamento do Banco.




Fonte: Autores

A parte oscilatória do transitório de chaveamento de capacitores no gráfico da corrente é resultado da troca de energia entre os elementos indutivos e capacitivos do sistema elétrico. A energia armazenada nos elementos capacitivos fluirá para os elementos indutivos, contribuindo para o surgimento de sobrecorrentes.

Um dos principais métodos de controle é o uso de reatores limitadores ou de amortecimento para limitar a corrente transitória de energização e de descarga do banco de capacitores (valor de pico e frequência). Neste método, os reatores limitadores são conectados em série com o banco de capacitores, com o intuito de reduzir as correntes de energização (inrush). Estes reatores aumentam a magnitude da impedância característica do circuito, diminuindo assim, o valor de pico da corrente. Uma vez que a corrente através do reator não pode variar instantaneamente, sabe-se que o efeito transitório das componentes de altas frequências é minimizado (ROCHA,2016).

## 3.3 CASO 3: PARTIDA DE UM MOTOR DE INDUÇÃO EM UMA REDE INDUSTRIAL TRIFÁSICA

Para este estudo será analisada a forma de onda da corrente durante a partida direta de um motor de grande porte conectado a uma rede trifásica de 4,16 kV. A tabela 3 mostra os parâmetros utilizados para a simulação deste caso.

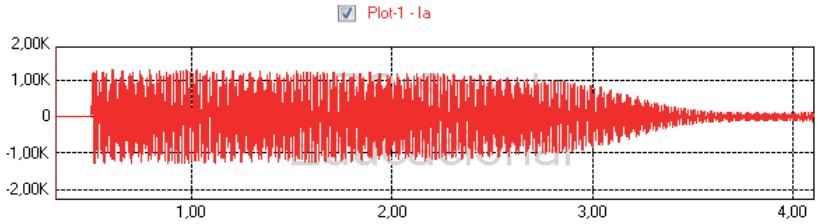
Tabela 3: Parâmetros do caso 3.

| Potência do motor | Fator de potência | Tensão da rede | Potência da rede |
|---|---|---|---|
| 1000 HP | 85% | 4,16 kV | 50 MVA |

Fonte: Autores

Nota-se, através da figura 4, no instante de 0,5 s que a corrente de partida de um motor de indução quando ligado diretamente à tensão da rede é sete vezes maior que a corrente nominal. Por este motivo, a partida direta geralmente não é utilizada para motores de grande porte (FONSECA, 2015).

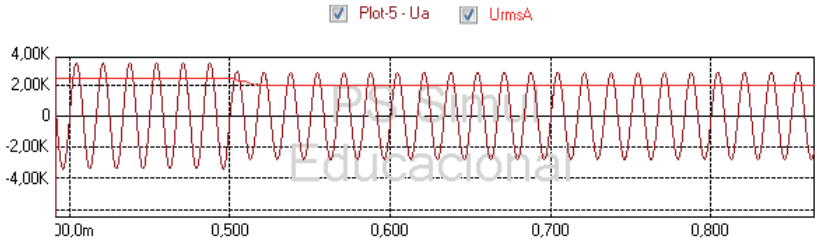
Figura 14: Forma de Onda da Corrente na Fase. A após a Partida do Motor:




Fonte: Autores

A figura 15 ilustra um afundamento da tensão eficaz no tempo de 0,5 s, instante em que ocorre a partida do motor. O afundamento prejudica o funcionamento de equipamentos sensíveis e ocorre devido a operação de grandes cargas nos sistemas elétricos.

Figura 15: Tensão Eficaz e Fundamental na Fase A após a Partida do Motor




Fonte: Autores.

Como dito anteriormente, não é aconselhável realizar a partida direta dos motores de indução, de grande porte pois as altas correntes de partida implicam a necessidade de utilização de métodos de acionamento ou partidas que possibilitem a sua redução, para que a rede elétrica não sofra reduções consideráveis em seus níveis de tensão, por causa da atuação dessas altas correntes na impedância existente entre a fonte e o barramento ao qual o motor está conectado. Dispositivos que podem ser utilizados para redução da corrente de partida, sendo: Partida Estrela - Triângulo ou Partida Compensadora ou Partida com Soft-Starter ou Partida com Inversor de Frequência, da qual efetuará a redução do valor do afundamento da tensão abaixo de 10% (FONSECA, 2015).

## 4 CONCLUSÕES

A utilização do software PSSIMUL programa de transitórios eletromagnéticos, que permitiu realizar a simulação de alguns distúrbios, mostrou-se bastante eficiente e de suma importância para o conhecimento e comportamento das cargas elétricas especiais em sistemas elétricos. Finalmente, neste estudo pode-se observar que as simulações computacionais forneceram resultados bons e confiáveis e apesar de pequenas limitações e diferenças, resultados satisfatórios puderam ser obtidos. Para continuidade no estudo em trabalhos futuros é interessante para o complemento da pesquisa:

• Implementar no sistema elétrico reatores limitadores ou de amortecimento para limitar a corrente transitória de energização e de descarga do banco de capacitores e verificar através de simulações computacionais como será o comportamento da forma de onda da corrente.

• Inserir indutores ou resistores em série com o banco de capacitores com o propósito de atenuar as sobretensões e verificar através de simulações computacionais como será o comportamento da forma de onda da tensão.

• Realizar a simulação de uma partida de motor através de soft starter, equipamento da eletrônica de potência, com a finalidade de eliminar a corrente de pico.

## REFERÊNCIAS


CODI - COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de orientação aos consumidores**: energia reativa excedente. 13 p. 2004. PDF. Disponível em: https://pt.slideshare.net/CtiaSanchezRoboredo/manual-de-orientao-aos-consumidores-energia-reativa-excedente. Acesso em: 20 maio 2020.

DA SILVA, Pedro L. M. **Desenvolvimento de um sistema de monitorização de consumos e de qualidade de energia elétrica.** 2016. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica Industrial e Computadores) **–** Universidade do Minho, Portugal, 2016.

DUGAN, Roger. C.; MCGRANAGHAN, Mark F.; SANTOSO, Surya.; BEATY, H. W. **Electrical power systems quality**. 2.ed. New York: McGraw–Hill, 1996.

FONSECA, Rodrigo R. G. E. S. Análise dos afundamentos de tensão decorrentes da partida direta de motores de indução trifásicos. **Olhar Tecnológico**, Catanduva, São Paulo, v. 2. 116 p., 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Paolo_Coti-Zelati/publication/287333765_Logistica_reversa_um_estudo_do_fluxo_da_destinacao_de_residuos_no_municipio_de_VotuporangaSP/links/5675e0f608ae0ad265c0db39/Logistica-reversa-um-estudo-do-fluxo-da-destinacao-de-residuos-no-municipio-de-Votuporanga-SP.pdf#page=12. Acesso em: 20 maio 2020.

MAIA, Juliana A.; PINHEIRO, José R. Harmônicos de corrente e tensão. *In*: XXI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul, Santa Maria, 2006. **Anais** [...], Santa Maria/RS, 2006.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de equipamentos elétricos**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

OLIVEIRA, Valdo R. de. **Correção do fator de potência de cargas industriais**. 2016. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS), Varginha, 2016.

POMILIO, José A. **Eletrônica de potência**: conversores CA-CC. Departamento de Sistemas e Energia **–** Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2014. PDF. Capítulo 6, p 6-18. Disponível em: http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdffiles/eltpot/cap6.pdf#search=%22conversores%20cc%20ca%22. Acesso em: 10 dez. 2019.

ROCHA, Joaquim E. **Qualidade de energia elétrica**. 37 p. Departamento de Eletrotécnica **–** Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2016. PDF. Disponível em: http://paginapessoal.utfpr.edu.br/joaquimrocha/qualidade-da-energia-eletrica/Qualidade%20da%20Energia%20Eletrica%20_%20Apostila.pdf/at_download/file. Acesso em: 05 set.2019.

WEG Automação S.A. **Manual para correção do fator de potência**. 40 p. Disponível em: https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hea/h8b/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf. Acesso em: 10 maio 2020.

# LINHAS DE TRANSMISSÃO – FUNDAMENTAÇÃO TÉCNICA: UM ESTUDO DE CASO

## TRANSMISSION LINES – TECHNICAL BACKGROUND: A CASE STUDY

Gabriel Muniz Reis[1]
Lucas de Souza Santos[2]
Vinicius Ramos Florencio[3]
Bianca Carneiro Ferraz[4]

**RESUMO:** Este artigo tem por objetivo uma abordagem técnica do seguimento de transmissão de energia elétrica, dando ênfase as características e peculiaridades de Linhas de Transmissão de médio porte. Após um longo período de análise a respeito de inúmeras possibilidades de temas, para esse trabalho, dentre tantos temas relevantes dentro da Engenharia Elétrica, optamos em desenvolver esse tema, Linhas de transmissão, por sua a importância no setor energético e na sociedade moderna. Outro fator que contribuiu muito para realização desse trabalho, a possibilidade de aprofundar e solidificar inúmeros conhecimentos adquiridos ao longo do curso, que foram necessários na preparação desse trabalho. Mesmo sem implementar um experimento prático, obtivemos resultados satisfatórios dentro de nossa proposta teórica, explorando medidas mitigadoras que reduziram efeitos indesejados, como efeito corona, efeito joule, gradiente de potencial elétrico nos condutores e desequilíbrio entre as fases. Concluiu-se que dentre as medidas para combater esses problemas, destacou-se a utilização de cabos múltiplos por fase e transposição de condutores, que serão abordados com maiores detalhes ao longo da obra.

1 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
4 Docente Mestre do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**Palavras-chave:** Linhas de Transmissão. Energia Elétrica. Cabos Múltiplos e Linha Trifásico. Sistema elétrico de potência

**ABSTRACT:** This work aims at a technical approach to monitor the transmission of electric energy, emphasizing the characteristics and peculiarities of medium and large transmission lines. After a long period of analysis and respect for various possibilities of themes, for this work, among the relevant themes within Electrical Engineering, we chose to develop this theme, Transmission lines, due to their importance in the energy sector and in modern society. Another factor that contributed a lot to the accomplishment of this work, the possibility of deepening and solidifying the numbers of knowledge acquired during the course, which were necessary in the preparation of this work. Even without implementing a practical experiment, obtain satisfactory results within our theoretical proposal, exploring mitigating measures that reduce unwanted effects, such as crown effect, joule effect, electric potential gradient in the conductors and imbalance between phases. It was concluded that among the measures to combat these problems, the use of multiple cables per phase and transposition of conductors stood out, which will be examined in greater detail throughout the work.

**Keywords:** Transmission lines. Electricity. Multiple cables and threephase line.

## 1 INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira é composta principalmente de fontes renováveis sendo que a geração hidráulica é a responsável por maior parte uma vez que participa de 65,2% de toda a oferta de energia (EPE, 2019). A energia renovável é um fator positivo, da geração de energia no Brasil, porém as implantações de hidroelétricas se encontram em locais distantes dos centros de consumo, sendo necessária a utilização de linhas de transmissão que funcionem bem, cumprindo seu importante

papel no abastecimento energético do país (FUCHS, 1997).

Diante disso fica evidente a importância e relevância na abordagem do tema, linhas de transmissão, que tem imprescindível papel, dentro o sistema elétrico brasileiro. Esse trabalho tem por objetivo abordar a parte de transmissão da energia elétrica, dando ênfase ao desenvolvimento técnico das linhas de transmissão de médio porte. Ao longo desse trabalho, serão verificados conceitos teóricos de criação, desenvolvimento e funcionamento das Linhas de transmissão, sempre evidenciando as características elétricas, desconsiderando questões mecânicas e estruturais, não pertinentes a esse estudo.

### 1.1 OBJETIVO

Realizar um levantamento bibliográfico a respeito da situação das linhas de transmissão de energia elétrica existentes no país, e a suas respectivas características. Este levantamento teve como ponto de partida a fundamentação teórica que abarca todos os conceitos hoje aplicáveis.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O desempenho de uma Linha de transmissão está intimamente ligado às suas características físicas, fator que induz o estudo físico das linhas de transmissão antes da análise dos fatores elétricos (LABEGALINI et al., 1992). No escopo da engenharia elétrica os constituintes mais importantes são os condutores e isoladores (FUCHS, 1997).

A escolha acertada de condutores é de vital importância para um projeto de Linhas de transmissão, sendo um fator determinante no projeto, tanto no quesito potência transmitida, quanto no comprimento LT, até mesmo atenuação de efeito Joule. (LABEGALINI et al., 1992). Para a escolha de condutores apropriados são observados os critérios de alta condutividade, baixo custo, resistência mecânica eficiente, baixo peso e alta resistência a fatores de oxidação naturais (LEÃO 2009). Como é muito difícil um condutor cumprir todos os requisitos descritos

simultaneamente, é feito uma combinação de metais diferentes, geralmente entre cobre e alumínio, pela condutividade elétrica e custo e o aço, pela resistência mecânica (CARVALHO, 2007), conforme vemos exemplificado na figura 1.

Figura 1: Cabo de alumínio com alma de aço.



Fonte: MOURA; MOURA; ROCHA (2019).

O principal metal utilizado nas linhas de transmissão, principalmente as de longos comprimentos, é o alumínio em razão de seu baixo peso específico, pois dessa forma, ainda que ele tenha 61% da condutividade do cobre, a condutividade do alumínio é mais do que o dobro daquela do cobre por unidade de peso (LABEGALINI *et al*., 1992).

O principal metal utilizado nas linhas de transmissão, principalmente as de longos comprimentos, é o alumínio em razão de seu baixo peso específico, pois dessa forma, ainda que ele tenha 61% da condutividade do cobre, a condutividade do alumínio é mais do que o dobro daquela do cobre por unidade de peso (LABEGALINI et al., 1992).

Existem 2 tipos de isoladores utilizados nas linhas: de porcelana e o de vidro. Os isoladores de vidro, mostrado na figura 2, possuem alta resistência ao impacto em seu dorso, sendo frágeis no intradorso ou saia, e fragmentam-se inteiramente por serem temperados, facilitando a localização de elementos defeituosos à distância. Isso não acontece com os isoladores de porcelana, que são difíceis de localizar quando trincados (MOURA, MOURA & ROCHA, 2019).

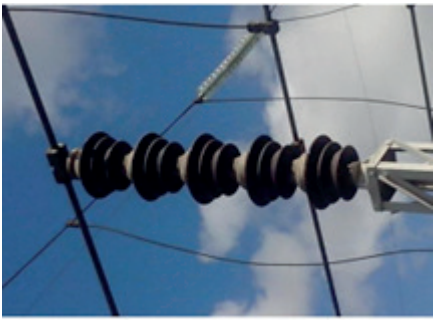
Figura 2: Isolador de vidro.



Fonte: TORANGE (2020).

Isoladores de porcelana por sua vez, conforme mostrado na figura 3, são composições homogêneas e compactas, isenta de bolhas de ar em seu interior, ou de impurezas que possam comprometer sua rigidez dielétrica. Não devem sofrer deformações durante os processos de queima, pois sua eficiência depende grandemente de sua geometria. A fim de tornar sua superfície impermeável, devem ser revestidos por uma camada de vidro (LABEGALINI *et al*., 1992).

Figura 3: Cadeia de isoladores de porcelana.



Fonte: TORANGE (2020).

A estruturas das LTs são responsáveis por proporcionar o suporte ao cabeamento, tanto os condutores, quanto para-raios. A quantidade de pontos de suspensão na estrutura depende da quantidade de cabos condutores e cabos para-raios a serem suportados. Há uma grande variedade de estruturas em uso, e suas dimensões e formas dependem de seguintes fatores como: disposição geométrica dos condutores e distância entre eles, dimensões, materiais estruturais, número de circuitos e custo/benefício (LABEGALINI et al., 1992).

As linhas de transmissão têm sua operação modelada pelas grandezas elétricas de resistência, indutância, capacitância e condutância consideradas uniformemente distribuídas ao longo da linha (MOURA, MOURA & ROCHA, 2019). Partindo para a parte de modelagem, podemos iniciar afirmando que as linhas de transmissão têm sua operação modelada pelas grandezas elétricas de resistência, indutância, capacitância e condutância consideradas uniformemente distribuídas ao longo da linha.

O primeiro conceito importante para o cálculo de projeto de uma LT é a potência dissipada, onde a resistência relaciona-se com a perda de energia, uma vez que a potência dissipada é dada pela equação 1. (SILVA, 2019).

$$P = R * I^2 \quad (01)$$

Onde:

P = Potência dissipada, dada em W;

R = Resistência, dada em Ω;

I = Corrente, dada em A

Em segundo lugar temos o princípio de indutância descrita pela Lei de Faraday, físico inglês que a partir dos seus estudos chegou ao que conhecemos como indução nos dizendo que se o fluxo magnético ϕ através de uma área limitada por uma espira condutora fechada varia com o tempo, uma corrente e uma

FEM são produzidas na espira (HALLIDAY 2009). Dizendo de maneira mais simples, a variação de campo magnético próxima á um condutor gera corrente elétrica. Porém quando falamos de Indução em Linhas de transmissão precisamos ampliar nosso conceito.

A indutância de uma LT é calculada através de enlaces de fluxo por amperes, considerando a permeabilidade μ constante, os enlaces de fluxo resultantes produzidos pela corrente senoidal I em fase com essa, podem ser expressos como o fasor λ conforme a equação 2 (MOURA, MOURA & ROCHA, 2019).

**L = λ /I** **(02)**

Para calcular a indutância aproximada de uma LT é necessário considerar o fluxo dentro e fora do condutor (MOURA, MOURA & ROCHA, 2019). Sabendo que μ = μ0 μ$r$ = 1$x$4$\pi x$10−7$H$/m.

$$\lambda_{interno(i)} = \frac{1}{2}10^{-7} \quad Wb/m$$

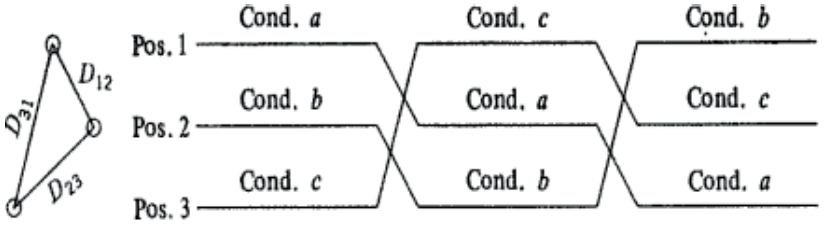
$$L_{interno(i)} = \frac{1}{2}10^{-7} \quad H/m$$

Um procedimento de suma importância nas linhas de transmissão é a transposição. Quando os condutores de uma LT trifásica não estão espaçados de maneira equilátera, as impedâncias de cada fase não são iguais, a LT fica desbalanceada. O equilíbrio pode ser novamente estabelecido, se a posição dos condutores for trocada ao longo da LT: nisto consiste a transposição (MOURA; MOURA; ROCHA, 2019).

Chama-se transposição a troca de posições dos condutores. Um ciclo completo de transposição é apresentado na Figura 4. Os condutores de cada fase são designados pelas letras a, b e c, e as posições indicadas pelos números 1, 2 e 3. A transpo-

sição resulta em que a indutância média de cada condutor, em um ciclo completo de transposição, seja a mesma (STEVENSON 1982).

**Figura 4: Ciclo completo de transposição**.




Fonte: STEVENSON (1982).

A Distância Média Geométrica (Deq), é a distânciaentres os condutores da linha de transmissão assimétrica é o espaçamento equilátero equivalente, sendo o espaçamento equilátero equivalente de uma linha com espaçamento assimétrico, mostrado na equação 3 (STEVENSON, 1982).

$$Deq = \sqrt[3]{D12.D23.D31} \quad \textbf{(03)}$$

Indutância média por fase da linha trifásica, com transposição, pode ser expressa através da equação 4 (LEÃO 2009).

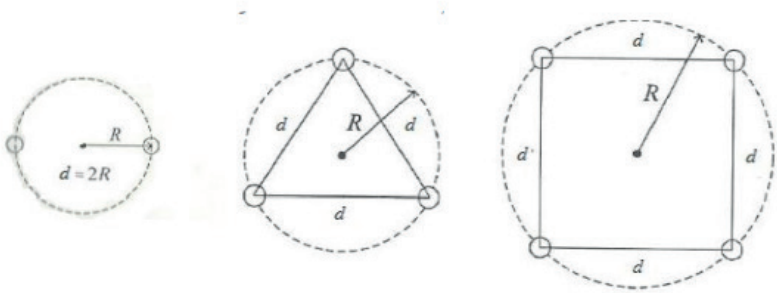
$$L = 2x\,10^{-7} \ln \frac{Deq}{Ds}\ H/m \quad \textbf{(04)}$$

Logo a Reatância Indutiva:

$$X_l = 2\pi f L \quad \textbf{(05)}$$

O raio médio geométrico de um cabo (RMG), ou raio reduzido de um cabo, é o $Ds\ b$ como o raio médio geométrico de cabos múltiplos, ou raio reduzido de cabos múltiplos, conforme mostrado na figura 5 (STEVENSON, 1982).

Figura 5: Cabos múltiplos por fase.




Fonte: LEÃO (2009).

Para 2 condutores $= D_s^b = \sqrt{Ds.d}$

Para 3 condutores $= D_s^b = \sqrt[3]{Ds.d^2}$

Para 4 condutores $= D_s^b = 1.09.\sqrt[4]{Ds.3}$

Equações da indutância e reatância são as mesmas, substituindo-se o RMG Ds do condutor simples por $Ds\ b$ para cabos múltiplos (STEVENSON, 1982). No que diz respeito ao conceito de capacitância, em uma linha de dois condutores 1 e 2, mostrada na figura 6, é definida como a carga dos condutores por unidade de diferença de potencial entre eles, conforme mostrado na equação 6 (STEVENSON, 1982). O croqui 1 esboça a capacitância entre os condutores.

**Croqui 1. Capacitância entre condutores**.




Fonte: MOURA; MOURA; ROCHA (2019)

$$C_{12} = \frac{q}{V_{12}} \ F/m \tag{06}$$

A capacitância entre condutores por fase é representada na equação 7 (STEVENSON, 1982).

$$C_n = C_{an} = C_{bn} = \frac{2\pi k}{Ln\left(\frac{D}{r}\right)^2} \tag{07}$$

Logo a reatância capacitiva, fase-terra é dada pela equação 8 (STEVENSON, 1982).

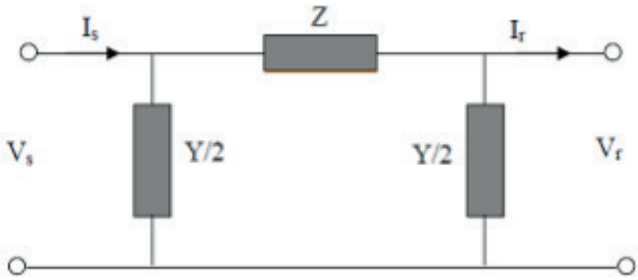
$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \tag{08}$$

As linhas de transmissão média são as linhas com um comprimento que têm comprimento de 80 KM a 240 KM. Devido a extensão desta linha, podemos considerar a metade da capacitância em paralelo concentrada em cada uma das extremidades da linha, conforme indica Gomes (2011).

> O modelo de circuito normalmente usado quando se trata de linhas de transmissão media é o modelo $\pi$, como vemos representado na figura 7. A escolha deste modelo se deve a estudos feitos usando mode-

los de circuito em series de potência. De acordo com os dados obtidos, o maior erro de tensão é 1.11% e o maior erro de corrente é de 0.3933%. Desta forma chegou-se a conclusão que o melhor modelo de circuito a ser usado para este tipo linha é o modelo $\pi$ com suas equações características, como indica Moura; Moura e Souza (2019).

Figura 7: Modelo π.




Fonte: MOURA; MOURA; ROCHA (2019).

## 3 ESTUDO DE CASO

Diante do exposto se optou por trazer um estudo de caso, onde pudéssemos de forma prática e objetiva propor de forma fictícia a implantação de uma LT de médio porte, considerando de forma específica somente fatores implicados na análise de potência, ignorando outros aspectos de cunho estrutural, ambiental, viabilidade financeira, entre outros.

A proposta da LT tem por objetivo transmitir eletricidade, da Usina Hidrelétrica de Jirau, em Porto Velho, Rondônia, até a cidade de Canas, também situada em Rondônia, percorrendo 215 quilômetros, da unidade geradora até as subestações da cidade. Utilizaremos uma LT de capacidade 440KV, funcionando com cargas trifásicas com espaçamento assimétrico, com cabos múltiplos, sendo aérea, cujo seus condutores ficam suspenso por torres, com seu devido isolamento, cada cadeia de isoladores possui vinte isoladores.

As escolhas abaixo usam como critério a norma vigente (NBR 5422), levando em consideração as distâncias, a potência desejada e a tensão de transmissão. Ficou definido três condutores por fase, a uma distância de 0,4m entre si, tendo 13m de distância entre as respectivas fases. Assim como os condutores, que serão utilizados, ficou definido do tipo Pheasant CAA, condutores de alumínio com alma de aço (ASCR). As especificações técnicas, desse condutor estão detalhadas na tabela 1.

Tabela 1: Característica elétrica de Alumínio com Alma de aço (ASCR).

| Palavra-código | Área de alumínio, cmil | Número de fios, Al/Aço | Camadas de alumínio | Diâmetro externo, pol | Resistência CC, 20°C, M /1.000 pés | Resistência CA, 60 Hz 20°, Ω/mi | Resistência CA, 60 Hz 50°, Ω/mi | RMG $D_s$, pés | Reatância por condutor, 1 pé de espaçamento, 60 Hz Indutiva $X_a$, Ω/mi | Reatância por condutor, 1 pé de espaçamento, 60 Hz Capacitiva $X'_a$, M Ω/mi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Waxwing | 266.800 | 18/1 | 2 | 0,609 | 0,0646 | 0,3488 | 0,3851 | 0,0158 | 0,476 | 0,1090 |
| Partridge | 266.800 | 26/7 | 2 | 0,642 | 0,0640 | 0,3452 | 0,3792 | 0,0217 | 0,465 | 0,1074 |
| Ostrich | 300.000 | 26/7 | 2 | 0,680 | 0,0569 | 0,3070 | 0,3372 | 0,0229 | 0,458 | 0,1057 |
| Merlin | 336.400 | 18/1 | 2 | 0,684 | 0,0512 | 0,2767 | 0,3037 | 0,0222 | 0,452 | 0,1055 |
| Linnet | 336.400 | 26/7 | 2 | 0,721 | 0,0507 | 0,2737 | 0,3006 | 0,0243 | 0,451 | 0,1040 |
| Oriole | 336.400 | 30/7 | 2 | 0,741 | 0,0504 | 0,2719 | 0,2987 | 0,0255 | 0,445 | 0,1032 |
| Chickadee | 397.500 | 18/1 | 2 | 0,743 | 0,0433 | 0,2342 | 0,2572 | 0,0241 | 0,452 | 0,1031 |
| Ibis | 397.500 | 26/7 | 2 | 0,783 | 0,0430 | 0,2323 | 0,2551 | 0,0266 | 0,441 | 0,1015 |
| Pelican | 477.000 | 18/1 | 2 | 0,814 | 0,0361 | 0,1957 | 0,2148 | 0,0264 | 0,441 | 0,1004 |
| Flicker | 477.000 | 24/7 | 2 | 0,846 | 0,0359 | 0,1943 | 0,2134 | 0,0284 | 0,432 | 0,0992 |
| Hawk | 477.000 | 26/7 | 2 | 0,858 | 0,0357 | 0,1931 | 0,2120 | 0,0290 | 0,430 | 0,0988 |
| Hen | 477.000 | 30/7 | 2 | 0,883 | 0,0355 | 0,1919 | 0,2107 | 0,0304 | 0,424 | 0,0980 |
| Osprey | 556.500 | 18/1 | 2 | 0,879 | 0,0309 | 0,1679 | 0,1843 | 0,0284 | 0,432 | 0,0981 |
| Parakeet | 556.500 | 24/7 | 2 | 0,914 | 0,0306 | 0,1660 | 0,1822 | 0,0306 | 0,423 | 0,0969 |
| Dove | 556.500 | 26/7 | 2 | 0,927 | 0,0307 | 0,1663 | 0,1826 | 0,0314 | 0,420 | 0,0965 |
| Rook | 636.000 | 24/7 | 2 | 0,977 | 0,0269 | 0,1461 | 0,1603 | 0,0327 | 0,415 | 0,0950 |
| Grosbeak | 636.000 | 26/7 | 2 | 0,990 | 0,0268 | 0,1454 | 0,1596 | 0,0335 | 0,412 | 0,0948 |
| Drake | 795.000 | 26/7 | 2 | 1,108 | 0,0215 | 0,1172 | 0,1284 | 0,0373 | 0,399 | 0,0912 |
| Tern | 795.000 | 45/7 | 3 | 1,063 | 0,0217 | 0,1188 | 0,1302 | 0,0352 | 0,406 | 0,0925 |
| Rail | 954.000 | 45/7 | 3 | 1,165 | 0,0181 | 0,0997 | 0,1092 | 0,0386 | 0,395 | 0,0897 |
| Cardinal | 954.000 | 54/7 | 3 | 1,196 | 0,0180 | 0,0988 | 0,1082 | 0,0402 | 0,390 | 0,0890 |
| Ortolan | 1.033.500 | 45/7 | 3 | 1,213 | 0,0167 | 0,0924 | 0,1011 | 0,0402 | 0,390 | 0,0885 |
| Bluejay | 1.113.000 | 45/7 | 3 | 1,259 | 0,0155 | 0,0861 | 0,0941 | 0,0415 | 0,386 | 0,0874 |
| Finch | 1.113.000 | 54/19 | 3 | 1,293 | 0,0155 | 0,0856 | 0,0937 | 0,0436 | 0,380 | 0,0866 |
| Bittern | 1.272.000 | 45/7 | 3 | 1,345 | 0,0136 | 0,0752 | 0,0832 | 0,0444 | 0,378 | 0,0855 |
| Pheasant | 1.272.000 | 54/19 | 3 | 1,382 | 0,0135 | 0,0751 | 0,0821 | 0,0466 | 0,372 | 0,0847 |
| Bobolink | 1.431.000 | 45/7 | 3 | 1,427 | 0,0121 | 0,0684 | 0,0746 | 0,0470 | 0,371 | 0,0837 |
| Plover | 1.431.000 | 54/19 | 3 | 1,455 | 0,0120 | 0,0673 | 0,0735 | 0,0494 | 0,365 | 0,0829 |
| Lapwing | 1.590.000 | 45/7 | 3 | 1,502 | 0,0109 | 0,0623 | 0,0676 | 0,0498 | 0,364 | 0,0822 |
| Falcon | 1.590.000 | 54/19 | 3 | 1,545 | 0,0108 | 0,0612 | 0,0667 | 0,0523 | 0,358 | 0,0814 |
| Bluebird | 2.156.000 | 84/19 | 4 | 1,762 | 0,0080 | 0,0476 | 0,0515 | 0,0586 | 0,344 | 0,0778 |

* Condutores de várias camadas mais usados.
** Dados retirados, com a autorização da Aluminum Association, de *Aluminum Electrical Conductor Handbook*, New York, 1971.

Fonte: LABEGALINI *et al*., 1992).

Se precisa considerar que os espaços que separam nossos condutores são assimétricos, por esse motivo podemos concluir que o fluxo concatenado e a indutância pertinente a cada fase são diferente umas das outras, por esse motivo utilizaremos o princípio da transposição. O primeiro fator a ser obtido será a distância média geométrica (Deq), entre os condutores das fases, pela equação 9. Para obtenção do Deq, conforme

já mencionado anteriormente, utilizaremos a distância de 13m, entre as fases, D = 13m, conforme demonstrado na figura 8.

$$Deq = \sqrt[3]{D_{12}.D_{23}.D_{13}}$$

$$Deq = \sqrt[3]{13.13.26}$$

$$Deq = 16{,}38m \quad \textbf{(09)}$$

Figura 8: Torre de Transmissão.




Fonte: TORANGE (2020).

De acordo com a Tabela 1, para de condutor do tipo Pheasant CAA, utilizaremos a distância de 40cm (d = 0,4 m), entre os condutores múltiplos. Assim como podemos obter o Ds = 0,0135m. Após definição dos valores acima, teremos respal-

do para encontrar o raio médio geométrico (RMG), para cabos múltiplos, com três condutores, através da equação 10.

$$RMG = \sqrt[3]{Ds.d^2} \quad \textbf{(10)}$$

$$RMG = \sqrt[3]{0{,}0135.0{,}4^2}$$

$$RMG = 0{,}1292m$$

Para obter a indução média, por fase, utilizando a equação 11.

$$L_n = 2.10^{-7}.ln\frac{Deq}{RMG}$$

$$L_n = 2.10^{-7}.ln\frac{16{,}38}{0{,}1292}$$

$$L_n = 0{,}9684x10^{-6}H/m \quad \textbf{(11)}$$

A Reatância indutiva, será obtida através da equação 12, será em ohm por quilômetro a 60hz.

$$X_l = 2\pi.60.1000.2x10^{-7}.ln\frac{Deq}{RMG}$$

$$X_l = 0{,}3651\ \Omega/km\ por\ fase \quad \textbf{(12)}$$

Para obtermos a capacitância na LT utilizaremos a equação 13.

$$C1n = C2n = C3n = \frac{17{,}7\pi.10^{-12}}{\ln\left(\frac{Deq}{R}\right)}$$

$$C1n = C2n = C3n = 11{,}48x10^{-12}F/m \quad \textbf{(13)}$$

Para obtenção da Reatância capacitiva, utilizaremos a equação 14.

$$X_c = \frac{1}{2\pi.60.Can}$$

$$X_c = 231{,}06x10^{6}\Omega/m \quad \textbf{(14)}$$

O Total da reatância capacitiva, por fase, ao longo do trajeto, pode ser obtido pela equação 15.

$$X_c total = \frac{Xc}{215x10^{3}}$$

$$X_c total = 1074\Omega \quad \textbf{(15)}$$

Geralmente escrevemos o efeito capacitivo das linhas em termos de susceptância em derivação, que será expressa pela equação 16.

$$B = \frac{1}{X_c}$$

$$B = 4{,}32x10^{-9}Simens/m \quad \textbf{(16)}$$

Baseado nos resultados obtidos foi possível determinar o modelo e parâmetros para LT, com as características e dados do presente estudo de caso, conforme tabela 2.

Tabela 2: Dados e Resultados.

| Dados e resultados | |
|---|---|
| $r$ = | 0,065 Ω/km |
| $X_L$= | 0,5 Ω/km |
| $X_c$= | 231,06 x $10^3$ Ω/km |
| $v$ = | 440 kV |
| $P_{carga}$ = | $300MW$ |
| $F_p$ = | 0,92 indutivo |

Fonte: Autores.

Nessa etapa, teremos como primeira análise, os parâmetros do modelo π nominal, através da obtenção da Impedância série e admitância Shunt.

Impedância série, equação 17:

$$Z = (r + j\omega L).l$$

$$Z = (0{,}065 + j0{,}5).215$$

$$Z = 108{,}4 < 82{,}6º\ \Omega \quad \textbf{(17)}$$

Admitância Shunt, equação 18:

$$XC = -jXC.l$$

$$XC = -j.231{,}06.103.215$$

$$XC = -j49{,}678.106\,\Omega$$

$$Y/2 = j\ 1/(2X\_C\ )$$

$$\frac{Y}{2} = j\frac{1}{2.(49{,}768.10^{6})} = j10^{-8}[S] \quad \textbf{(18)}$$

A obtenção dos valores, referentes às potências, são de suma importância, para traçarmos um panorama geral, e definição de um modelo matemático viável, do estudo de caso. Diante disso nos concentraremos nos cálculos, para determinar a potência: reativa, consumida e dissipada, pela linha:

No terminal receptor, equação 19:

$$Q_{c,r} = \frac{Y^*}{2}{V_r}^2 = 10 - 8 < -90º.\frac{(440.10^3)^2}{\sqrt{3}} = -j645{,}33\ \left[{}^{var}/_{fase}\right] \quad \textbf{(19)}$$

A corrente no terminal do receptor que alimenta a carga, equação 20:

$$I_r = \frac{P}{\sqrt{3}.V_L.F_P} < \cos^{-1} F_P$$

$$I_r = \frac{300.10^6}{\sqrt{3}.440.10^3.0{,}92}$$

$$I_r = 427{,}88 < -23{,}07º\ A \qquad \textbf{(20)}$$

Tensão no terminal de transmissão, equação 21:

$$V_t = V_r + Z(I_r + V_r\frac{Y}{2})$$

$$V_t = \frac{440.10^3}{\sqrt{3}} < 0º + 108{,}4 < 82{,}6º(427{,}88 <$$

$$-23{,}07º + \frac{440.10^3}{\sqrt{3}} < 0º.10^{-8} < 90º)$$

$$V_t = 254034{,}12 < 0º + 46382{,}19 < 59{,}53º$$

$$V_t = 485698{,}4 < 38{,}2º\ [V] \qquad \textbf{(21)}$$

Potência reativa no transmissor, equação 22:

$$Q_{C,t} = \frac{Y^*}{2} . V_t{}^2$$

$$Q_{C,r} = j10^{-8} < -90º . 485698{,}4^2$$

$$Q_{C,r} = -j2359{,}03\ [var/fase]$$

$$Q_{C,total} = Q_{C,t} + Q_{C,r}$$

$$Q_{C,total} = -j3004{,}36\ [var/fase] \quad \textbf{(22)}$$

Potência absorvida, equação 23:

$$Q_L = jX_L{}^2$$

$$Q_L = j107{,}5.427{,}88^2$$

$$Q_L = j19681{,}24\ kvar/fase \quad \textbf{23)}$$

Potência Dissipada, equação 24:

$$P_J = RI^2$$

$$P_J = 13{,}975.427{,}88^2$$

$$P_J = j2558{,}56\ [kvar/fase] \quad \textbf{(24)}$$

Com os valores de potência calculados, podemos estabelecer uma relação entre potência e demandada. Na tabela 3, temos tabelado a potência reativa trifásica consumida pela linha (QL), potência reativa no transmissor (QC) e potência trifásica dissipada na linha (PJ).

Tabela 3: Potências

| Tabela de Potências | | | |
|---|---|---|---|
| P | $Q_L$ | $Q_C$ | $Q_J$ |
| 300MW | 59,04Mvar | 9,01kvar | 7,67Mvar |
| Δ% | 19,68% | 0,003% | 2,56% |

Fonte: Autores.

A partir das infamações da tabela 3, pôde-se estabelecer as constantes genéricas da LT, equação 25:

$$A = 1 + \frac{ZY}{2} \qquad \textbf{(25)}$$

$$A = 1 + \frac{108{,}4<82{,}6^{\circ}.0{,}02.10^{-6}<90^{\circ}}{2}$$

$$A = 1 + 1{,}085 < 90º\ \Omega = \mathrm{D}$$

$$B = Z = 108{,}4 < 82{,}6º\ \Omega$$

$$C = Y\left(1 + \frac{ZY}{4}\right)$$

$$C = 10^{-8} < 90º.\left(1 + \frac{108{,}4<82{,}6º.10^{-8}<90º}{4}\right)$$

$$C = 10^{-8} < 90º \cong 0$$

Para finalizar, podemos escrever o modelo da nossa linha como quadripolo, com intuito de dividir o circuito em blocos interligados entre si, ainda como preparação para implementação computacional, através do sistema de equações não linear, equação 26:

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad \textbf{(26)}$$

## 4 CONCLUSÕES

Mediante a investigação feita a respeito das linhas de transmissão, em seus respectivos comprimentos, verificamos que o correto dimensionamento é imprescindível ao transporte de energia, principalmente no tocante às perdas de potência. Através do estudo de caso proposto pudemos ter maior percepção da interação dos parâmetros de uma LT. Permitindo assim, maior compreensão a respeito da modelagem deste tipo de ente do ferramental elétrico.

## REFERÊNCIAS


ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 7306.** Condutores elétricos de alumínio: Tensão e deformação em condutores de alumínio: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 7303**. Condutores elétricos de alumínio: Fluência em condutores de alumínio: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 5422.** Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. Rio de Janeiro, 1985.

BRASIL. EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Matriz energética e elétrica. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica. Acesso em: 20 set. 2019.

CARVALHO, C. G. **Características dos parâmetros do condutor equivalente a um feixe de subcondutores de linhas de transmissão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2007.

FUCHS, Rubéns Dário. **Transmissão de energia**: teoria das linhas de regime permanente. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos/Escola Federal de Engenharia, 1977.

GARCIA Douglas A. A.; DUZZI JUNIOR, Francisco Elio. Aspectos de evolução do *smart grid* nas redes de distribuição. **Revista O Setor Elétrico**, n.75, abr. 2012. Disponível em: http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed75_fasc_distrib uicao_cap3.pdf. Acesso em: 23 maio 2012

GOMES, Flavio Vanderson. **Transmissão de energia elétrica**. Curso de Transmissão de energia elétrica. UFJF. Disponível em: https://www.ufjf.br/flavio_gomes/files/2011/01/Transmiss%c3%a3o-Aula-05.pdf. Acesso em: 11 abr. 2020

LABEGALINI Paulo Roberto; LABEGALINI José Ayrton; FUCHS Rubens Dário, ALMEIDA Marcio Tadeu de. **Projeto mecânico das linhas aéreas de transmissão**. 2. ed. São Paulo: Edigard Blucher, 1992

LEÃO, Ruth Pastora Saraiva. **GTD – geração transmissão e distribuição de energia elétrica**. 2009. Disponível em: http://www.dee.ufc.br/graduacao/trabalho-final-de-curso/tfcs/rleao. Acesso em: 09 out. 2019.

MENEZES, Victor de Prangiel. Linhas de transmissão de energia elétrica aspectos técnicos, orçamentários e construtivos. Rio de Janeiro: Edgard Blücher/UFRJ, 2015

MOURA Ailson P. de; MOURA Adriano Aron F. de; ROCHA Ednardo P. da **Transmissão de energia elétrica em corrente alternada**. Fortaleza: Edições UFC, 2019

SILVA, Cintia A. Análise conceitual de linhas de transmissão operando em regime permanente senoidal. **Revista Científica do IMG**, v. 7, n. 2, 2019. Edição Regular em Fluxo Contínuo. Disponível em: http://dx.doi.org/10.29069/forscience.2016v4n2.e206. Acesso em: 01 dez. 2019.

STEVENSON, William D. Jr. **Elementos de análise de sistema de potência**. 2.ed. São Paulo: Mc Graw Hill, 1982.

ISOLADORES de linha de transmissão - imagem. **Torange.biz**. Disponível em: https://torange.biz/pt/transmition-line-insulators-2318. Acesso em: 20 jun. 2020

# ESTUDO DA MICROGERAÇÃO DE ENERGIA PELO USO DE TRANSDUTORES PIEZOELÉTRICOS

## MICROGENERATION ENERGY STUDY BY USE OF PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS

Gustavo de Souza Brandão[1]
Laudair Teixeira Costa Júnior[2]
Renata Fonseca Fernandes de Oliveir[3]
Dener Martins dos Santos[4]
Cíntia Corrêa de Souza[5]

**RESUMO:** Este estudo apresenta um estudo sobre a viabilidade da geração de energia através de transdutores piezoelétricos, materiais capazes de converter energia mecânica em energia elétrica quando sofrem algum tipo de pressão, e que se enquadram como geração de energia limpa e sustentável. Através de um estudo de caso analisa-se a possibilidade de geração de energia para iluminação de um templo religioso na falta de energia pela concessionária, através de um circuito, a princípio, com função nobreak. Mesmo tendo como desvantagem a necessidade de grande movimentação de pessoas para atingir os níveis de tensão desejados e de um alto valor de instalação, o projeto de geração de energia através da piezoeletricidade não é viável e aplicável ao cotidiano de um local de acesso público, quando visto a longo prazo e a falta de fornecimento de energia elétrica pela concessionária local para iluminação local.

1 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
4 Docente Mestre do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
5 Docente Especialista do Curso de Engenharia Elétrica Centro Universitário de Barra Mansa (UBM)

**Palavras-chave:** Piezoeletricidade. Geração de energia. Energia sustentável.

**ABSTRACT:** This study addresses the feasibility of power generation through piezoelectric transducers, materials capable of converting mechanical energy into electrical energy when under some kind of pressure, and which fit as clean and sustainable energy generation. A case study analyzes the possibility of generating power for lighting a religious temple in the absence of power by the concessionaire, through a circuit, at first, with no-break function. Even having as a disadvantage, the need of great movement of people to reach the desired voltage levels and a high installation value, the project of energy generation through piezoelectricity isn't viable and not applicable to the daily life of a place of public access, even seen in the long term and the lack of electric power supply by the local concessionaire for local lighting.

**Keywords:** Piezoelectricity. Energy generation. Sustainable energy.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, potências econômicas de todo o planeta investem na criação de diversos métodos a fim de garantir a eficiência, confiabilidade e sustentabilidade energética em diferentes plantas de geração, armazenamento e distribuição de energia elétrica. Um método dentre esses, que merece destaque e é objeto de estudo desse trabalho, é o uso de cristais piezoelétricos na geração de energia elétrica. Certos cristais têm como característica gerar tensão ao ser pressionado, esses cristais são chamados de cristais piezoelétricos. O termo piezoeletricidade provém do alfabeto grego, da palavra piezein que tem como significado apertar/pressionar e foi descoberto pelos irmãos Pierre e Jaques Currie em 1880 (IKEDA, 1990).

O efeito piezoelétrico ocorre em determinados cristais porque o centro de simetria das cargas elétricas positivas não coinci-

de com as cargas negativas, isso faz com que haja um dipolo elétrico que, quando deformado, na presença de um campo elétrico, gera uma corrente elétrica podendo também ocorrer o inverso (PIPPI, 2003). Os cristais que sofrem o efeito piezoelétrico são o sulfureto de zinco (ZnS), o clorato de sódio (NaClO3), o cloroborato de magnésio (Mg3B7O13Cl) ou boracita, a turmalina, o quartzo, o carbonato de Zinco (ZnCO3) ou calamina, o topázio, o açúcar e o sal Rochelle ou sal de Seignette (KNaC4H4O6. 4H2O), que são cristais hemiédricos com eixos de simetria polares. Como outros exemplos de materiais temos o Titanato de Bário, PZT (Titanato Zirconato de chumbo) e PVDF (Polivinilo de Flúor), que se trata de um polímero flexível. O PZT é um dos mais eficientes e pode converter até 80% da energia mecânica em elétrica (Yi Qi, Noah T. Jafferis, Kenneth Lyons Jr., 2010). Hoje os cristais piezoelétricos estão presentes em vários equipamentos do nosso dia a dia, dentre eles temos o medidor de pressão, microfone, isqueiro elétrico, alarme antifurto, agulha toca disco, ultrassom, auto falantes, etc. Esse trabalho tem como objetivo abordar esse efeito a fim de suprir a falta de energia em determinada área.

### 1.1 OBJETIVO

Estudar a viabilidade da microgeração de energia elétrica utilizando transdutores piezoelétricos, a fim de suprir a falta de energia fornecida pela concessionária. Assim como estudar como é a geração de energia através de transdutores piezoelétrico para alimentar a iluminação de um ambiente público.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O fenômeno da piezoeletricidade (homenagem ao grego piezein, que significa espremer ou prensar) foi descoberto pelos irmãos Curie em 1880 (IKEDA, 1990). Foi quando mostraram que cristais de turmalina, quartzo, topázio, cana-de-açúcar e sal de Rochelle geravam polarização elétrica quando submetidos a pressões. Materiais piezoelétricos são aqueles capa-

zes de converter energia mecânica em energia elétrica (efeito direto), ou quando excitados por uma diferença de potencial geram energia mecânica (efeito inverso). Ao aplicar-se uma força externa sobre esses materiais obtém-se uma polarização elétrica com intensidade diretamente proporcional a simetria do material, Pippi (2003).

Sodano *et al*. (2005a) afirmou que os matérias piezoelétricos tem como utilidade recarregar baterias. Essa afirmação abre muitas portas no mercado comercial, porem o material mais comum que estava sendo utilizado para o armazenamento de energia elétrica era o capacitor. O mesmo não se mostrou muito eficiente, pois, a alta taxa de descarga dos capacitores não permite que a saída apresente sinal continuo, e os principais circuitos eletrônicos necessitam desse sinal para o funcionamento.

A primeira aplicação na prática da piezoeletricidade se deu em um dispositivo piezoelétrico de sonar. Dispositivo esse que se tratava de um detector submarino ultrassônico. Foi um dispositivo desenvolvido por Paul Langevin, no ano de 1917, durante a Primeira Guerra Mundial. O dispositivo basicamente consistia em um transdutor (feito de finos cristais de quartzo colados entre duas chapas de aço) e um hidro fone para detecção de eco de retorno. Esse transdutor emitia uma onda sonora de alta frequência. Ele calculou a distância de um objeto pelo tempo gasto que o eco das ondas sonoras levava para retornar do objeto (SHIGUE *et al*, 2010).

## 3 DESENVOLVIMENTO

O estudo abordará a geração de energia através do cristal com característica piezoelétrica, gerada por meio da compressão do cristal através da energia mecânica, que por sua vez é gerada com a pressão imposta ao pisar no transdutor, aproveitando essa fonte de energia para alimentar as lâmpadas no espaço público. As etapas utilizadas foram as seguintes:

- Escolha da lâmpada e apresentação do resultado da substituição;
- Escolha do transdutor piezoelétrico mais adequado para a montagem do sistema;
- Dimensionamento da área onde serão implantados os pisos piezoelétricos;
- Escolha da forma de armazenamento, mais adequada para o sistema;
- Modelagem do circuito elétrico, apresentando os componentes necessários para a montagem do mesmo, e o cálculo de tensão, corrente e potência elétrica gerada; Análise e apresentação dos dados.

Hoje o tipo de lâmpada que se utiliza interfere no consumo final de energia elétrica, levando essa afirmativa em consideração o estudo abordará além da microgeração de energia através de cristais piezoelétricos (principal objetivo do estudo), a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, demonstrando o impacto final da ação no consumo. Hoje se utiliza lâmpadas fluorescentes de 40W de potência, no salão existem 24 lâmpadas e a igreja tem seu funcionamento quatro dias na semana, sendo dois dias de culto, quarta e domingo de 19:00 às 22:00 horas e os outros dois dias aleatórios na semana destinados a limpeza que leva em média 2 horas. Assim se conclui que o tempo de utilização das lâmpadas por semana é de 10 horas. O cálculo do consumo de energia elétrica se utilizou a equação 01. Ao se utilizar os dados coletados de 24 lâmpadas de 40W, por 10 horas por semana obteve-se.

$$E = \frac{P \cdot \Delta t}{1000} \qquad \textbf{(01)}$$

Onde:

E = Energia consumida [KWh];

P = Potência [W];

Δt = Tempo [h].

$$E = \frac{40W \,.\, 10h}{1000} = 0{,}4 \text{ KWh por lâmpada}$$

$$E = 0{,}4 \,.\, 24 \text{ lâmpadas} = 9{,}6 \text{ KWh}$$

Considerando o consumo em um mês:

$$E = 9{,}6 \,.\, 4 \text{ semanas} = 38{,}4 \text{ KWh}$$

Para que possa obter o valor do consumo em reais, é necessário levar em consideração quanto está custando o valor de 1KWh fornecido pela concessionária de energia. Hoje o valor está em R$ 0,66311 dado fornecido pela Light. Assim tem-se:

$$38{,}4 \,.\, 0{,}66311 = \text{R\$ } 25{,}46$$

Agora para fazer o comparativo entre a lâmpada LED e a lâmpada fluorescente leva-se em consideração os lumens (unidade de medida do fluxo luminoso). No mercado atual a lâmpada LED que equivale os lumens de uma lâmpada fluorescente de 40W de potência, é a lâmpada LED de 20W de potência em média. Assim utilizando a equação 01 do consumo de energia teve-se:

$$E = \frac{20W \,.\, 10h}{1000} = 0{,}2 \text{ KWh por lâmpada}$$

$$E = 0{,}2 \,.\, 24 \text{ lâmpadas} = 4{,}8 \text{ KWh}$$

$$E = 4{,}8 \,.\, 4 \text{ semanas} = 19{,}2 \text{ KWh}$$

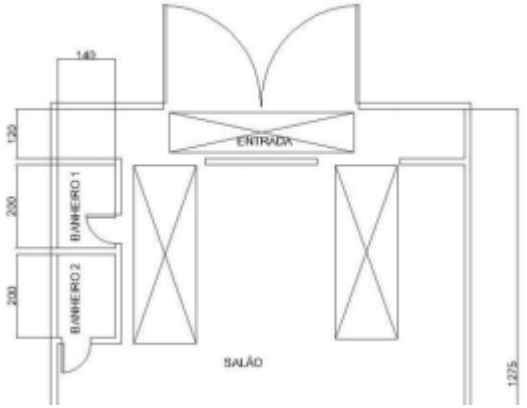
$$19{,}2 \,.\; 0{,}66311 = R\$\; 12{,}73$$

Assim com os dados demonstrados pode-se concluir que na substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, terá uma redução no consumo final de 50%. Também se leva em consideração que uma lâmpada fluorescente tem em média sua vida útil de 8.000 horas, enquanto, a lâmpada LED tem sua vida útil de em média 20.000 horas, dados fornecidos pelo fabricante.

### 3.1 TRANSDUTOR PIEZOELÉTRICO

O transdutor piezoelétrico que será utilizada no sistema terá formato circular, composto por um disco de latão com um disco interno de material piezoelétrico a base de titanato de Bário ($BaTiO_3$). Esse tipo de transdutor piezoelétrico é o mais comum e mais utilizado no mercado e possui transdutores de vários tamanhos, mas o que será utilizado para esse projeto é o transdutor de 35 mm de diâmetro, como demonstrado na figura 1.

Figura 1: Transdutor Piezoelétrico




. Fonte: FARIAS (2013).

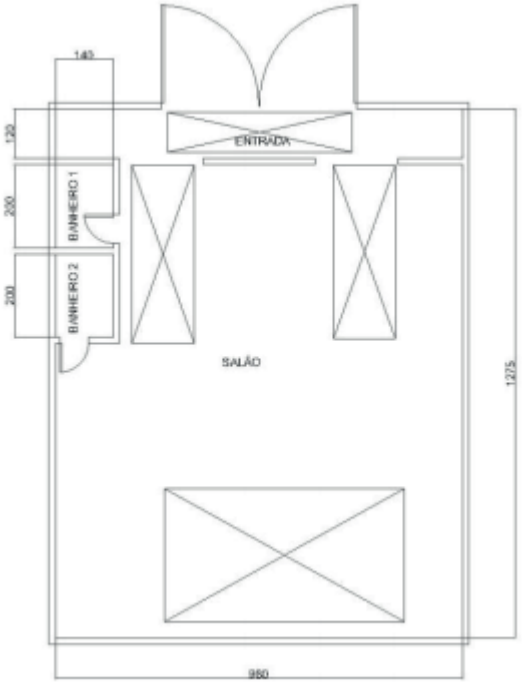
Ao se utilizar a equação da área da circunferência com d =0,035 m (diâmetro em metro de acordo com SI) pôde-se calcular a área do transdutor e depois se calculou a quantidade de transdutores necessário por metro quadrado.

$$A = \frac{\pi \,.\, 0{,}035^2}{4} = 0{,}000962\ m^2$$

$$Qt = \frac{1}{0{,}000962} = 1039\ \text{transdutores por}\ m^2 \qquad \textbf{(02)}$$

Teoricamente tem espaço para 1039 transdutores, porém é impossível compactar perfeitamente, pois possuem formato circular, então será utilizado apenas 529, que formarão uma placa de 23x23 transdutores. Foi utilizado no estudo 15m² espalhados em pontos estratégicos que dá 7935 transdutores piezoelétrico. Os pontos onde serão espalhadas as placas (pisos) piezoelétricos estão demonstrados na figura 2.

Figura 2: Demarcação do piso.




Fonte: Autores.

Os pontos como demonstrado na figura 2 acima são a entrada, os corredores entre as cadeiras corresponderam àquele no qual haveria o maior fluxo de pessoas e no interior do ambiente. Para que tenha se tivesse um melhor aproveitamento da geração da energia fornecida através dos transdutores piezoelétricos, a ligação utilizada no projeto foi mista, como o próprio nome diz, envolve tanto a ligação em série quanto a ligação em paralelo. Utilizando esse tipo de ligação obtêm-se um maior aproveitamento da tensão e da corrente que serão geradas pelos transdutores, melhorando assim o resultado final. Dos 529 transdutores por metro quadrado, ligando 5 deles em série e 524 em paralelo obtêm-se uma tensão e corrente de:

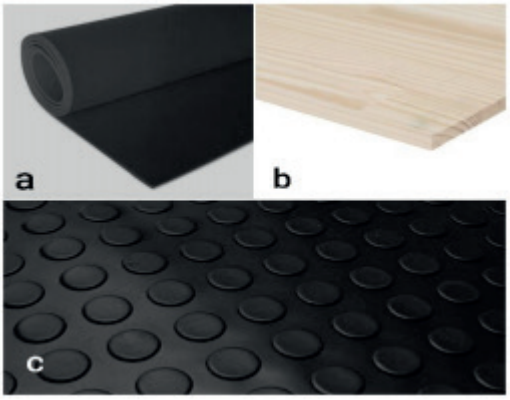
Tensão: 5 Volts . 5 transdutores = 25 V

Corrente: 0,03 mA . 524 transdutores = 15,72 mA

Como os 5 transdutores que estão em série, estarão ligados aos que estão em paralelo, soma-se 0,03mA que está sendo gerado pelos 5 transdutores em serie, aos 15,72mA, assim cada placa (piso) de 1m² tem a capacidade de gerar 25V de tensão e 15,75mA de corrente.

A placa (piso) será composta por uma placa de madeira de aproximadamente 10mm de espessura, e uma borracha EVA de 5mm de espessura entre a placa de madeira e os transdutores piezoelétricos. A placa de madeira tem como finalidade a distribuição da força podendo assim aplicar pressão em todos os transdutores. A borracha EVA fornecerá a proteção dos transdutores para que os mesmos não se danifiquem. Para dar acabamento será utilizado um piso de borracha por cima da madeira. A figura 3 abaixo mostra a borracha EVA, a placa de madeira e o piso de borracha respectivamente.

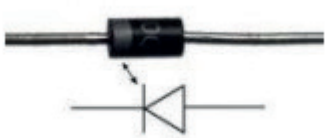
Figura 3: Materiais que compõe o a placa (piso).



## 3.2 RETIFICADOR

Para carregar as baterias é necessário que alimentação da corrente seja de forma contínua. Como as placas (pisos) piezoelétricas tem saída em corrente alternada, utiliza-se diodos para a retificação da corrente. O diodo a ser utilizado para retificação é o modelo 1N4007 de Silício. São usados 4 diodos (onda completa), para cada placa (piso) piezoelétrica, totalizando 60 diodos. Utilizando 4 diodos (onda completa), terá uma queda de tensão de 1,4 V, conseguindo um aproveitamento maior quando comparado com a retificação de meia onda, que tem uma queda de tensão de 0,7 V, pois, o transdutor gera quando está comprimindo, e gera de forma inversa quando está expandindo, e a retificação de onda completa aproveita as duas formas de geração enquanto o de meia onda só aproveita uma forma. A figura 4 abaixo ilustra o diodo a ser utilizado.

Figura 4: Diodo 1N4007.



Para especificação do capacitor, é necessário analisar a corrente gerada por cada placa (piso) piezoelétrica que é de 15,75mA por passada, estimando que cada ampere equivale aproximadamente a dois mil microfarad (BRAGA, 2017c), pode assim utilizar o capacitor 1000μF com capacidade máxima de 25V ilustrado na figura 5. A tabela 1 apresenta a relação dos componentes.

Figura 5: Capacitor eletrolítico.




Tabela 1: Relação dos Componentes.

| | Modelo | Quantidade | Especificação |
|---|---|---|---|
| Diodo | IN4007 | 15 x 4 = 60 | Silício, Corrente até 1A e tensão reversa de 1000V |
| Capacitor Eletrolítico | Genérico | 15 x 1 = 15 | 1000µF, 24V |

Fonte: Autores.

## 3.3 CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga entra no sistema a fim de manter a saída de tensão sempre constante e impede que ultrapasse a tensão de 24V na bateria, sendo assim o ideal para o carregamento da mesma. Como alimentamos nossa carga apenas pela bateria, utilizamos a configuração em série, onde todo o fluxo de energia oriundo dos transdutores passa pela bateria. A figura 6 apresenta as configurações e estratégias de um controlador de carga. A tabela 2 mostra o controlador escolhido para este projeto será o controlador PWM Epever Landstar LS1024E.

Figura 6: Configurações e métodos básicos de controle.

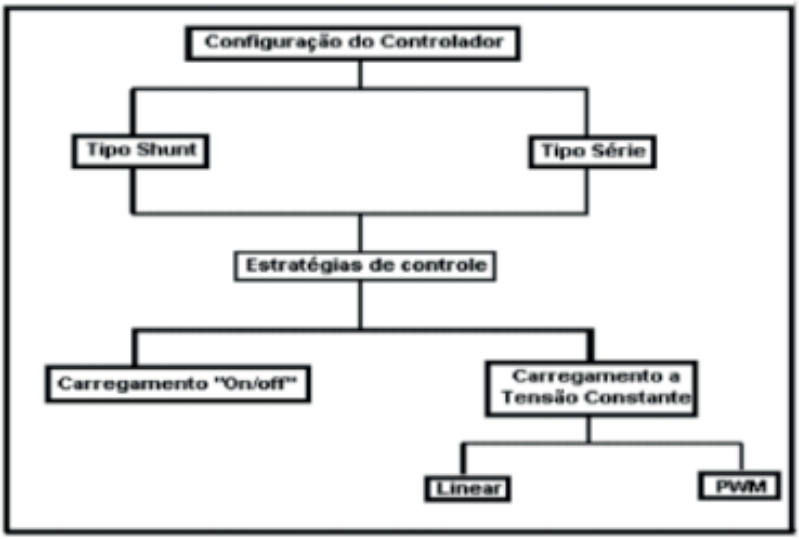



Tabela 2: Especificações do controlador de carga a ser utilizado.

| Modelo | Landstar LS1024E |
|---|---|
| Algoritmo de carga | PWM |
| Tensão nominal no sistema | 12/24 |
| Corrente de carga | Até 10ª |
| Corrente de descarga | Até 10ª |
| Máxima tensão da bateria | 32V |
| Tensão máxima do sistema | 50V |

Fonte: NEOSOLAR.

### 3.4 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO

Para dimensionar e escolher a bateria mais adequada para o sistema estudado, é necessário calcular a corrente da carga. A carga consiste em 24 lâmpadas LED bivolt de 20W de potência. Utilizando a equação 03 da corrente tem-se:

$$I = \frac{P}{V} \quad \textbf{(03)}$$

Onde:

I = corrente [A];

P = potencia [W];

V = Tensão [V].

$$I = \frac{20\ W}{127\ V} = 0{,}157\ A$$

$$I = 0{,}157\ .\ 24\ \text{lâmpadas} = 3{,}768\ A$$

Para o dimensionamento da bateria, utiliza-se as equações (04) e (05), mas de extrema importância para o projeto, a equação 04 é utilizada para descobrir a duração da bateria, ou seja, quanto tempo leva para a bateria descarregar, e a equação 05 de quanto tempo leva para carregar a bateria.

$$Db = \frac{Cb}{Cc} \quad \textbf{(04)}$$

$$T = \frac{Cb}{Cf} \quad \textbf{(05)}$$

Onde:

Db = Duração da bateria [h];

Cb = Capacidade da bateria [A.h];

Cc = Corrente da carga [A];

T = Tempo de recarga [h];

Cf = corrente da fonte [A].

Na equação 05 do tempo de recarga da bateria, é necessário e recomendado por medidas de segurança acrescentar 20% no resultado do tempo final. A bateria de lítio é a mais adequada para o sistema estudado, pois a mesma possui um desempenho acima das outras que se encontra no mercado. Abaixo na tabela 3 estão as especificações da bateria e a figura 7 ilustra a mesma.

Tabela 3: Especificações da bateria.

| **Bateria de Lítio 24V 10Ah UPLFP24-10** | |
|---|---|
| Capacidade Nominal | 10Ah |
| Tensão | 24V |
| Dim. Ext. Compr. X Larg. X Alt. | 181mm x 77mm x 167mm |
| Peso | 3,2Kg |

Fonte: UNIPOWER.

Figura 7: Bateria de lítio.




Fonte: UNIPOWER.

A corrente da carga e a capacidade da bateria estabelecida foi utilizada a equação 4 para se realizar o cálculo de duração da bateria.

$$\mathrm{Db} = \frac{10\ \mathrm{A.h}}{3{,}768\ \mathrm{A}} = 2{,}65\ \mathrm{h}$$

$$0{,}65 \,.\, 60 = 39\ \mathrm{minutos}$$

Com o resultado da equação, conclui-se que a bateria tem capacidade de suprir a carga em 2 horas e 39 minutos, suprindo a falta de energia em dias de culto. A corrente que a placa piezoelétrica produz ao ser pressionada é de 15,75mA, como possui 15 placas obtém-se uma corrente total de 236,25mA. A partir da corrente da fonte estabelecida e da capacidade da bateria obteve-se o tempo:

$$\mathrm{T} = \frac{10\ \mathrm{A.h}}{236{,}25\ \mathrm{mA}} = 42{,}32\ \mathrm{h}$$

Adicionando-se 20% ao tempo final.

$$42{,}32 \,.\, 1{,}2 = 50{,}79 \text{ h}$$

$$0{,}79 \,.\, 60 = 47{,}4 \text{ minutos}$$

Para recarregar a bateria em um cenário onde a fonte estaria fornecendo sua corrente total, se gastaria 50 horas e 47 minutos aproximadamente para carregar completamente a bateria.

### 3.4 INVERSOR DE TENSÃO

Para ligar o sistema piezoelétrico as lâmpadas é necessário converter de corrente continua (CC), para corrente alternada (AC), e elevar a tensão de 24V para 110V. Para resolver essa situação, entra no sistema o inversor de tensão, que irá converter a corrente que sai da bateria e elevar a tensão que será consumida pelas lâmpadas. A figura 8 abaixo ilustra o inversor que será utilizado no processo. O inversor inserido no sistema o projeto entra em sua parte final alimentando as lâmpadas.

Figura 8: Inversor Senoidal 3000w 24v para 110v.




Fonte: CARREFOUR.

## 3.5 LIGAÇÃO DO SISTEMA PIEZOELÉTRICO A REDE

Para a ligação do sistema será utilizado a ligação em paralelo, que por meio de uma chave de transferência manual o usuário terá o controle. Quando houver a falta de energia no local o usuário alterará a posição da chave de transferência das lâmpadas que por sequência será alimentado pelo sistema piezoelétrico. O sistema de ligação em paralelo ligado a uma chave de transferência manual, é o mais simples e com melhor custo benefício sendo o mais adequado para o projeto. A figura 9 abaixo ilustra a chave de transferência manual.

Figura 9: Chave de transferência manual.



Fonte: Mercadolivre.

Para a concepção e elaboração do projeto foi necessário o uso de alguns componentes para otimização da geração de energia. Na tabela 4 a seguir, temos o orçamento total do projeto com os preços dos componentes utilizados.

Tabela 4: Orçamento do projeto.

| Nome / modelo do componente | Quantidade | Preço | Preço total |
|---|---|---|---|
| Diodo / modelo 1N4007 | 60 | R$1,00 | R$60,00 |
| Capacitor Eletrolítico/modelo genérico | 15 | R$1,20 | R$18,00 |
| Controlador de carga/ PWM Epever Landstar LS1024E. | 1 | R$99,00 | R$99,00 |
| Pastilhas Piezoelétricas/ modelo genérico | 7935 | R$1,50 | R$11.902,50 |
| Bateria de Lítio/ modelo UPLFP24-10 | 1 | R$221,90 | R$221,90 |
| Lâmpada Led/ modelo Elgin | 24 | R$19,90 | R$477,60 |
| Inversor de tensão | 1 | R$ 375,00 | R$ 375,00 |
| Piso de borracha | 15 metros² | R$ 195,00 | R$ 195,00 |
| Borracha EVA | 15 metros² | R$ 112,50 | R$ 112,50 |
| Chapa de compensado | 15 metros² | R$ 688,50 | R$ 688,50 |
| Cabos de 0,5mm²/ modelo Condumax | 300 metros | R$ 36 para cada 100 metros | R$108,00 |

Fonte: Autores.

O valor final do projeto foi de R$ 14.258,00. Ao se analisar as informações constantes na tabela 4 constatou-se que o maior gasto do projeto foi com os transdutores piezoelétricos devido a sua alta quantidade.

## 4 CONCLUSÃO

Os dados apresentados ao longo do projeto puderam-se concluir que para esse tipo de local público, ele não foi viável devido à alta demora para carregar as baterias e o alto custo ine-

rente. Porém levando o conceito para outro local público, como por exemplo uma estação de metrô, um local onde o fluxo de pessoas é muito elevado, o projeto se tornaria viável, pois este tipo de local há fluxo de pessoas em todos os horários corrigindo assim a demora para carregar as baterias e elevaria a tensão e corrente gerada.

## REFERÊNCIAS

ARREBAÇA, Devair Aparecido; PINILLOS, Salvador. **Eletrônica de potência conversores de energia CA/CC**. 2. ed. São Paulo: Erica 2011.

BRAGA, Newton C. **Como funcionam os materiais piezoelétricos**. Disponível em: https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/4571-art632. Acesso em: 05 nov. 2019.

FARIAS, Guilherme; SALLUM, Alexandre. Projeto de Geradores Piezoelétricos para Iluminação no Restaurante Universitário da UNICAMP. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, v. 9, n. 2, nov.2013.

FRANSOZI, Luana. **Modelagem matemática do tempo de vida de baterias de lítio íon polímero através de modelos híbridos**. 2015. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, 2015.

IKEDA, T. **Fundamentals of piezoelectricity**. New York: Oxford University Press, 1990.

PERLINGEIRO, A. R; PIMENTA, G. M; SILVA, E. **Geração de energia através de materiais piezoelétricos**. Monografia (Graduação), Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ, Rio de Janeiro/ RJ, 2016.

PIPPI, Rafael D. S. **Projeto e construção de motores rotativos ultrassônicos de ondas viajantes**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

YI, Qi; JAFFERIS, Noah T.; KENNETH JR, Lyons; LEE, Christine M.; AHMAD, Habib; MCALPINE, Michael C. Piezoelectric ri-

bbons printed onto rubber for flexible energy conversion, **Nano Letters January**, v**.** 10, edição 2, 2010.

# ESTUDO DE CASO SOBRE A VIABILIDADE ECONÔMICA EM GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

## CASE STUDY ON THE ECONOMIC VIABILITY IN PHOTOVOLTAIC GENERATION

Alisson Toledo de Aquino[1]
Luis Fernando Silva de Souza[2]
Willian Roza[3]
Rener Gazanno[4]

**RESUMO:** Este trabalho analisa viabilidades técnicas e econômicas da implantação de um sistema fotovoltaico, que deverá abastecer áreas de um condomínio residencial, localizado em Volta Redonda – RJ. O condomínio foi dividido em três partes (bloco 1, bloco 2 e área de lazer), que são responsáveis por um consumo de 2,22 MWh e uma geração de energia de 2,01 MWh entre o período de fevereiro 2019 á Janeiro 2020. Para o estudo de caso foram levantados os dados geográficos da região, as cargas de consumo e dados da instalação. Através de cálculo de dimensionamento fotovoltaicos, foi possível encontrar uma potência que supri cerca de 90% da demanda do consumo total do condomínio. O estudo técnico abordou as condições de geração, perdas, equipamentos utilizados e a capacidade de geração. A parte econômica demonstrou a viabilidade da criação do micro gerador fotovoltaico. Através de análises efetuadas observou-se que ao término de 25 anos o investidor teria gerado receita de 9 vezes o valor de investimento no micro gerador, além de uma economia de 70%. Os resultados também indicaram que não somente o investidor se beneficiaria, mas a sociedade, com a redução dos encargos tarifados, além de contribuir para meio ambiente com a utilização de fonte de energia renovável.

1 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
4 Docente Mestre do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**Palavras-chave:** Sistema gerador fotovoltaico. Viabilidade econômica. Viabilidade técnica. Sistema *on-grid*. Fontes renováveis.

**ABSTRACT:** This paper analyzes the technical and economic feasibility of implementing a photovoltaic system, which should supply areas of a residential condominium, located in Volta Redonda - RJ. The condominium is divided into three parts (block 1, block 2 and leisure area), which are responsible for a consumption of 2.22 MWh and an energy generation of 2.01 MWh between the period of February 2019 to January 2020. For the case study, the region's geographic data, consumption loads and installation data were collected. Through calculation of photovoltaic dimensioning, it was possible to

find a power that supplies about 90% of the demand of the total consumption of the condominium. The technical study addresses generation conditions, losses, equipment used and generation capacity. On the economic side, it demonstrates the feasibility of creating a photovoltaic micro generator, where the results are promising. At the end of 25 years, the investor will have generated a revenue of 9 times the investment value in the micro generator, in addition to savings of 70% if the system did not exist. Vale recalls that not only will investors benefit, but society, by reducing tariff charges, in addition to contributing to the environment with the use of renewable energy sources.

**Keywords:** Photovoltaic Generator System. Economic Feasibility. Technical Feasibility. On-grid Systems. Renewable Sources.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Stephen Hawking (1988) no princípio, éramos energia e matéria, ambos concentrados em um único "ponto", uma singularidade e em seguida fomos espalhados no universo pelo Big Bang. Não obstante ao passado, cerca de 13,7 Bi de anos depois a energia ainda dá a matéria a capacidade de

realizar trabalho e hoje em meio a IV Revolução Industrial, a demanda mundial de energia fica próxima dos 23696 TWh segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2017). Essa exorbitante e crescente demanda colocou o planeta em um estado de degradação muito grande, uma vez que seus recursos são finitos. Uma das soluções para esse problema são as energias renováveis e dentre elas se destaca a tecnologia da energia solar fotovoltaica.

A energia solar fotovoltaica converte energia solar direto para energia elétrica, diferente das demais fontes de energia, que convertem a energia da fonte em energia mecânica e a energia mecânica em energia elétrica, esse fenômeno se dá pelo efeito fotovoltaico. Descoberto por Willoughby Smith e explicado por Albert Einstein segundo as teorias de Max Planck, o efeito fotovoltaico consiste na liberação de elétrons de metais expostos a radiação eletromagnética Einstein explica que isso acontece pois os chamados fótons, (partículas de energia presentes na luz), dotados de certa energia, colidem com os elétrons, e quando essa energia é superior a energia de ligação dos elétrons, eles se desprendem e fluem por um campo elétrico formado na área de junção, gerado por uma diferença de potencial, dando origem a uma corrente elétrica, células fotovoltaicas são os dispositivos responsáveis por captar a energia solar (radiação eletromagnética) e converter em energia elétrica. O Brasil possui uma posição privilegiada em termos de energia solar, pois há bons índice de irradiação solar, já que a linha do equador transpassa o país, onde há maior exposição ao sol, vale ressaltar que a energia solar e uma fonte totalmente limpa, isso justifica explorarmos esse recuso. Porém apesar dessas condições favoráveis essa fonte de energia é pouca explorada no Brasil.

## 1.1 OBJETIVOS

O trabalho busca desenvolver um estudo para implementação de uma unidade fotogeradora que seja viável economicamente para o consumidor final, para tanto é necessário levantar os custos de instalação de uma unidade fotogeradora, bem como delimitar a demandas consumida e produzida, listar os docu-

mentos para homologação e testar a viabilidade econômica.

## 2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

O efeito fotovoltaico é a geração de corrente ou tensão através da exposição à luz de um material semicondutor que, neste estudo, trata-se do Silício. Encontrado de forma abundante na natureza, o Silício, quando beneficiado de forma correta, pode atingir pureza de até 99,9999% e formar cristais os quais não possuem boa condutividade elétrica. Entretanto, quando dopado com Fósforo, torna-se Silício tipo N, que é semicondutor com um elétron na camada de valência. Este elétron não está totalmente livre, embora necessite apenas de uma quantia de energia pequena para ser liberado. De mesmo modo, quando dopado com Boro, torna-se Silício tipo P, que possui a ausência de um elétron, denominado lacuna. Portanto, deseja receber um elétron para se tornar estável (TOLMASQUIN, 2003).

A junção de uma fina camada de Silício tipo N e uma mais espessa do tipo P formam o que é conhecido por Junção PN. Deste modo, elétrons da parte N migram para a P até atingirem o equilíbrio elétrico da junção. Ao serem expostos à luz, absorvem fótons que culminam na passagem de elétrons da camada de valência para a banda de condução dando origem a um campo elétrico interior à junção. Por consequente, uma corrente elétrica tende a atravessar a carga externa. A variação desta corrente em relação à carga depende da intensidade luminosa disponível (TOLMASQUIN, 2003).

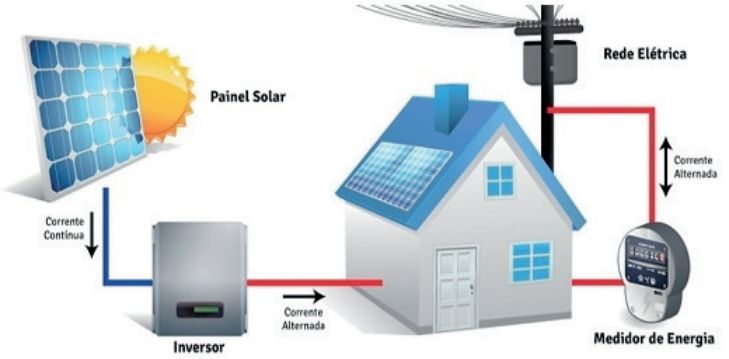
A geração de energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos divide-se em duas categorias: Off-Grid e Grid-Tie, a escolha entre os dois modos é definida pela disponibilidade (ou necessidade) de uma rede de distribuição nas proximidades. Esta decisão impacta diretamente no custo geral do sistema (SANTOS, 1997).

O sistema de geração solar fotovoltaica off-grid ou isolado é aquele que não é conectado à rede de distribuição pública. Por esta diferenciação, necessita acumular energia para períodos onde a irradiação solar não é suficiente para alimentar as cargas sem que haja falha na operação deste sistema. Para tanto, utili-

za bancos de baterias estacionárias. Além de baterias, este modelo requer o uso de controladores de carga e, opcionalmente, inversor de tensão CC-CA caso as cargas a serem alimentadas necessitem de corrente alternada para o seu funcionamento.

O sistema de geração *on–grid* consiste basicamente o conjunto de equipamentos que conseguem captar e transformar a radiação solar em energia elétrica. Para esse sistema são utilizados principalmente as placas solares, o inversor solar e o medidor bidirecional. Através desse conjunto podemos constituir um sistema adequado para micro e mini usinas de distribuição. Este sistema é composto por uma série de equipamentos, neste estudo iremos abordar os principais equipamentos utilizados em sistema conectado à rede, conforme demonstrado na figura 1.

**Figura 1: Componentes de um sistema *on-grid*.**




Fonte: ANEEL (2019).

## 2.1 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES FOTOVOLTAICOS

O módulo é o principal componente do sistema fotovoltaico, pois são os responsáveis pela captação da irradiação solar e a transformação em energia. Os principais tipos de módulos solares são:

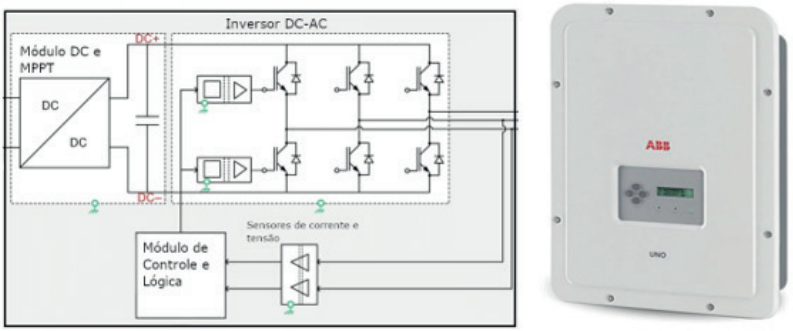
Monocristalino – este é formado por cristais, puros de silício. Para fabricação das placas monocristalino, o silício

é purificado, de forma que o cristal se torna único, esse processo é chamado de processo de cultura de cristais, onde esse cristal é fundido acima de 1400 °C.

Policristalino – a principal diferença do processo policristalino com o monocristalino é que o cristal silício cristalina livremente, esse processo dá uma aparência de vidro quebrado, é menos eficiente que o monocristalino, sua eficiência varia entre 13% a 15%.

O inversor de tensão, conforme demonstrada na figura 2, é um equipamento eletrônico composto por transistores, placas de controle com microprocessador, dispositivo de monitoramento com interligações e filtros. A energia elétrica gerada nos módulos solares é em corrente contínua (CC), sendo assim difícil a aplicação direta nos equipamentos elétricos residenciais, comerciais e industriais. para solucionar esse problema é utilizado o inversor de tensão, que é capaz de transformar a corrente contínua e corrente alternada, e deixar os níveis de tensão e frequência, iguais os níveis presentes na rede.

Figura 2: Características de um Inversor




Fonte: Datashet (2020).

É usado em sistemas de energia fotovoltaica ligados à rede das concessionárias. Diferente do medidor tradicional, que são

usados para medir a energia consumida, o medidor bidirecional tem como função, não só medir a energia consumida, mas também a energia injetada na rede, onde essa energia injetada entra como crédito.

## 2.2 SOLARIMETRIA

A Energia mais abundante das energias renováveis, de acordo com o Ministério de Minas e Energias (MME), é a energia solar, um estudo da radiação solar na superfície do planeta nos mostra a irradiação solar, nas componentes: global horizontal, direta normal, direta horizontal, difusa horizontal e plano inclinado, ao longo do globo. A energia incidente em um ponto qualquer da superfície terrestre apresenta grande variabilidade e razão da meteorologia local e fatores astronômicos e sazonais.

O mapa solarimétrico do Brasil, conforme demonstrado na figura 3, mostra essa incidência de radiação, ao longo da geografia do país, de maneira gráfica, é possível observar as localidades com maior incidência média de radiação. O gráfico mostra a incidência de radiação de maneira média pois como já supracitado a radiação varia ao longo dos meses de acordo com a variação da distância entre a terra e o Sol com a mudança das estações.

Figura 3: Irradiação solar global horizontal anual




Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017).

## 3 METODOLOGIA

O estudo utilizou como metodologia a coleta de dados do sistema fotogerador do condomínio, pesquisa do potencial de irradiação solar do município no *software* Radiasol, a coleta de dados foi possível com uma visita técnica no condomínio, para avaliação dos dados técnicos dos equipamentos, levantamento de histórico de consumo e geração de energia elétrica.

Este trabalho desenvolveu–se a partir da elaboração de uma instalação fotovoltaica em um condomínio residencial, localizado em Volta Redonda- RJ. A área total do condomínio é de 4750 m², com 128 apartamentos, com duas torres, onde a torre dois possui a instalação fotovoltaica. O sistema fotogerador do condomínio foi dimensionado apenas para as áreas comuns,

isso significa que a demanda dos apartamentos não é considerada neste estudo além de que o sistema instalado não supre 100% da demanda das áreas comuns, a partir das seguintes características:

- Município/ UF: Volta Redonda/ RJ
    - Latitude: 22,48 S
    - Longitude: 44,08 W
    - Temperatura média máxima: 30ºC
    - Temperatura média mínima: 17ºC
- Inclinação telhado: 20º
- Tipo de telhado: fibrocimento
- Área de instalação: 115 m²
- Carga média total consumida: 2224,16 kWh

A energia solar gerada nos módulos fotovoltaicos foi aplicada nas seguintes áreas externas e comuns do condomínio:

- Elevadores – No total existem quatro, com potências de 7,5 HP, suportam uma carga de 450 Kg. Eles funcionam em média 120 minutos diários.
- Lâmpadas corredores – As lâmpadas utilizadas foram LEDs, PAR20 com 220 unidades de 7,0 W com um uso em média de 4 horas diários.
- Lâmpadas externas e salão – Foram usados refletores Micro LED de 60 W, no total de 40, com uma utilização em média de 10 horas.
- Motor-bomba piscina – Sua potência é de 2 CV, e o fabricante pede o funcionamento diário de 6 horas da mesma.
- Sauna – Lazer utilizado mais nos fins de semana, tem uma potência de 9 kW e seu uso mensal é de 10 horas mensais.

O consumo da energia elétrica se dá pela quantidade de potência consumida pelo tempo que o produto permanece ligado, esse tempo é dado em horas. Para que esse consumo seja compreendido de forma mais prático, a unidade utilizada é o kWh (quilowatt-hora), embora essa unidade não seja a adotada no SI. De acordo com o livro Instalações elétricas (Hélio Creder) esse consumo é dado pelo somatório dos produtos consumidores, conforme a equação 01.

$$P_{consumido} = \sum_{n=1}^{N} P_n \times t_n \times D_n \quad \textbf{(01)}$$

Onde:

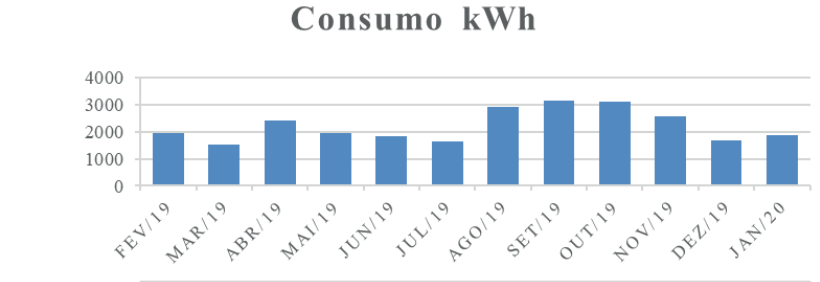
$P_n$: Potência nominal do produto;

$t_n$: Tempo de utilização;

$D_n$: Período de dias que fica ligado.

Neste trabalho, o condomínio de estudo é composto por três medidores de consumo das áreas comuns, onde, o primeiro é para o bloco 1, o segundo para o bloco 2 e o terceiro medidor monitora o consumo da área de lazer e a área externa. A figura 4 apresenta o consumo registrado em um período de 12 meses, na área comum.

Figura 4: Média mensal do consumo bloco 1, bloco2 e área externa.




| | fev/19 | mar/19 | abr/19 | mai/19 | jun/19 | jul/19 | ago/19 | set/19 | out/19 | nov/19 | dez/19 | jan/20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| consumo kWh | 1968 | 1536 | 2404 | 1944 | 1823 | 1641 | 2902 | 3138 | 3105 | 2575 | 1675 | 1877 |

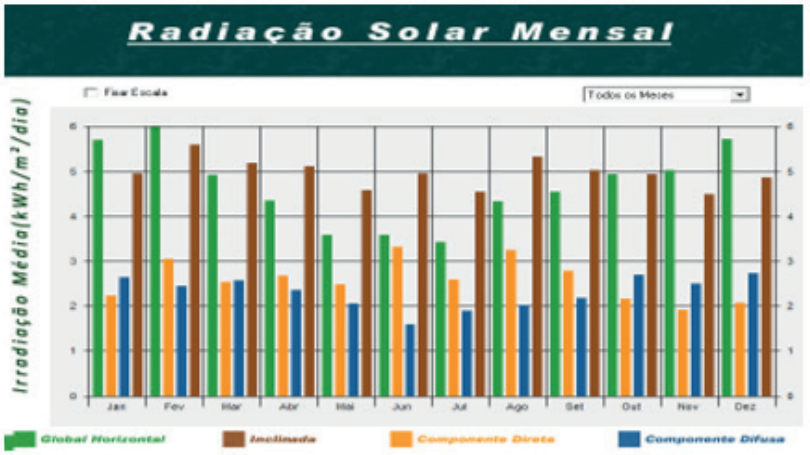
Fonte: Autores (2020).

A partir dos resultados descritos na figura 4 observou-se que o consumo em média das áreas comuns do condomínio foi de 2224,16 kWh.

## 3.1 IRRADIAÇÃO SOLAR NO MUNICÍPIO DE VOLTA REDONDA

A irradiação solar é a principal variável que influencia na geração da energia fotovoltaica, pois essa radiação é convertida em energia elétrica através das placas solares. A quantificação do índice de irradiação para o município de Volta Redonda se deu através de informações provenientes dos dados da CREESB e um software gratuito chamado *open source* RadiaSol2, desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Esse software utiliza internamente modelos matemáticos. Os cálculos são realizados através de rotinas que determinam os efeitos da radiação através da inclinação e localização geográfica do referido município. A figura 5 mostra o gráfico de radiação solar gerados pelo RadiaSol2, para a região de Volta Redonda, nela foi possível visualizar a variação sazonal das componentes de irradiação.

Figura 5: Nível de irradiação solar no município de Volta Redonda




Fonta Radiasol (2020).

De acordo com a tabela 1, os melhores aproveitamento seriam nas posições global e inclinada, onde alguns meses a global seria melhor com a média de 4,68 kWh/m²/dia e outros meses a inclinada 23° seria melhor com a média de 4,86 kWh/m²/dia. Isso ocorreria devido a variação da posição do sol em relação ao planeta por conta das mudanças sazonais essas mudanças também provocam variação na irradiação captada pelas placas.

Tabela 1: Irradiação média kWh/m²/dia no município de Volta Redonda

| Mês | Global | Direta | Difusa | Inclinada |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 5,71 | 2,23 | 2,65 | 5,08 |
| 2 | 5,99 | 3,06 | 2,44 | 5,66 |
| 3 | 4,93 | 2,54 | 2,57 | 5,03 |
| 4 | 4,36 | 2,69 | 2,36 | 4,90 |
| 5 | 3,59 | 2,48 | 2,05 | 4,41 |
| 6 | 3,59 | 3,31 | 1,59 | 4,37 |
| 7 | 3,43 | 2,59 | 1,9 | 4,32 |
| 8 | 4,34 | 3,26 | 2,02 | 5,13 |
| 9 | 4,55 | 2,79 | 2,18 | 4,84 |
| 10 | 4,95 | 2,16 | 2,7 | 4,88 |
| 11 | 5,03 | 1,91 | 2,5 | 4,468 |
| 12 | 5,72 | 2,07 | 2,73 | 4,518 |

Fonte: RADIASOL (2020)

A partir das informações descritas na tabela 1 realizou-se o dimensionamento que o sistema gerador deveria complementar um percentual no consumo energético detalhado nos últimos 12 meses da fatura. Inicialmente para fazer o dimensionamento do sistema de geração de energia elétrica conectado à rede (*on-grid)*, foi aplicada a média de consumo de energia e seguidamente a média gerada do condomínio. A tabela 2A apresenta o registro da média total consumida do bloco 1,2 e da área externa de lazer. A tabela 2B apresenta média total gerada do bloco 1,2 e área externa de Lazer.

Tabela 2A: Média total consumida.

| Mês | Consumo (kWh) |
|---|---|
| Fev/19 | 1968 |
| Mar/19 | 1536 |
| Abr/19 | 2404 |
| Mai/19 | 1944 |
| Jun/19 | 1843 |
| Jul/19 | 1641 |
| Ago/19 | 2902 |
| Set/19 | 3220 |
| Out/19 | 3105 |
| Nov/19 | 2575 |
| Dez/19 | 1675 |
| Jan/20 | 1877 |
| **Média** | **2224** |

Tabela 2B: Média total gerada

| Mês | Geração(kWh) |
|---|---|
| Fev/19 | 2331 |
| Mar/19 | 2072 |
| Abr/19 | 2018 |
| Mai/19 | 1816 |
| Jun/19 | 1799 |
| Jul/19 | 1779 |
| Ago/19 | 2112 |
| Set/19 | 1993 |
| Out/19 | 1993 |
| Nov/19 | 1894 |
| Dez/19 | 2088 |
| Jan/20 | 2091 |
| **Média** | **2001** |

Fonte: Autores (2020)

A média total da potência gerada foi obtida através do cálculo descrito na equação 2.

$$Potência\ gerada = 17{,}16\ \text{kWp} \times 4{,}86\ \text{kWh/m}^2 = 83{,}39\ Wh/dia \quad \textbf{(02)}$$

Ao se considerar uma eficiência de 80% do sistema, tem-se na equação 3.

$$0{,}8 \times 83{,}39\ \text{Wh/dia} = 66{,}71\ Wh/dia \quad \textbf{(03)}$$

Logo, a geração média total, em um período de 30 dias, tem-se na equação 4.

$$66{,}71\ \text{Wh/dia} \times 30 = 2001\ kWh \quad \textbf{(04)}$$

Uma estação geradora de energia fotovoltaica somente se obtém êxito custo/benefício se for realizado manutenção nos

equipamentos periodicamente, em virtude de ao longo dos anos acumularem-se perdas de energia na instalação. A tabela 3 apresenta alguns índices observados de perdas por equipamento que compõe este equipamento.

Tabela 3: Perdas de Energia considerada no Sistema Fotovoltaico

| | |
|---|---|
| **Perdas por Temperatura** | 11,50% |
| **Incompatibilidade Elétrica** | 1,50% |
| **Acúmulo de Sujeiras** | 1,00% |
| **Cabeamento CC** | 1,00% |
| **Cabeamento CA** | 1,00% |
| **Inversor** | 4,00% |

Fonte: Autores (2020).

As perdas afetam no desempenho final do sistema fotovoltaico, ao se basear nos dados apresentados na tabela 3 a perda total ficaria em torno de 20 %. De acordo com o Ruther (2004), a potência instalada é dada pela equação 5.

$$Pfv = \frac{\text{Pconsumida} \times \text{R\%}}{\text{Gglobal} \times \text{n} \times \text{Ndias}} \quad \textbf{(05)}$$

Onde:

Pfv: Potência gerador fotovoltaico;

Pconsumido: Potência consumida;

R%: Percentual de abate da fatura;

Gglobal: Irradiação solar média do local;

n: Rendimento;

Ndias: Número de dias referente ao consumo médio.

$$Pfv = \frac{2224 \times 90\%}{4{,}86 \times 80\% \times 30} = 17{,}16\ kWp$$

Mediante os cálculos apresentados seria necessário que o sistema gerador contivesse uma potência instalada de 17,16 kWp. O número de painéis é dado pela equação 6, (RUTHER, 2004).

$$NMvf = \frac{PFV}{PMfv} \qquad \textbf{(06)}$$

Onde:

NMvf: Número de módulos fotovoltaicos;

PFV: Potência instalada do gerador fotovoltaico;

PMfv: Potência nominal do painel.

$$NMvf = \frac{17{,}16 \times 10^3}{315} = 54{,}47$$

Portanto para o sistema foi preciso de 55 painéis de 315 W. Assim seriam necessários na escolha dos inversores de dois desse equipamento com a potência de 8,5 kW com a potência total das placas de 17,325 kWp, sendo que segundo a Fotaic (Energia solar) na escolha deve haver no máximo 40% e no mínimo 20% total das placas para não ficar superdimensionado.

Na elaboração da unidade geradora de 17,16 kWp foi necessário dimensionar os materiais para a instalação elétrica do condomínio. O custo total foi estabelecido pelos preços dos módulos fotovoltaicos e do inversor de tensão, os quais facilitaram na escolha do modelo e da potência, e os demais mate-

riais como cabos. Strings box, conectores, transformador que necessita muito de pesquisa no mercado.

Um transformador trifásico a seco com a potência de 20 kVA, foi utilizado na instalação do condomínio, o fundamento da sua escolha foi bom custo-benefício e pela sua praticidade na manutenção.

Módulo usado da Canadian Solar, modelo CS6U- 315 de silício policristalino, com uma potência de 315 W. O critério para a compra desse módulo foi optado policristalino devido ao seu melhor custo e benefício, sendo o mais usado no mercado de energia solar, o que faz ter um ótimo rendimento de aproximadamente 18,8 % segundo a (Canadian Solar 2020).

O inversor usado foi de 8,5 kW por ser viável, pelo pequeno custo, credibilidade e eficiência do inversor.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através do dimensionamento do sistema foi possível fazer uma perspectiva de geração até o 25º ano, onde foi considerado a degradação dos módulos fotovoltaicos. A degradação linear do painel seria o único fator variante, relacionado aos efeitos do tempo. Segundo o fabricante do módulo fotovoltaico, para o primeiro ano de operação, o painel sofre um decréscimo de 2,5% da sua potência nominal. Os anos de 2 a 25 sofrem um decréscimo de, no máximo, 0,7% ao ano. Ao final dos 25 anos, a queda não deve ultrapassar 19,3%, ou seja, os painéis ficam com cerca de 80,7% do seu rendimento. A tabela 4 mostra o resultado da simulação da estimação da geração de energia elétrica anual pelo sistema fotovoltaico de acordo com as características apresentadas.

Tabela 4: Estimativa da Geração de energia elétrica anual

| Ano | % | kWh |
|---|---|---|
| 1 | 2,5% | 24012 |
| 2 | 0,7% | 23411,64 |
| 3 | 0,7% | 23247,72 |
| 4 | 0,7% | 23085 |
| 5 | 0,7% | 22923,36 |
| 6 | 0,7% | 22762,92 |
| 7 | 0,7% | 22603,44 |
| 8 | 0,7% | 22445,16 |
| 9 | 0,7% | 22288,08 |
| 10 | 0,7% | 22132,08 |
| 11 | 0,7% | 21977,16 |
| 12 | 0,7% | 21823,32 |
| 13 | 0,7% | 21670,56 |
| 14 | 0,7% | 21518,88 |
| 15 | 0,7% | 21368,28 |
| 16 | 0,7% | 21218,76 |
| 17 | 0,7% | 21070,2 |
| 18 | 0,7% | 20922,72 |
| 19 | 0,7% | 20776,32 |
| 20 | 0,7% | 20630,88 |
| 21 | 0,7% | 20486,52 |
| 22 | 0,7% | 20343,12 |
| 23 | 0,7% | 20200,68 |
| 24 | 0,7% | 20059,32 |
| 25 | 0,7% | 19918,92 |
| **Total** | **19,3%** | **542897,04** |

Fonte: Autores (2020).

A partir da aquisição de um sistema fotovoltaico foram analisados diversos fatores o presente estudo leva em consideração defender a viabilidade do investimento, para tanto foram analisados alguns aspectos como: Custo do projeto junto com a manutenção, *Payback* simples, Valor presente líquido e o Retorno sobre investimento. Esses aspectos são analisados até o 25º, período segundo o qual o gerador fotovoltaico teria o maior rendimento.

## 4.1 CUSTO DE MANUTENÇÃO

A tabela 5 apresenta que o valor de uma instalação fotovoltaico seria determinante para o investimento, tendo em consideração a quantidade dos equipamentos, materiais e a execução para a instalação

Tabela 5: Custo de Instalação do sistema fotovoltaico

| *Qtd* | Item | Valor [R$] |
|---|---|---|
| 55 | Painel solar fotovoltaico Canadian 315WP | 48.547,91 |
| 2 | Inversor ON-Grid ABB string Inverters 8,5kW | 24.312,00 |
| 1 | Estrutura fixação de painéis para telhado fibrocimento | 46,86 |
| 10 | Pares de conector MC4 (macho+fêmea) | 70,12 |
| 1 | String Box | 880,00 |
| 180 | Cabo XLPE 2,5mm² 1000VAC (60m Verde, e 120m preto) | 323,20 |
| 60 | Cabo PVC 6,0 mm² 750VCC (30m preto e 30m vermelho) | 116,98 |
| 1 | Caixa de proteção CA/DPS275V 20/45kA- Disjuntor 32A | 189,00 |
| 1 | Sistema de aterramento (hastes + cordoalha + solda exotérmica) | 99,90 |
| | **Sub Total Materiais** | **R$ 74.586,00** |
| | **Sub Total execução** | **R$ 11.000,00** |
| | **Total** | **R$ 84.586,00** |

Fonte: Autores (2020).

O custo de manutenção seria considerado na troca dos inversores no 15º ano de operação (tabela 4). Nos valores atuais, o inversor de 8,5 kW custa por volta de R$ 12.156,00, com a base no IPCA de 4,31%, sendo o modelo igual, daqui a 15 anos custará em torno de R$ 21.945,92, em valores do ano de maio/2020.

## 4.2 FLUXO DE CAIXA

No projeto desenvolvido neste trabalho se utilizou para projeção do custo da unidade do kWh, que atualmente é de R$ 1,01 segundo a Light (2020), levou-se em conta o IPCA de 2019, que fechou em 4,31% a.a. A tabela 6 apresenta a estimativa

levantada de reembolso anual devido a economia gerada pelo sistema fotovoltaico no período de 25 anos considerados.

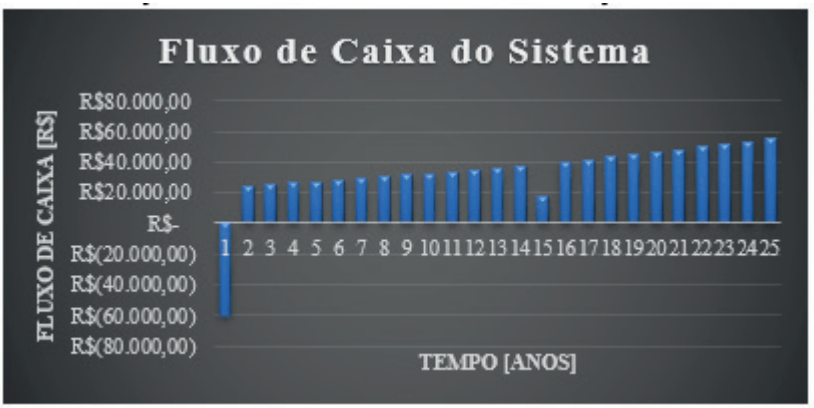
Tabela 6: Reembolso anual estimado

| Ano | Potência Gerada kWh | Preço R$/kWh | Geração Anual R$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 24012 | 1,010 | 24252,12 |
| 2 | 23411,64 | 1,054 | 24664,89 |
| 3 | 23247,72 | 1,099 | 25547,81 |
| 4 | 23085 | 1,146 | 26462,39 |
| 5 | 22923,36 | 1,196 | 27409,65 |
| 6 | 22762,92 | 1,247 | 28390,89 |
| 7 | 22603,44 | 1,301 | 29407,06 |
| 8 | 22445,16 | 1,357 | 30459,71 |
| 9 | 22288,08 | 1,416 | 31550,16 |
| 10 | 22132,08 | 1,477 | 32679,63 |
| 11 | 21977,16 | 1,540 | 33849,51 |
| 12 | 21823,32 | 1,607 | 35061,27 |
| 13 | 21670,56 | 1,676 | 36316,41 |
| 14 | 21518,88 | 1,748 | 37616,50 |
| 15 | 21368,28 | 1,823 | 38963,16 |
| 16 | 21218,76 | 1,902 | 40358,09 |
| 17 | 21070,2 | 1,984 | 41802,78 |
| 18 | 20922,72 | 2,069 | 43299,27 |
| 19 | 20776,32 | 2,159 | 44849,44 |
| 20 | 20630,88 | 2,252 | 46454,96 |
| 21 | 20486,52 | 2,349 | 48118,10 |
| 22 | 20343,12 | 2,450 | 49840,66 |
| 23 | 20200,68 | 2,556 | 51624,77 |
| 24 | 20059,32 | 2,666 | 53472,97 |
| 25 | 19918,92 | 2,781 | 55387,26 |

Fonte: Autores (2020).

Na figura 6 é apresentado o gráfico de como seria possível observar a variação do caixa ao longo de 25 anos, considerando o custo de instalação no 1º ano, do custo de manutenção no 15º ano, a produção ao longo dos 25 anos, o gráfico mostra o fluxo de caixa do sistema fotogerador, avaliando as receitas e despesas do mesmo de maneira separada.

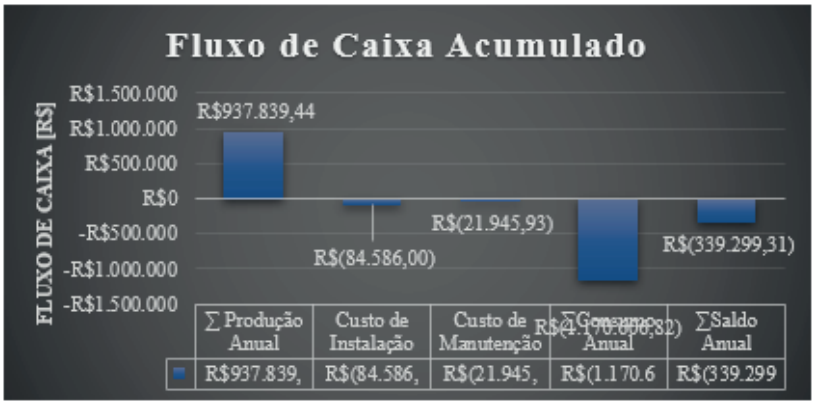
Figura 6: Fluxo de caixa do sistema fotogerador




Fonte: Autores (2020).

A figura 7 mostra o gráfico de como seria possível observar que a implantação do sistema fotogerador, geraria uma despesa total de R$ 106.531,93, somando os valores dos custos de instalação e manutenção. No entanto, o mesmo geraria uma receita de R$ 937.839,44 nos 25 anos, isso é quase 9 vezes o custo do sistema, a receita líquida gerada nos 25 anos seria de R$ 831.307,51, o sistema por sua vez não cobre todo o consumo anual dos 25 anos, restando ainda uma despesa de R$ 339.299,31 a ser paga para a concessionária de energia, isso representa aproximadamente 30% de R$ 1.170.606,82, valor que seria pago à concessionária caso não houvesse o sistema fotogerador. Cabe lembrar que todos os cálculos financeiros foram baseados no IPCA do ano de 2019.

Figura 7: Fluxo de caixa acumulado em 25 anos

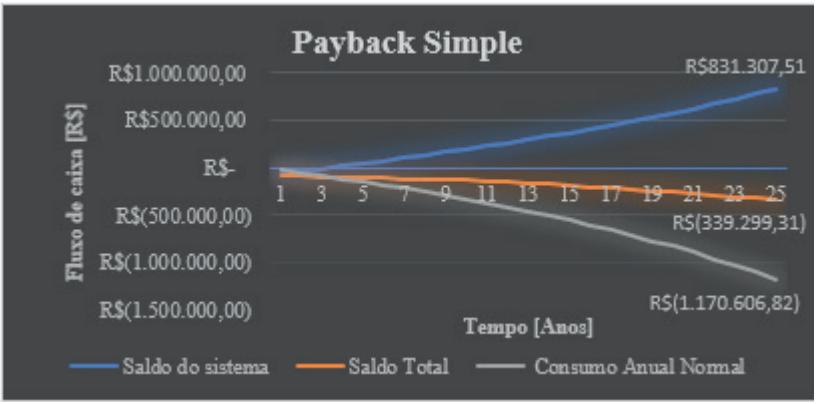



. Fonte: Autores (2020).

## 4.3 ANÁLISE DO *PAYBACK* SIMPLES

Através do gráfico demonstrado na figura 8 foi possível observar o comportamento da curva de *payback* do sistema fotogerador a curva de *payback* da instalação e a curva de consumo normal. Mediante tal análise se observou que o sistema fotogerador se pagaria entre o terceiro e o quarto ano de geração, a despesa do consumo normal por sua vez. Isto seria menor no início do período de geração, no entanto, o custo do consumo normal passaria a ser maior que o *payback* da instalação, também, entre o terceiro e o quarto ano de geração. Além disso, observou-se que, mesmo a resultante final sendo uma despesa de aproximadamente 340 mil, ela seria menor do que a despesa final do consumo normal, ou seja, o consumo sem a unidade fotogeradora.

Figura 8: Payback Simples




Fonte: Autores (2020).

## 4.4 ANÁLISE DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

O Valor presente líquido (VPL) de um investimento é em termos gerais uma projeção do ganho futuro no valor presente, em outras palavras considerando uma rentabilidade composta, o dinheiro perde seu valor ao longo do tempo e o valor de retorno estimado no futuro, mesmo sendo superior em valores pode ser igual ou inferior quando analisamos seu poder de compra, o VPL visa mostrar quanto em poder de compra um valor futuro vale no presente, sendo assim com o mesmo é possível visualizar se o investimento é viável ou não. Dito posto, o utilizaremos como taxa mínima de atratividade (TMA) de 3%, que é o valor da taxa Selic segundo o Banco Central do Brasil (BCB, 2020). Obtemos o VLP a partir da equação 7.

$$VPL = \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+TMA)^t} - FC_0 \qquad \textbf{(07)}$$

Onde:

VPL: Valor presente líquido;

T: Tempo em anos;

$FC_t$: Fluxo de caixa no período t;

$FC_0$: Fluxo de caixa inicial;

TMA: Taxa mínima de atratividade;

n: número de termos da somatória.

$$VPL = \sum_{t=1}^{25} \left( \frac{24.250,12_1}{(1+3\%)^1} + \frac{24.664,89_2}{(1+3\%)^2} + \cdots + \frac{55.387,26_{25}}{(1+3\%)^{25}} \right) - 84.586$$

$$VPL = R\$\ 520.974,42$$

## 4.5 ANÁLISE DO RETORNO DO INVESTIMENTO

O ROI *Return On Investment* (Retorno Sobre o Investimento), é um indicativo econômico que representa a relação entre o retorno e o capital investido em um projeto e pode ser obtido através da equação 8.

$$ROI = \frac{G - CI_0}{CI_0} \times 100 \qquad \textbf{(08)}$$

Onde:

ROI: Retorno sobre Investimento [%];

G: Ganhos obtidos;

$CI_0$ Custo total do investimento.

$$ROI = \frac{937.839,44 - 106.537,93}{106.537,93} \times 100 = 7,802 \times 100$$

$$ROI = 780,2\%$$

O ROI mede o potencial de retorno do investimento e no caso a unidade fotogeradora, a mesma retorna 780,2% do que ela custa.

## 5 CONCLUSÕES

Mediante os resultados obtidos se conclui que a instalação teria um custo efetivo total de R$ 106.540,93. A demanda produzida e consumida, pelo condomínio, foram respectivamente 21.715 kWh/ano e 26.689 kWh/ano. Através da viabilidade econômica de implementação da unidade fotogeradora foi constatada que a sua implementação seria viável pois o ROI fechou com 780% sobre o valor de investimento, o custo de instalação.

Verificou-se que a unidade fotogeradora do condomínio geraria estimadamente, em 25 anos, uma receita líquida de R$ 831.307,51, 780% do custo efetivo total do sistema, em contraste com um custo de consumo de R$ 1.170.606,82, no mesmo período. O custo líquido de energia do condomínio nos 25 anos é de R$ 339.229,31, 29% do custo de consumo no período. Lembrando que os valores foram estimados tendo como base o IPCA do ano de 2019.

Apesar do dimensionamento não suprir 100% da carga do condomínio, o sistema gerador fotovoltaico geraria por ano 21.715 kWh, dos 26.689,12 kWh em média consumidos no mesmo período, para as áreas comuns. Ainda assim, se constatou que o projeto se pagaria entre 3 e 4 anos após a implementação e que enquanto a taxa Selic for inferior 32% a.a. o projeto manter-se-ia viável economicamente.

O projeto apresentou que VPL que mede o ganho futuro no valor presente estimou um retorno de R$ 520.974,42 e um ROI (Retorno sobre o investimento) de 780,2% no término de 25 anos, ou seja, o investimento valorizou em média cerca de 31,2% anualmente.

## REFERÊNCIAS


ABSOLAR. Associação brasileira de energia solar fotovoltaica. **A energia que cresce**. Disponível em: http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/a-energia-quecresce. Acesso em: 18 mar. 2020.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/. Acesso em: 10 maio 2020.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. BCB. **Taxa SELIC e IPCA**. Disponível em: https://www.bcb.gov.br. Acesso em: 11 jun. 2020.

BRITO, Sérgio. Centro de referência para energias solar e eólica Sérgio de S. Brito. **CRESESB**, 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data. Acesso em: 28 fev. 2020.

CÉLULAS fotovoltaicas. **Portal Solar**, 2014. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/celulafotovoltaica. Acesso em: 09 nov. 2019.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2016.

BRASIL. Empresa de Pesquisas Energética. EPE. **Matriz energética e elétrica.** Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica. Acesso em: 06 jun. 2020.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de administração financeira**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2010.

HAWLKING, Stephen. **Uma breve história do tempo**. Rio de Janeiro: Intrínseca. 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. IEA. Disponível em: https://www.iea.org/. Acesso em: 11 out. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. IEA. **Date and statistics**. Disponível em: https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=Electricity%20consumption. Acesso em: 07 jun. 2020.

RUTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos**: O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificação urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis: UFSC/LABSOLAR. 2004.

PEREIRA, Enio Boeno; MARTINS, Fernando Ramos; GONÇALVES, André Rodrigues; COSTA, Rodrigo Santos; LIMA, Francisco J. Lopes de; RUTHER, Ricardo ABREU, Samuel Luna de; TIEPOLO, Gerson Máximo; PEREIRA, Silvia Vitorino; SOUZA, Jefferson Gonçalves de. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE. 2017.

VOLTA Redonda clima. **Climate-Data.Org**, fev. 2020. Disponível em: https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/volta-redonda-4043/. Acesso em: 28 fev. 2020.

# EAD: A NOVA ONDA DA EDUCAÇÃO – VIRTUDES E DESAFIOS

## EAD: THE NEW WAVE OF EDUCATION – VIRTUES AND CHALLENGES

Paulo Victor da Silva Maciel[1]
Rogério Clynton Ribeiro[2]
Dener Martins dos Santos[3]

**RESUMO:** A modalidade de aula de Ensino à Distância (EaD) tomou conta de debates na sociedade no que diz respeito à educação de um modo geral nos últimos meses do ano de 2020. Este artigo visa debater o assunto trazendo um pouco de história de quando e como surgiu o EaD, o perfil dos alunos que procuram este tipo de aula indicando os desafios socioculturais, ferramentas computacionais apropriadas e as soluções. A metodologia utilizada se baseia em pesquisa bibliográfica e documental a respeito deste modo de ensinar e aprender utilizando os recursos disponíveis na mídia digital atualmente, na qual se alicerça o EaD. Concluiu-se que muitos desafios ainda existem e outros ainda aflorarão nesta forma educacional uma vez que tanto professores quanto alunos estão, por força de uma pandemia instaurada, desbravando os desafios e tendo como meta principal trazer cultura, informação e principalmente educação de qualidade a todos.

**Palavras-chave:** Ensino à distância. Desafios educacionais. Mídia digital

1 Discente do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Docente Doutor Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**ABSTRACT:** The Distance Learning (EaD) class modality took over debates in society with regard to education in general in the last months of the year 2020. This work aims to debate the subject emerged, the profile of students looking for this type of class indicating the socio-cultural challenges, appropriate computational tools and solutions. The methodology used is based on bibliographic and documentary research regarding this way of teaching and learning using the resources available in digital media today, on which EaD is based. It was concluded that many challenges still exist and others will still emerge in this educational form since both teachers and students are, due to an established pandemic, pioneering the challenges and having as main goal to bring culture, information and mainly quality education to all.

**Keywords:** Distance learning. Educational challenges. Digital media.

## 1 INTRODUÇÃO

Devido ao fato da necessidade de o aluno continuar estudando em meio a um grande problema de saúde pública que assolou a sociedade mundial a partir do quarto trimestre do ano de 2019, o Ensino à Distância (EaD) se constitui no formato ideal para o período pandêmico. Essa modalidade educacional permite ao discente prosseguir nos estudos. Contudo se precisa entender o que é EaD e o perfil de quem procura este tipo de aula, de modo que não haja excessos nas cobranças de nenhum de ambos os lados que estão diretamente envolvidos: educando e educadores. O EaD trata de uma ferramenta didática que promove o acesso à educação e à cultura de modo ágil e eficaz para diminuir o abismo educacional, social e geopolítico da nação.

A modalidade educacional em EaD não se trata de um procedimento recente, contudo, diante a nova ordem social mundial, esta tomou relevância no cenário atual. Mediante as circunstâncias, esta saiu de um papel secundário para um papel principal na formação educacional e profissional do cidadão. Diante

disso, se busca um ponto de equilíbrio para que ninguém fique prejudicado, tanto por parte do aluno que além de estudar busca a realização profissional e amadurecimento pessoal quanto por parte do professor que por sua vez, busca na essência do exercício da sua profissão a mesma excelência educacional que normalmente ocorreria em aulas presenciais.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho consistiu em demonstrar como a tecnologia digital se encontra a serviço da educação em todos os níveis, além de esboçar os desafios enfrentados tanto pelos docentes quanto pelos alunos em fomentar cultura, informação de qualidade e educação para todas as gerações de pessoas.

## 1.2 MOTIVAÇÃO

O novo agente do coronavírus (SARS-CoV-2) foi descoberto em 31 de dezembro de 2019, após casos registrados na China, e provoca a doença chamada de coronavírus (COVID-19). Segundo o Ministério da Saúde o primeiro caso da COVID-19 no Brasil foi oficializado no final do mês de janeiro, um paulista de 61 anos que tinha voltado de uma viagem à Itália.

Devido aos acontecimentos sociais desencadeados foram decretados no nível do Ministério da Saúde, Ministério da Educação, Vigilância Sanitária e Governos nas três esferas (federal, estadual, municipal) medidas de prevenção contra a COVID-19 e a mais impactante delas foi o isolamento social. Mediante isso, trouxe consigo o forte impacto na educação. A mobilização das instituições de ensino começou, então, a partir da busca por ferramentas que possibilitassem a continuidade das aulas para que não houvesse descontinuidade do aprendizado. No carrear de ações institucionalizadas o uso da metodologia do EaD, aflorou como a grande ferramenta educacional para o período pandêmico que assolou todos os países sem exceção.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

### 2.1 HISTÓRICO

A historiografia da Educação a Distância não se trata de algo novo. O ponto de partida nessa régua cronológica, se for considerado a era moderna, seus primórdios datam do século XVIII. A educação a distância sempre acompanhou a evolução tecnológica por ter como caráter principal a de levar conhecimento e cultura em todos os rincões do planeta. O aperfeiçoamento dos meios de comunicação e multimeios eletrônicos e digitais de massa alavancou essa modalidade de transmissão de saberes das mais diferentes áreas científicas (LOBO NETO, 1995). Segundo Silva e Ferreira (2018) a educação a distância está relacionada com os processos de globalização que não se limitaram somente na economia, mas também nas transformações culturais e educacionais. Apesar de ser uma modalidade antiga, ela se apresenta como o ensino do futuro, no qual o professor assumiria o papel de orientador dos percursos de aprendizagens autogeridos pelo próprio estudante. A grande vantagem da educação a distância consistiria na flexibilidade do tempo e espaço do estudo.

Alguns marcos históricos ilustram como ocorreu a disseminação da educação a distância em diferentes épocas e países (PRETI, 1996): Na cidade de Boston nos Estados Unidos da América no ano de 1728 o professor Caleb Phillips ofereceu um curso de Taquigrafia (uma técnica para escrever à mão de forma rápida, usando códigos e abreviações) para alunos em todo o país, com materiais enviados semanalmente pelos Correios. No ano de 1833, na Suécia, a universidade da cidade de Lund ofereceu um curso de composição por correspondência. No ano de 1840, na Inglaterra, começou um curso também de Taquigrafia de passagens bíblicas, em que o professor Isaac Pitman incentivou os alunos a escreverem postais com textos abreviados, como ensinado no curso. No caso do estudo de outro idioma, diferente do utilizado localmente, se deu pioneiramente no ano de 1856 na Alemanha; tendo como base a metodologia do ensino a distância, com o emprego das tecnologias ora vivenciadas.

A humanidade como um todo experimentou um grande avanço tecnológico no século XX em todas as áreas do conhecimento, que pode ser considerado como superior àqueles dos séculos anteriores somados. Alguns eventos marcaram e ampliaram mundialmente de maneira significativa a educação a distância, (SILVA e FERREIRA, 2018):

- Até os anos 1910: Cursos por correspondência baseados em materiais impressos.
- A partir da década de 1910: Uso de slides e audiovisuais como materiais adicionais.
- Décadas de 1910 até 1940: Neste período, que compreendeu as duas grandes guerras mundiais, o rádio foi utilizado para transmitir os conteúdos.
- Década de 1950: Com a invenção da TV, começaram também as primeiras experiências de telecursos.
- Década de 1970: As tecnologias deste período são as TVs via satélite e a cabo, que também foram usadas para transmissão de os conteúdos.
- Década de 1990: Início dos cursos por computador via CD-ROM e posteriormente pela Internet.

De acordo com Bastos (2017) o surgimento dos cursos EaD no Brasil abriram portas para possibilitar que as pessoas que não tinham condições de realizar um curso presencial, realizassem seus sonhos: a inclusão social do conhecimento. Palloff e Prat (1999) descreveram que a comunicação via internet apresentaria maior eficácia que a comunicação presencial, uma vez que os relacionamentos no espaço virtual poderiam ser mais intensos do que a comunicação direta, ou seja, face-a-face e o fator comunicação, mais que os conteúdos apresentados, é o que geraria conhecimento.

A integração das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), no processo educacional seria de suma importância para a sua estruturação, até porque já se fazem presentes em todas

as áreas da vida social. Diante de tal fato caberia as instituições educacionais públicas ou privadas adequá-las, no sentido de facilitar o acesso à educação, e assim, diminuir as desigualdades sociais existentes no Brasil, (GATTI, 2005).

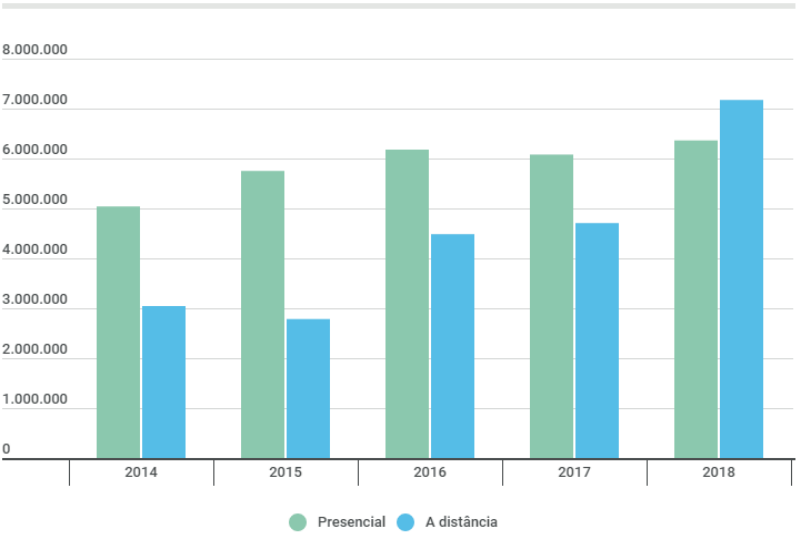
Segundo Costa e Faria (2008) no Brasil o EaD surgiu com cursos de qualificação profissional. O registro mais remoto flerta com o ano de 1904, com um anúncio nos classificados do Jornal do Brasil de um curso de datilografia (para usar máquinas de escrever) por correspondência. Na década de 1920, o Brasil já contava com os primeiros cursos transmitidos pelas ondas do rádio, a novidade tecnológica da época. Os estudantes utilizavam material impresso para aprender português, francês e temas relacionados à radiodifusão. Nas décadas de 1960 e 1970 surgem várias iniciativas de EaD em projetos para ampliar o acesso à educação, promover o letramento e a inclusão social de adultos. No final da década de 1970 começou em Brasília a primeira experiência de EaD nos cursos superiores. Nesse período, muitos brasileiros já acompanhavam os telecursos, transmitidos pela TV. Esse modelo de EaD convivia com os formatos antigos, como o material impresso e o rádio, uma característica que sem mantém até a década de 1990. Em meados da década, as instituições passaram a utilizar a Internet para publicar conteúdos e promover interações.

A legalidade da educação a distância surgiu graças ao decreto de nº 2.494, da Presidência da República, que regulamentou o artigo 8º da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, era prática no país desde o século passado, mas somente no ano de 1996, se transformou explicitamente, como modalidade de aprendizagem prevista na LDB. Nesse mesmo ano as universidades começaram a formalizar seus cursos a partir da criação da Secretaria de Educação a Distância (SEED), do Ministério da Educação e Cultura (MEC). Além disso garantiu a validade de diplomas emitidos pelos cursos nesta modalidade, (BASTOS, 2017).

## 2.2 A NOVA ONDA DA EDUCAÇÃO

Segundo Bermudez (2019) O número de vagas ofertadas no ensino superior à distância no Brasil em 2018 superou as do ensino superior presencial pela primeira vez na história, segundo os dados do Censo de Educação Superior 2018, divulgados hoje pelo MEC (Ministério da Educação). No citado ano foram 13,5 milhões de vagas oferecidas para um curso de educação superior no Brasil: 7,1 milhões foram para cursos à distância, enquanto 6,4 foram para cursos presenciais. A figura 1 mostra como ocorreu nos últimos anos a procura pelos cursos na modalidade do ensino a distância.

Figura 1: Vagas oferecidas nos cursos superiores: presencial e a distância.




Fonte: MEC/Inep. Censo da Educação Superior (2018).

A tendência é que a experiência de aprendizagem seja cada vez mais híbrida, conhecida também como *blended learning*. Ou seja, uma pessoa pode fazer um curso presencial e ter uma carga horária de atividades a distância. Um estudante pode passar por uma experiência tão rica de contato com seus pro-

fessores e colegas que acaba prevalecendo a sensação de presença e proximidade no processo de ensino e aprendizagem. Segundo Bertholdo Neto (2017) um novo perfil de aluno ocupa as cadeiras das instituições de ensino, definido como membros da Geração Y. Esta geração é constituída, por indivíduos nascidos aproximadamente entre os anos de 1980 e 2000 e possuem perfil mais questionador, com rápido acesso à informação devido aos grandes avanços tecnológicos e relacionamentos pautados no ambiente virtual.

As constantes atualizações tecnológicas e a grande influência cultural na sociedade da segunda metade do século XX e se perpetua no século XXI causaram virtualização das relações. As interações realizadas no ciberespaço são dotadas de realidade em potencial, nas quais constituem-se por informações das mais diversas origens, interligadas e com potencial para modificarem a estrutura do pensamento humano. O EaD explora técnicas de ensino-aprendizagem mediadas pela tecnologia, incluindo as hipermídias, as redes de comunicação interativa que compõem a cibercultura. Nesse momento criou-se uma ruptura entre o que ocorre tradicionalmente na escola e o que a tecnologia e o novo modo de vida oferecem, (LÉVY, 1999).

O ensino a distância elimina a necessidade de se deslocar e estar presente em um local específico para aprender, como na educação tradicional. Essa flexibilidade permite ainda que os alunos longe dos grandes centros tenham acesso as instituições de ensino através do EaD. São oferecidos cursos do ensino fundamental até pós-graduação, profissionalizantes, MBAs, atualizações, dentre outros. Outro ponto importante do perfil do aluno do ensino a distância no Brasil residiu no fato da redução dos custos para estudar. Essa característica favoreceu o crescimento da modalidade EaD. (MOREIRA; KRAMER, 2007)

Segundo o censo da Associação Brasileira de Educação a Distância (ABED) entre os anos de 2012 e 2017 houve redução de 65% no valor das mensalidades em relação aos cursos presenciais. Essa redução dos custos só foi possível porque as instituições também economizam em seus gastos e estrutura. Na modalidade do ensino a distância, as instituições atingem um

público amplo e os professores conseguem atender a demanda, pois a maioria das aulas são gravadas. O investimento na tecnologia necessária também não é custoso. Cabe ressaltar que a oferta de preços dos cursos leva em conta, também, as diferenças regionais. Por exemplo, um curso específico no Rio de Janeiro, na modalidade EaD, que objetiva atrair estudantes de todo o Brasil, não pode cobrar baseado apenas na economia do Sudeste.

## 2.3 PERFIL SOCIOCULTURAL DO ALUNO QUE ESTUDA PELA MODALIDADE EAD

Optar pela modalidade EaD é desafiador, o aluno deve ter disciplina e organização, uma vez que não se tem o compromisso da aula presencial, mas precisam assistir as aulas, realizar tarefas, provas e entregar trabalhos. Por outro lado, quem se esforça para aproveitar ao máximo a trilha de aprendizagem, consolida novos hábitos como autonomia e determinação, que são essenciais nos estudos e na vida profissional. O perfil do aluno de EaD no Brasil abrange uma faixa etária muito mais extensa, mas a tendência é que sejam mais velhos. (BEHAR, 2009).

Segundo dados da ABED (2018), quase metade dos alunos matriculados na modalidade de aula EaD, 49,78% têm entre 31 e 40 anos. Enquanto que na modalidade presencial, 61,23% dos alunos estão na faixa etária entre 21 e 30 anos. Se pode destacar três perfis de alunos no EaD:

- O jovem sem condições de sair de onde mora para estudar;
- Os profissionais regulares do mercado que moram em cidades distantes dos grandes centros ou não têm flexibilidade de horário;
- As pessoas de mais idade que buscam novas perspectivas profissionais e se reciclarem.

Se a flexibilidade é tão importante para o aluno EaD no Brasil,

porque os alunos também trabalham. E isso equivale a cumprir carga horária de, no mínimo 8h por dia. Além das horas extras que podem surgir. Sendo assim, os alunos precisam conciliar estudo com trabalho. De acordo com os dados do último censo EaD no Brasil de 2016, realizado pela ABED:

- Nas instituições públicas federais que oferecem cursos 100% a distância, o índice de alunos que estudam e trabalham é de 65,63%;
- Nas instituições privadas, essa taxa é ainda maior, pois 70,45% dos alunos conciliam as duas atividades;
- Nos cursos semipresenciais, a taca de estudantes de instituições privadas que trabalham e estudam é de 50%;
- Nos cursos semipresenciais oferecidos por instituições públicas federais, a taxa de alunos que conciliam as atividades é de 65,22%.

A grande maioria ainda estuda a noite, sozinha em casa. Ter proatividade para aprender a lidar com diferentes tecnologias e canais de comunicação também é fundamental para este aluno. Afinal, ele terá que aprender a mexer nas plataformas do EaD, assistir aulas ao vivo, interagir em chats, fóruns e grupos de redes sociais e aplicativos. Isso estimula os alunos a interagirem entre si, a terem contato com os professores e a conhecer outros alunos do curso. Outra vantagem da proatividade em usar canais de comunicação disponíveis é poder se comunicar com pessoas de diferentes regiões com idades e culturas diferentes. Além de conhecer pessoas com diferentes formações e qualificações profissionais. (AZEVEDO, 2007).

Segundo Kalinke (2003) existem várias ferramentas computacionais, para o uso no ensino-aprendizagem facilmente encontradas na web, são softwares educacionais *freewares* e *sharewares*. Os *softwares freewares* são aqueles que podem ser utilizados gratuitamente, os *sharewares*, são os que podem ser utilizados gratuitamente em um certo período. Após o período

de experiência precisa-se de licença para continuar o seu uso. Alguns sites e *softwares* e onde podem ser encontrados estão citados a seguir:

• http://www.supermatematica.com: nele se pode encontrar vários arquivos de Matemática, *softwares* para o uso da Matemática, por exemplo, programas que resolvem e auxiliam as equações de segundo grau, o Eq2grau (80 Kb), Matrix (205 Kb), trabalha com Matrizes e Determinantes. Bastante completo, Freeware, Comb (106 Kb), calcula arranjos, combinações e permutações. Simples e fácil de usar, *Freeware*, estes *softwares* além de ser de utilização *Freeware*, ou seja, gratuito, são bem leves. Também se encontram Provas de Vestibular, Biografias, entre as quais encontram-se as dos principais Matemáticos da História.

• http://www.somatematica.com.br se pode encontrar vários tipos de materiais e também vários softwares *freewares* e *sharewares*, dentre eles materiais de apoio para o Ensino Fundamental, Ensino Médio e Ensino Superior, Trabalhos de Alunos, material sobre matemática financeira, estatística, biografias de Matemáticos, História da Matemática e um dos focos principais deste trabalho, os softwares matemáticos, onde há uma diversidade de conteúdo, desde Planilha que calcula o máximo divisor comum (MDC) e o mínimo múltiplo comum (MMC) dos valores fornecidos, até Pequeno programa que realiza o cálculo de expressões numéricas.

• http://www.dma.uem.br/kit/: nele pode-se encontrar um kit de sobrevivência em Cálculo, sendo uma coleção de *worksheets* em *Maple V* organizadas para servirem de apoio ao estudante, pesquisadores e docentes de Cálculo de várias variáveis. Continuando, o *Maple* que é utilizado para quem estuda ou tem interesse em Cálculo,

acrescido dos programas para a Geometria, dentre eles os: Cabri Geometry e o Sketchpad são ferramentas, especialmente, para construções em Geometria. Dispõem de régua e compasso eletrônicos, sendo a interface de menus de construção em linguagem clássica da Geometria, o *Cabri Geometry*, é criação de J. M Laborde e F. Bellemain, ambos do Institut d´Informatique et Mathématiques Apliquées de Grenoble (IMAG) – Université Joseph Fourier, Grenoble, França. Pode-se ter acesso a versões demonstrativas do software em: http://wwwcabri. imag.fr, o Sketchpad, é criação de Nicholas Jackiw e Scott Sketetee, comercializado pela KeyCurriculum Press, acesso ao programa em: http://www.keypress.com/product_info/sketch-demo

> Dentro os vários recursos e possibilidades destacados como aspectos positivos do uso da Internet nos processos educacionais, vamos nos ater alguns que julgamos merecedores de mais destaque: a interação que ela permite, que seja entre alunos, do aluno com o professor ou do aluno com a máquina, a facilidade de comunicação, a possibilidade de publicação de materiais e a facilidade de acesso à informação. (KALINKE, 2003)

## 3 ESTUDO DE CASO

Os professores devem usar computadores como ferramentas para auxiliar os alunos na exploração e descoberta de conceitos, na transição de experiências concretas para as ideias matemáticas abstratas, na prática de rotinas, e no processo de resolução de problemas. É necessário e justificável, portanto, que se utilizem os recursos tecnológicos, a fim de transformá-los em opções pedagogicamente corretas e em recursos que realmente somem importantes contribuições. A junção destes recursos no processo ensino-aprendizagem contribuiria com ganhos a todos os partícipes alcançarem o sucesso. O sub-uso

ou a sua utilização equivocada seria mais prejudicial do que incorporá-la ao processo educacional. Diante disso, haveria a necessidade de se conhecer a ferramenta que permitisse explorá-la em todas as potencialidades. E, havendo a necessidade, sempre pesquisar e utilizar novos recursos de ensino. A Internet consiste, dentre as inovações tecnológicas, uma das ferramentas educacionais com maior potencialidade de agregar valor e ressaltar a importância dos docentes.

As ferramentas computacionais surgiram como uma opção a mais na busca da melhoria da qualidade do ensino. Porém, o emprego das técnicas computacionais pode trazer resultados pedagógicos benéficos, desde que se planeje corretamente seu uso, e recursos humanos sejam devidamente qualificados. Pode-se dizer que estas tecnologias se apresentam ainda como simples ferramentas de suporte ao processo ensino-aprendizagem. Há ainda o aprimoramento de páginas das Web para um ambiente mais amigável, de fácil acesso e utilização para que os professores publiquem seus materiais e os alunos assistam às aulas no tempo e lugar que melhor lhe convier.

Devido a demanda pelo EaD sendo solicitado por consequência, se observa que alguns softwares e aplicativos como Jitsi, Skype, Duo e Meet vem sendo adaptados para a educação para permitir alunos assistirem as aulas ministradas pelos seus professores. Tais ferramentas foram desenvolvidas para reuniões e vídeos conferências.

A crise causada pela Covid-19 resultou no encerramento das aulas em escolas e em universidades, afetando mais de 90% dos estudantes do mundo (UNESCO, 2020). Mediante isso se necessita repensar o futuro da Educação, incluindo uma articulação apropriada no EaD. O grande desafio se configura que no Brasil alunos não têm acesso a computadores, celulares ou à Internet de qualidade. Além disso, um número considerável de professores precisou aprender a utilizar as plataformas digitais, inserir atividades *online*, avaliar os estudantes a distância e produzir e inserir nas plataformas material que ajudasse o aluno a entender os conteúdos (DIAS e PINTO, 2020). A Educação exerce forte influência nas transformações da socieda-

de, então, ela reforça a capacidade crítica do indivíduo e atesta o grau de desenvolvimento da sociedade. Ao alinhar com inteligência, integridade, competência e planejamento, ações coordenadas no aprender a ensinar de modo dinâmico nesse período pandêmico à docência cumpre o seu papel de preparar e transformar a sociedade, formar cidadãos conscientes, e melhorar a Educação no Brasil e no mundo.

## 4 CONCLUSÕES

Através da pesquisa efetuada se observou que o Ensino a Distância (EaD) surgiu para beneficiar pessoas que não tem fácil acesso aos estudos, seja pela distância seja pela condição financeira. Tal benefício se comprova com os números estatísticos que mostram uma demanda cada vez maior por essa modalidade de aula.

Quando se relata que se faz necessário encontrar um ponto de equilíbrio para que ninguém saia prejudicado é porque, embora a sociedade nos cobra que as pessoas tenham multimeios digitais como computadores, celulares e Internet, se precisa compreender que no país, bem como no mundo todo, a sociedade está dividida em classes sociais, onde, uma parte goza de todos os recursos de infraestrutura e tecnológicos disponíveis, em quanto que, uma outra parte se quer tem acesso à tais tecnologias.

Algumas ferramentas digitais não são compatíveis com diferentes Sistemas Operacionais, algumas só rodam em Windows, outras somente em Sistemas Operacionais para telefones celulares, por exemplo: laboratórios virtuais que só é compatível com o Windows. Então, se precisa de ferramentas com maior compatibilidade para que tanto os docentes quanto os discentes tenham que pensar num investimento maior relativo à educação, pensando principalmente nos mais carentes.

## REFERÊNCIAS


ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA. ABED. Disponível em: http://abed.org.br. Acesso em: 29 jul. 2020.

AZEVEDO, D. R. de O aluno virtual: perfil e motivação. Dissertação (Mestrado) Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BRASIL. Ministério da Educação. Disponível em: http://mec.gov.br/inep. Acesso em 12 ago. 2020.

COSTA, Karla S.; FARIA, Geniana G. **EaD – sua origem histórica, evolução e atualidade brasileira face ao paradigma da educação presencial**. Belo Horizonte: UFMG, maio 2008.

BASTOS, Manoel J. **A importância da EAD na formação do sujeito. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 02, ed. 01, v. 14, p. 71-81, jan. 2017.

BEHAR, P. A. **Modelos pedagógicos em educação a distância**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

BERMUDEZ, Ana C. Pela 1ª vez, vagas no ensino superior à distância supera as vagas no presencial. Disponível em: https://educacao.uol.com.br/noticias/2019/09/19/pela-1-vez-vagas-no-ensino-superior-a-distancia-superam-as-no-presencial.htm. **UOL**. São Paulo,19 set. 2019. Acesso em: 07 set. 2020.

BERTHOLDO NETO, Emílio. O ensino híbrido: processo de ensino mediado por ferramentas tecnológicas. **Ponto e Vírgula**, São Paulo, PUC-SP, n. 22, p. 59 – 72, 2017.

DIAS, Érika; PINTO, Fátima C. F. A educação e a Covid-19. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas, Educação**, Rio de Janeiro, v. 28, n.108, jul/set., 2020.

GATTI, Bernadete A. Critérios de qualidade. *In*: Almeida, M. E; MORAN, J. M. (orgs). **Integração das tecnologias na educação**. Brasília: Ministério da Educação/SEED, 2005. p. 143-145. Série Salta para o Futuro, Secretaria de Educação a Distância.

KALINKE, Marco A. **Internet na educação**. Curitiba: Expoente, 147p., 2003.

LÉVY, Pierre. **Cibercultura**. Trad. Carlos Irineu da Costa. São Paulo: Editora 34, 1999.

LOBO NETO, F. J. S. Tecnologia educacional. **Revista Tecnologia Educacional**, v. 25, n. 130, p. 43-45, maio 1995.

MOREIRA, Antônio F. B.; KRAMER, Sônia. Contemporaneidade, educação e tecnologia. **Educ. Soc.,** Campinas, v. 28, n. 100 - Especial, p. 1037 – 1057, out. 2007. Disponível em: http://www.cedes.unicamp.br. Acesso em: 07 set. 2020.

PALLOFF, Rena F.; PRAT, Keith. **Building Learning Communities in Cyberspace.** Nova Jersey: John Wiley & Sons, 1999.

PRETI, Oreste (org.). **Educação à distância**: inícios e indícios de um percurso. Cuiabá: NEAD/IE-UFMT, 1996.

SILVA, Danniela E. L.; FERREIRA, Adir L. Trajetória da educação a distância: do surgimento a educação superior no Brasil. *In*: CIET/EnPED, São Carlos. **Anais** [...], p. 1 – 11, 2018.

UNESCO. **A Comissão Futuros da Educação da Unesco apela ao planejamento antecipado contra o aumento das desigualdades após a COVID-19**. Paris: Unesco, 16 abr. 2020. Disponível em: https://pt.unesco.org/news/comissao–futuros–da–educacao–da–unesco–apela–ao–planejamento–antecipado–o–aumento–das. Acesso em: 20 set. 2020.

# CARACTERIZAÇÃO E PRINCÍPIO DE DIMENSIONAMENTO DE RELÉS DE PROTEÇÃO PARA TRANSFORMADORES

## CHARACTERIZATION AND PRINCIPLE OF SIZING PROTECTIVE RELAYS FOR TRANSFORMERS

Deivid de Souza Silva[1]
Guilherme Pedrosa Guimarães[2]
Marcus Gabriel Máximo[3]
Rener Gazano[4]

**RESUMO:** Neste trabalho foi realizado estudo dos relés de proteção para transformadores de distribuição, a fim de determinar a viabilidade elétrica e o funcionamento ideal dos instrumentos. A parametrização do transformador ocorreu a partir dos dados de campo, e se realizou a comparação dos resultados tanto pelo método manual quanto pelo método computacional através do software PTW para caracterizar a seletividade e coordenação de um sistema elétrico por meio de relés de proteção. Os resultados obtidos indicaram que os sistemas de proteção são de extrema importância pois asseguram, garantem e eliminam anomalias na rede elétrica. Além disso, através da realização da parametrização ideal para o transformador tanto pelo método manual como pelo software PTW estes apresentaram resultados similares para as condições simuladas.

**Palavras-chave:** Sistema de proteção. Relés. Transformadores.

1 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
4 Docente Especialista do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**ABSTRACT:** In this work, a study of the protection relays for distribution transformers was carried out, in order to determine the electrical viability and the ideal functioning of the instruments. The parameterization of the transformer occurred from the field data, and the results were compared both by the manual method and by the computational method through the PTW software to characterize the selectivity and coordination of an electrical system through protection relays. The results obtained indicated that protection systems are extremely important because they ensure, guarantee and eliminate anomalies in the electrical network. In addition, through the realization of the ideal parameterization for the transformer by both the manual method and the PTW software, these presented similar results for the simulated conditions.

**Keywords:** Protection System. Relays. Transformers.

## 1 INTRODUÇÃO

Os dispositivos eletrônicos inteligentes são programados para proteger de maneira personalizada cada equipamento do sistema, atuando na identificação de curtos-circuitos fase-terra, bifásicos e trifásicos, e isolando o elemento em falta do resto do sistema elétrico através da abertura de um ou mais disjuntores. Os sistemas de proteção devem atuar com precisão e grande confiabilidade, necessitam de alta coordenação para que se tenha seletividade, desligando o menor número de equipamentos possíveis. Os transformadores de potência são invariavelmente alvos dos sistemas de proteção uma vez que este equipamento é essencial para o funcionamento do Sistema Interligado Nacional (SIN).

O transformador tem um papel muito importante na rede elétrica. Ele tem o papel de converter a tensão elétrica de uma eletricidade. esses dispositivos transformam a eletricidade de alta tensão em uma tensão elétrica menor. Esse processo é de extrema importância para o fornecimento de energia elétrica residencial. Os transformadores devem ser protegidos contra

sobrecargas, curto-circuito e surtos de tensão. Normalmente usam-se chaves fusíveis, disjuntores, seccionadores, pára-raios, etc...

### 1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal foi apresentar a realização da parametrização da proteção contra curto-circuito para um transformador, e elaborada por dois métodos (manual e software), fazendo-se uma comparação entre ambos os resultados obtidos. apresentar os conceitos básicos e fundamentos teóricos necessários para a elaboração da parametrização das proteções contra curto-circuito de um transformador. A importância de se parametrizar um transformador para garantir que os dispositivos de proteção possam interromper qualquer sobrecorrente maior ou igual a corrente de curto-circuito presumida no ponto em que o dispositivo está instalado.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

Os relés são dispositivos destinados a detectar quando uma grandeza de atuação atinge um determinado valor. Eles podem ser classificados quanto a sua grandeza de atuação (corrente, tensão, frequência), forma de conectar ao circuito (primário / secundário), forma construtiva (eletromecânicos, mecânicos, estáticos), temporização (temporizados e instantâneos), quanto a sua função (sobrecorrente, direcional, diferencial) e característica de atuação (normal inverso, muito inverso, etc). (SILVA, 2012).

Os relés numéricos são microprocessados de forma que expressem as grandezas elétricas medidas várias vezes ao ciclo, armazenam ditos valores instantâneos e posteriormente convertam o sinal de analógico em digital. Estes relés são construídos com dispositivos eletrônicos, nestes relés, não há nenhum dispositivo mecânico em movimento, todos os comandos e operações são feitos eletronicamente. Entretanto, a grande maioria dos relés estáticos acaba, no final, sempre operando mecanicamente um relé auxiliar que provoca a abertura ou fe-

chamento do disjuntor. O termo estático foi originado em contrapartida aos relés eletromecânicos, (SOUZA, 1988).

Portanto é altamente requerido que um sistema de proteção seja configurado de forma a garantir a eliminação do defeito no menor tempo possível, minimizando os danos e os custos, aumentando a segurança material e pessoa, e restringindo a interrupção ao menor trecho possível. Os sistemas de proteção e controle são normalmente incluídos nos projetos de novas instalações ou de expansão das instalações existentes, sendo, entretanto, necessário o acompanhamento do desempenho desses sistemas ao longo de sua vida útil. Portanto é altamente requerido que um sistema de proteção seja configurado de forma a garantir a eliminação do defeito no menor tempo possível, minimizando os danos e os custos, aumentando a segurança material e pessoa, e restringindo a interrupção ao menor trecho possível (MARDEGAN, 2010).

## 2.1 RELÉS ESTÁTICO

Estes relés são construídos com dispositivos eletrônicos, nele não há nenhum dispositivo mecânico em movimento. Todos os comandos e operações são feitos eletronicamente. Entretanto, a grande maioria dos relés estáticos acaba, no final, sempre operando mecanicamente um relé auxiliar que provoca a abertura ou fechamento do disjuntor. O termo estático foi originado em contrapartida aos relés eletromecânicos, já que o relé estático como podemos ver na ilustração a seguir é caracterizado essencialmente pela ausência de movimentos mecânicos. Os relés estáticos não foram bem aceitos no início de sua aplicação para proteção dos sistemas elétricos de potência e industriais, causando muitos problemas de operação indevida, o que resultou na substituição pelos antigos relés eletromecânicos (SILVA, 2012).

Nos grandes sistemas elétricos de potência, como o Sistema Interligado Nacional (SIN), os sistemas de proteção e controle são essenciais para a integridade física das instalações, equipamentos e componentes, também influem nos níveis de segurança operacional do sistema como um todo, o que torna

imprescindível estabelecer diretrizes para regulamentar as atribuições e responsabilidades do ONS e dos agentes envolvidos com o macroprocesso de proteção e controle de interesse sistêmico. Os sistemas de proteção e controle são normalmente incluídos nos projetos de novas instalações ou de expansão das instalações existentes, sendo, entretanto, necessário o acompanhamento do desempenho desses sistemas ao longo de sua vida útil (MARDEGAN, 2010).

## 2.2 CURTO CIRCUITO

Um Sistema Elétrico de Potência está sujeito a contingências durante sua operação que causam distúrbios no seu funcionamento normal, sendo o curto-circuito uma das ocorrências mais comuns e que podem provocar danos aos equipamentos envolvidos. A intensidade das correntes de curto-circuito além de depender do tipo de curto ocorrido, depende também da capacidade do sistema de geração, da topologia da rede elétrica, do tipo da rede elétrica, do tipo e localização de aterramento dos neutros dos equipamentos e do ponto de localização do defeito (ALMEIDA, 2000).

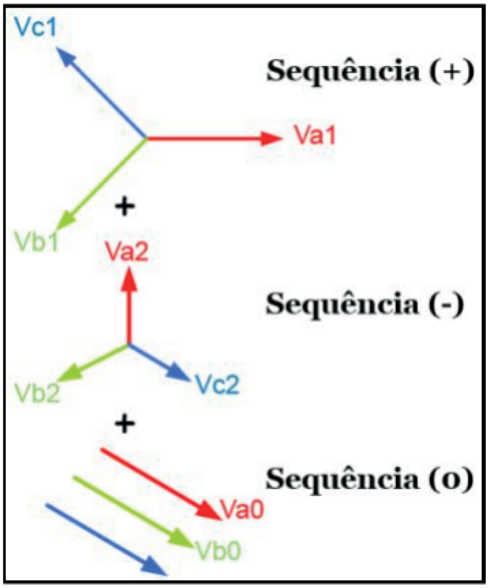
Quando ocorre um curto-circuito, as forças eletromotrizes das fontes de tensão do sistema (geradores) são curto-circuitadas através de impedâncias relativamente baixas (impedâncias de gerador, transformador e trecho da linha, por exemplo), o que pode resultar em correntes de curto-circuito de amplitudes extremamente elevadas. Esta elevação abrupta das correntes, acompanhada de quedas consideráveis nas tensões, traz consequências extremamente danosas ao sistema de potência. a queda de tensão no momento de um curto-circuito e que pode resultar, se mantida por longo período de tempo, em graves transtornos aos consumidores. O conjugado desenvolvido pelos motores elétricos, por exemplo, sendo proporcional ao quadrado da tensão pode, portanto, no momento de um curto-circuito, ser seriamente comprometido. Outra grave consequência de uma queda abrupta da tensão no sistema de potência é a perturbação que ela pode provocar na estabilidade da operação paralela dos geradores síncronos (CARDOSO, 2010).

## 3 METODOLOGIA

Sistemas trifásicos consistem no uso de três fontes senoidais de energia, chamadas fases, defasadas em cento e vinte graus (120º) e com mesma magnitude. O sistema é considerado equilibrado ou balanceado quando está alimentando cargas iguais em cada fase e as fontes estão funcionando de maneira correta, mantendo a fase e a magnitude constantes, figura 1. Ao dividir um problema complexo de um sistema desequilibrado nesses três sistemas equilibrados, os componentes simétricos facilitam sua análise e solução. Isto ocorre, pois, o equacionamento dos sistemas balanceados é de menor complexidade analítica e basta juntá-los após resolvê-los separadamente para encontrar a solução do sistema original, (ROCHA, 2018).

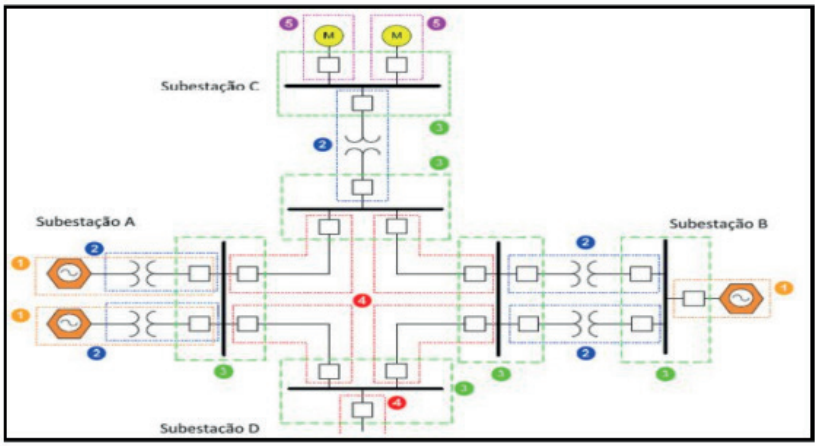
Os estudos de curtos-circuitos realizados nos sistemas elétricos podem ter diferentes finalidades como as seguintes: verificação da capacidade de ruptura dos disjuntores, verificação da capacidade dos disjuntores de suportarem os esforços dinâmicos produzidos pelas correntes de curto-circuito assimétricas máximas, obter as contribuições sub-transitórias e transitórias dos ramos ligados ao ponto de defeito, as quais servirão como subsídio para determinar os ajustes dos dispositivos de proteção, tendo a obtenção das contribuições sub-transitórias e transitórias, visando à determinação dos ajustes dos dispositivos de proteção, (KINDERMANN, 2010). A figura 2 mostra as cinco zonas de proteção básicas de uma Subestação (SE).

Figura 1: Componentes Simétricos.




Fonte: ROCHA (2018).

Figura 2: Zonas de proteção de uma subestação (SE).




Fonte: ROCHA (2018)

As cincos zonas apresentadas na figura 2 numeradas de 1 a 5 e representam, respectivamente, a proteção dos geradores, transformadores, barramentos, linhas de transmissão e por fim os motores. O objetivo é evitar que faltas temporárias causem à operação de dispositivos de proteção que não tenham capacidade de efetuar religamentos automáticos e que, no caso de faltas permanentes, a menor extensão possível da rede permaneça fora de operação (ROCHA, 2018).

As proteções contra sobrecargas protegem as máquinas, transformadores e linhas contra qualquer sobrelevação perigosa de temperatura, uma vez que esta é a consequência direta das sobrecargas. Proteção direcional reconhece qual a direção em que se encontra o defeito. Geralmente, constitui um dos elementos de uma proteção composta. Para a proteção direcional utilizam-se relés de potência, que medem uma potência monofásica ou trifásica, ativa, reativa ou aparente. Os relés direcionais apenas fecham os seus contatos quando a energia circula num determinado sentido. Proteção diferencial longitudinal está baseada na comparação das intensidades nos dois extremos do condutor que deve proteger. Se não existe defeito, neste condutor, as intensidades são iguais. Se há defeito no condutor, há uma diferença de intensidades. Proteção diferencial compensada denominada, também, de proteção de percentagem, evita inconvenientes já que é praticamente insensível aos erros e às diferenças entre as relações de transformação dos transformadores de intensidade (SOLOMON, 1994).

O relé de sobrecorrente instantâneo atua sem retardo intencional quando a corrente do sistema elétrico é maior que o seu ajuste. Pela norma ASA são denominados pelo número 50. O tempo depende do projeto, tipo e fabricação. Os relés eletromecânicos mais rápidos atingem 2,3 ciclos por segundo e os eletrônicos 0,7 ciclos por segundo. Para se evitar atuação de outros relés, o seu ajuste deve ser de tal maneira que não alcance os relés a jusante. Sendo assim, a corrente de ajuste do instantâneo deve ser calculada, de modo a haver seletividade do relé, ou seja, sem sobreposição de zona de atuação. Usualmente ajusta-se a corrente do instantâneo para um curto-circuito trifásico a 85% da linha de transmissão protegida.

A atuação dos relés de tempo definido ocorre após um tempo pré-determinado, este valor sendo escolhido de acordo com a coordenação que se queira implementar. O relé de sobrecorrente temporizado e instantâneo, indicado para proteção de defeito à terra no caso de sistema aterrado solidamente ou por meio de resistência e também para proteção de defeito entre fases em baixa ou média tensão (MARDEGAN, 2010). Alguns tipos de relés:

- Relé elementar;
- Relé eletromecânico;
- Relé digital;

O trecho da rede protegido por um dispositivo de proteção é chamado de zona de proteção, que é limitada pela mínima sobrecorrente a qual o dispositivo é capaz de detectar, geralmente a corrente de curto-circuito fase-terra mínima. Na zona de proteção primária o trecho de rede situado a jusante de um dispositivo de proteção que será sensibilizado quando ocorrer uma falta permanente ou temporária. A proteção de retaguarda é o dispositivo de proteção situado a montante daquele que está instalado na zona de proteção primária, (FERREIRA, 2011).

Os curtos-circuitos são anomalias ocorridas num sistema elétrico que podem causar grandes danos aos componentes que integram o sistema e seus níveis de são basicamente os curtos-circuitos fase-terra, bifásicos e trifásicos (KINDERMANN, 2010). Para os cálculos das correntes de curto-circuito utiliza-se a relação entre dois números, um em que consiste no valor real e outro que é tomado como o valor base, resultando num número puro, o qual se denomina cálculo por unidade (PU).

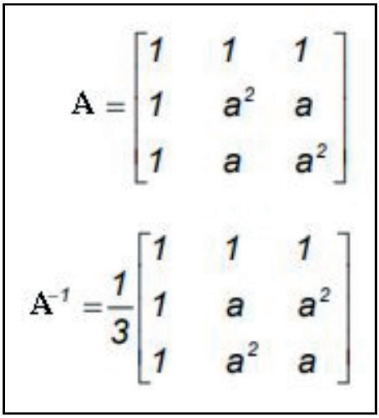
## 4 ESTUDO DE CASO

Considerando um sistema elétrico trifásico equilibrado funcionando em regime permanente senoidal, na ocorrência de um

curto-circuito, surgirão transitórios elétricos por um curto espaço de tempo, e logo após, o sistema assumirá um novo regime permanente senoidal com as correntes de curto. Apesar de alguns dispositivos serem afetados de forma específica por estes transitórios, grande parte dos equipamentos do sistema elétrico, como disjuntores, transformadores e relés de proteção podem ser dimensionados e ajustados de acordo com as correntes em regime permanente em condições de curto-circuito.

A transformação linear utilizada no método foi inicialmente proposta por Fortescue, conforme a referência. Para circuitos trifásicos equilibrados a mesma utiliza a matriz A, denominada matriz de Fortescue. Esta matriz é utilizada para transformar as componentes simétricas em componentes de fase. Para a transformação das componentes de fase em componentes simétricas é utilizada a matriz inversa $A^{-1}$. A figura 3 apresenta as matrizes A e $A^{-1}$, onde as variáveis (a = 120º) e ($a^2$ = 240º) presentes nas matrizes é um operador matemático que quando aplicado a um fasor, resulta no giro do mesmo no sentido anti-horário ou positivo.

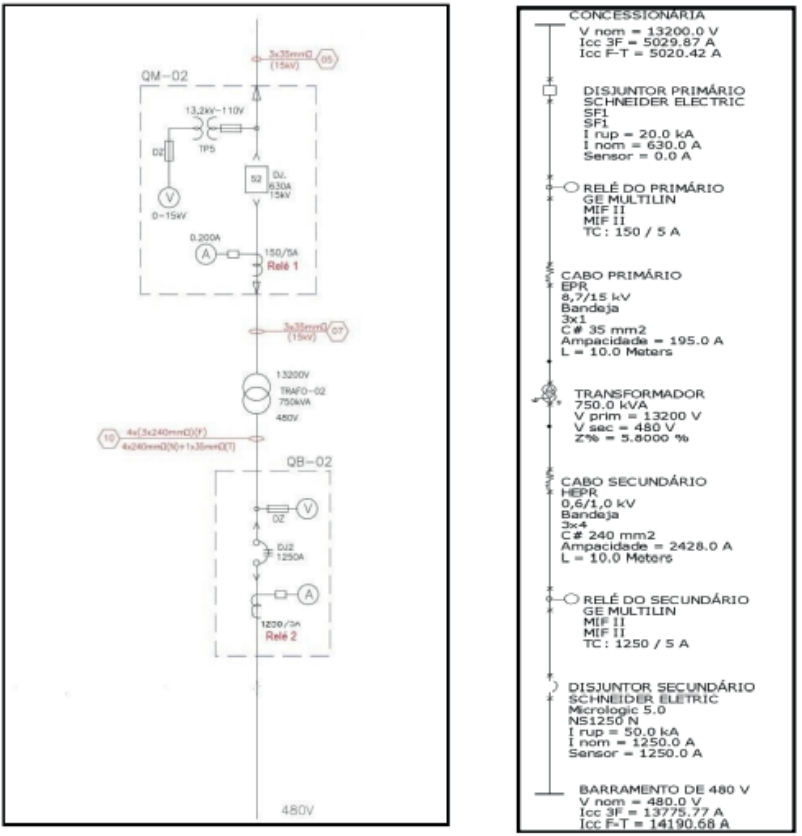
Figura 3: Matrizes de Componentes simétricas e antissimétricas.




Fonte: Kindermann (2010).

Nesta instalação do estudo de caso, considerou-se uma fonte geradora de tensão 13,2 kV, um transformador com uma potência de 750 kVA com impedância de 5,80 % e relação de tensão 13200/480 V. Para proteção utiliza-se dois disjuntores para fazer a interrupção do sistema caso ocorra um curto-circuito em qualquer ponto da linha, estes enxergados pelos relés 50/51 da função ANSI, que não devem operar para sobrecarga e sim para proteção de sobrecorrente (curto-circuito). A figura 4A apresenta o diagrama unifilar do estudo de caso. A figura 4B o diagrama construído no software PTW.

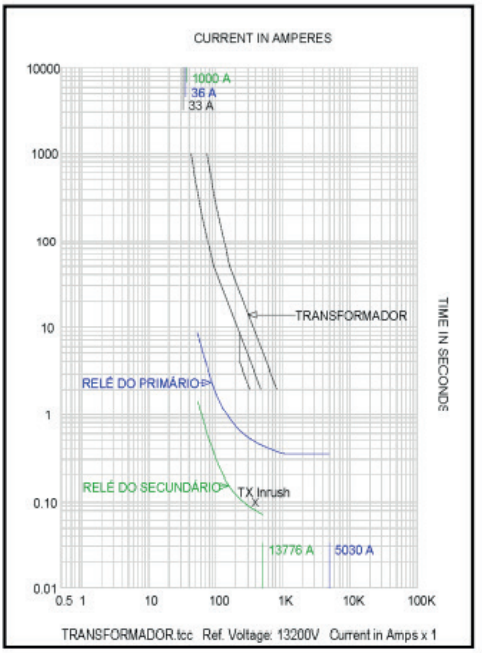
Figura 4: A: Diagrama unifilar do estudo de caso. B: Elaboração no Software PTW.




Fonte: Autores.

Para se calcular a corrente de curto-circuito no ponto de defeito, dividimos a tensão em valores PU pela soma das impedâncias em valores PU desde o ponto de defeito até a geração, resultando num valor PU e depois transformado em um valor real em ampères, demonstrado na figura 5.

Figura 5: Curva gerada pelo software PTW.




Fonte: Autores.

Pelos cálculos feitos pelo PTW o ajuste do relé do primário é igual a 0,24, com corrente de disparo igual a 36 A e uma curva (#3,0). Pelos cálculos feitos pelo PTW o ajuste do relé do secundário é igual a 0,8. Com corrente de disparo igual a 1 kA e uma curva (#0,5).

A parametrização de relés de proteção deste transformador foi calculada com o objetivo de inserir adequadamente os ajustes de proteção definidos. O primeiro passo foi fazer a definição

dos Transformadores de Corrente (TC's) referentes a cada disjuntor de proteção do sistema, e considerar 10% de margem para se calcular a corrente para assim saber qual a relação de TC será mais ideal para ser escolhida. A partir da equação dada abaixo realizamos os cálculos separadamente de cada disjuntor, lembrando que se trata de um transformador trifásico, logo devemos multiplicar a tensão de linha pela raiz de três, equação 1.

$$I = \frac{S \times 1{,}1}{\sqrt{3} \times VL} \qquad \textbf{(01)}$$

Onde:

I = Corrente para a definição do TC;

S = Potência do Transformador a ser protegido;

1,1 = Margem de 10% acrescentada;

VL = Tensão na linha.

$$I = \frac{750000 \times 1{,}1}{\sqrt{3} \times 13200} = 36,0843\ A$$

Como se trata de uma instalação existente, o TC (150:5) da instalação é bem superior à corrente necessária. Logo, no disjuntor (secundário), teve-se:

$$I = \frac{750000 \times 1{,}1}{\sqrt{3} \times 480} = 992,3207\ A$$

O próximo passo foi calcular a corrente que passa no secundário do TC para saber qual TAPE deve-se escolher para fazer os ajustes dos relés de proteção, de acordo com a equação 2.

$$I\,(secundário)\,TC = I \times \frac{N2}{N1} \quad \textbf{(02)}$$

Onde:

I (secundário) TC = Corrente do secundário do TC;

I = Corrente do disjuntor;

N2/N1 = Relação inversa do TC.

$$I\,(TC)\,1 = (36,0843 \times \tfrac{5}{150}) = 1,2028\,A$$
$$I\,(TC)\,2 = (992,3207 \times \tfrac{5}{1250}) = 3,9693\,A$$

Como não se tem TAPE igual a 3,9693 A, escolhe-se o próximo valor acima de TAPE que é de 4 A e para a corrente no primário de 1,2028 A, escolhe-se um TAPE de 1,5 A. Para fazer a definição das curvas que cada relé atuaria (figura 5), se iniciou o ajuste sempre pelo disjuntor mais distante da fonte de alimentação do transformador, no caso em estudo o disjuntor (2) e posteriormente o disjuntor (1). O relé que estava associado ao disjuntor (2) atuou o mais rápido possível para eliminar algum tipo de defeito causado por um curto-circuito, enquanto o relé associado ao disjuntor (1) permaneceria na retaguarda do disjuntor (2), para que se houvesse uma falha ou defeito na operação do relé que protege o disjuntor (1), o próximo relé possa atuaria e eliminaria o defeito. Convertendo-se todos os valores reais em valores PU, para que se consiga calcular a corrente de curto-circuito trifásica. A tensão PU do gerador é encontrada pela equação referente a Norma IEEE Red Book Std 141, de acordo com a equação 03. Através da mesma citada norma se calculou a impedância PU conforme descrito pela equação 04.

$$V\,(pu) = \frac{V\,(real)}{V\,(base)} \quad \textbf{(03)}$$

Onde:

V(pu) =Tensão por unidade;

V(real) = Tensão real na linha;

V(base) = Tensão base adotada.

$$V(pu) = \frac{13200}{13200} = 1,0\ pu$$

$$X(pu) = \left(\frac{V(concessionária)^2}{Pcc} \times \frac{P(base)}{V(base)^2}\right) \quad \textbf{(04)}$$

Onde:

X (pu) = Impedância por unidade da concessionária;

V (concessionária) = Tensão da concessionária;

Pcc = Potência de curto-circuito;

P (base) = Potência base adotada;

V (base) = Tensão base adotada.

$$X(pu) = \left(\frac{(13200)^2}{(115\times10^6)} \times \frac{(100\times10^6)}{(13200)^2}\right) = 0,8696\ pu$$

A impedância PU do transformador também utilizou a Norma IEEE Red Book Std 141 conforme descrito pela equação 05.

$$XTF(pu) = \left(\left(\frac{V(real)}{V(base)}\right)^2 \times \left(\frac{X\%(TF)}{P(TF)}\right)\right) \quad \textbf{(05)}$$

Onde:

XTF(pu) = Impedância por unidade do transformador;

V(real) =Tensão real do transformador;

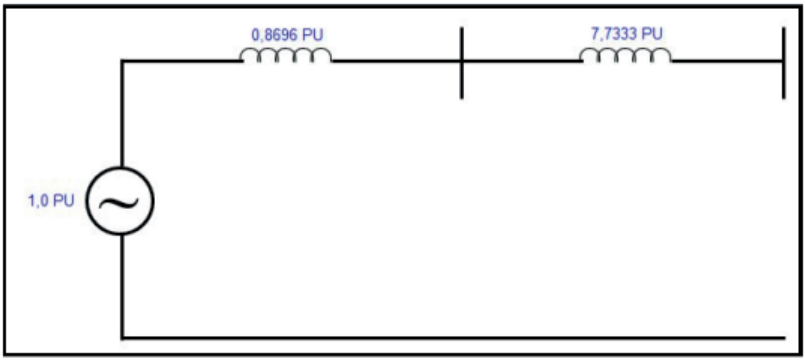
V(base) = Tensão base do transformador;

X%(TF) = Impedância do transformador;

P(TF) = Potência do transformador.

A figura 6 apresenta o diagrama de impedâncias em valores PU.

Figura 6: Diagrama unifilar com valores PU.




Fonte: Autores.

A partir dos valores convertidos em PU se calculou a corrente de curto-circuito trifásica nos barramentos de 13,2 kV e 480 V para se comparar com os valores gerados pelo software PTW. Neste caso se utilizou o equacionamento referente a Norma IEEE Red Book Std 141, como descrito na equação 06.

$$Icc3F = \frac{V(pu)}{\Sigma Z(pu)} \times \frac{Sb}{VL \times \sqrt{3}} \; A \qquad \textbf{(06)}$$

Onde:

Icc3F = Corrente de curto-circuito trifásica (em ampères) referida ao secundário do TC

V(pu) = Tensão por unidade da geração;

Σ Z(pu) = Somatório das impedâncias;

Sb = Potência base;

VL = Tensão na linha

$$Icc3F\ (barramento\ de\ 13,2\ kV) = ((\frac{1}{0,8695})\times(\frac{100\times10^6}{13200\times\sqrt{3}})) = 5,0303\ \text{kA}$$

$$Icc3F\ (barramento\ de\ 480\ V) = ((\frac{1}{8,6028})\times(\frac{100\times10^6}{480\times\sqrt{3}})) = 13,9816\ \text{kA}$$

Para se calcular o múltiplo de TAPE, encontrou-se os valores das correntes de curto-circuito trifásica referida ao secundário do TC pela equação referente a Norma IEEE Red Book Std 141, conforme descrito pela equação 07.

$$Icc3F = \frac{V(pu)}{\Sigma Z(pu)} \times \frac{Sb}{VL\times\sqrt{3}} \times \frac{N2}{N1}\ A \qquad \textbf{(07)}$$

Onde:

Icc3F = Corrente de curto-circuito trifásica (em a pères) referida ao secundário do TC;

V(pu) = Tensão por unidade da geração;

Σ Z(pu) = Somatório das impedâncias;

Sb = Potência base;

VL = Tensão na linha;

N2/N1 = Inverso da relação do TC.

$$Icc3F\ (barramento\ de\ 480\ V) = ((\frac{1}{0,8695+5,7333})\times(\frac{480\times\sqrt{3}}{100\times10^6})\times(\frac{1500}{5})) = 22,3959\ A$$

$$Icc3F\ (barramento\ de\ 13,2\ kV) = ((\frac{1}{0,8695})\times(\frac{13200\times\sqrt{3}}{100\times10^6})\times(\frac{120}{5})) = 197,1744\ A$$

Então se calculou o múltiplo de TAPE do relé secundário pela equação referente a Norma IEEE Red Book Std 141, mediante a equação 08.

$$MTP = \left(\frac{Icc3F}{TAPE}\right) \quad \textbf{(08)}$$

Onde:

MTP = Múltiplo de TAPE;

Icc3F = Corrente de curto-circuito trifásica;

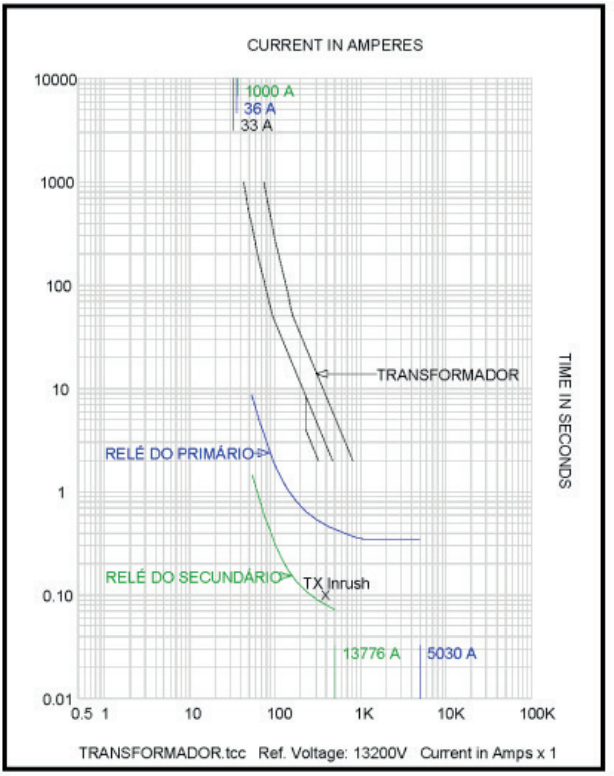
TAPE = TAPE do relé.

$$MTP\ (Relé\ 1) = \left(\frac{167{,}6774}{4}\right) = 41{,}9194$$

$$MTP\ (Relé\ 2) = \left(\frac{55{,}9266}{1{,}5}\right) = 37{,}2844$$

Assim que se encontrou valor acima, pôde-se definir a curva característica deste relé, e definir o tempo para que o mesmo atuasse quando ocorresse um defeito no sistema elétrico. Como se desejava que o relé (2) entrasse em ação o mais rápido possível quando acontecesse um curto-circuito no ponto de defeito, foi programado para intervir, escolheu-se o MTP = 41,9194 o tempo será de 0,095 segundos. O relé (1) deveria ser o retaguarda do relé (2) e se acrescentou como margem, um tempo de 0,3 segundos, então o relé (1) teve um tempo de 0,395 segundos. O relé (1) de retaguarda aguardaria o tempo do relé (2) principal atuar, pois se houvesse uma falha no dispositivo de proteção, este sempre teria outro para eliminar o defeito. O relé (1) com o MTP = 41,9194 e tempo de 0,395 segundos; figura 7.

Figura 7: Curva muito inversa gerada pelo software PTW.




Fonte: Autores.

Mediante os resultados observou-se que a correta especificação dos equipamentos, e a adequação de seus ajustes, foram fundamentais para a proteção do Sistema Elétrico de Potência (SEP), e por conseguinte essenciais para realização dos cálculos manuais e computacionais. Apesar de existirem esses dois métodos, os resultados foram muito semelhantes, salvo as devidas aproximações e a impedância dos cabos que foram desprezadas pelo método manual. Certificou-se também a diferença entre os dois métodos realizados foi que a normalização na instalação e ajuste dos dispositivos de proteção, permitiria a correspondência aos critérios de proteção na distribuição, com

um melhor desempenho do sistema. Nesse caso, necessitar-se-ia da realização das aferições periódicas dos dispositivos de proteção, para que fosse feita uma avaliação dos ajustes dos equipamentos de proteção utilizados. Uma vez que para um projeto de seletividade e coordenação deve ser dinâmico para acompanhar o crescimento e as alterações da carga ao longo do tempo. Abaixo na tabela 1 pode-se comparar os resultados dos dois métodos utilizados.

Tabela 1: Comparação entre o método manual e software

| Valores obtidos pelo método manual | | Valores obtidos pelo método computacional (PTW) | |
|---|---|---|---|
| Ice disjuntor primário | Ice disjuntor secundário | Ice disjuntor primário | Ice disjuntor secundário |
| 36,0843 A | 992,3207 A | 36 A | 1kA |
| Icc3F (Barra de 13,2 kV) | Icc3F (Barra de 480 V) | Icc3F (Barra de 13,2 kV) | Icc3F (Barra de 480 V) |
| 5,0303 kA | 13,9816kA | 5,030 kA | 13,776 kA |
| Dial de Tempo (#3) | Dial de Tempo (#0,5) | Dial de Tempo (#3) | Dial de Templo (#0,5) |

Fonte: Autores.

## 5 CONCLUSÕES

A parametrização de um transformador deve-se levar em conta, os possíveis problemas e a probabilidade de ocorrência de defeitos num SEP, esses passíveis de provocar grandes danos a rede elétrica, e sendo por isso, é cada vez mais importante a implementação e continuidade das proteções elétricas. O esquema de proteção de sistemas elétricos de potência é de fato muito importante, pois, se projetado adequadamente, garante a

seletividade, coordenação e a segurança do sistema protegido. é de fundamental importância para que a parametrização da proteção contra curto-circuito para um transformador, seja feita de forma correta, levando em consideração os níveis corretos de curto-circuito, as informações obtidas dos equipamentos e qual a interação entre eles.

A partir dos resultados obtidos se concluiu que mediante o exposto que o cálculo de ajuste de cada uma das funções de proteção dos relés, sendo estas introduzidas no software PTW apresentou comportamento da curva que o relé de proteção atuaria seria rápida ou lenta conforme a seletividade. Após serem feitos os cálculos manuais e ajustes dos relés, foram realizados os testes para comparar a atuação conforme o curto-circuito aplicado no sistema elétrico. Se observou que para cada cenário haveria a necessidade de analisar o tempo de atuação do relé primário e o relé de retaguarda (secundário). Contudo, caber ressaltar que dever-se-á sempre respeitar a margem adotada para que o mesmo possa atuar caso o relé de proteção principal de um determinado equipamento venha a falhar.

## REFERÊNCIAS


ALMEIDA, Marcos A. D. **Apostila de proteção de sistemas elétricos**. Natal: UFRN, fev. 2000.

ANSI/IEEE C37.90, IEEE **Standard for relays and relay systems associated with electric power apparatus**. IEEE Service Center, 2012.

CAMINHA, A. C. **Introdução à proteção dos sistemas elétricos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

CARDOSO, Abílio J. R. **ensaios das funções de sobrecorrente e distância utilizando relé digital de proteção e aplicação de sinais com caixa de teste**. Trabalho de conclusão de curso de graduação. UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 2010.

Ferreira, D. A. P., **Impactos na Filosofia de Proteção de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica na Presença de Geração Distribuída**. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

IEC/CEI 60044-1. **Current Transformers**, 2003.

IEC/CEI 60076-1. **Power Transformers**, 2000.

GRAINGER, J.; STEVENSON JR, W. **Power system analysis**. Pensilvânia: Mcgraw Hill Inc, 1994.

KINDERMANN, G. **Curto-circuito**. 5. ed., Florianopolis/SC: UFSC EEL-LABPLAN, 2010.

MAMEDE FILHO, J. **Manual de equipamentos elétricos.**

3.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2005. v.1.

MARDEGAN, Cláudio. **Dispositivos de Proteção**. *In*: Proteção e Seletividade, AFAP, pag. 28 – 39, cap. III, 2010.

ROCKEFELLER, G.D.; UDREN, E.A. High speed distance relaying using a digital computer. **IEEE Power Apparatus and Systems**, v. PAS 91, ed. 3, maio 1972.

ROCHA, Cássio X. **Geração Seletiva de Corrente de Referência Trifásica usando Método Multi-Ressonante para Filtro Ativo de Potência**. Dissertação: UFU, 159p., 2018.

SILVA, Márcio G. M. **Avaliação de Desempenho de Relés de Proteção Digitais**. In: Trabalho de Conclusão de Curso, UFRJ, 114p., 2012.

SOLOMON O., J. The use of dft windows in signal-to-noise ratio and harmonic distortion computations. Instrumentation and Measurement**. IEEE Transactions on**, 1994. v. 43, n. 2, p. 194-199, Apr 1994. ISSN 0018-9456.

SOUZA, Jorge N. **Apostila de equipamentos elétricos**. Rio de janeiro: DEE - UFRJ, 1998.

WARD, J. R.; HAL, H. W. Digital solution of power flow problems. **Trans. AIEE**, v. 75.

# ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UNIDADE GERADORA FOTOVOLTAICA PARA CARREGADORES DE ÔNIBUS ELÉTRICOS DE VOLTA REDONDA

## FEASIBILITY STUDY OF IMPLEMENTATION OF A PHOTOVOLTAIC GENERATOR UNIT FOR ELECTRIC BUS CHARGERS

Emilly Rezende Corrêa[1]
Larissa de Castro Martins Penha[2]

**RESUMO:** Este trabalho apresenta um estudo sobre a viabilidade de uma unidade geradora fotovoltaica na Cidade de Volta Redonda – RJ, a fim de carregar os três ônibus 100% elétricos que fazem parte do programa "Tarifa Comercial Zero" – iniciativa da atual gestão municipal, que oferece mobilidade urbana sem custos à população local. Ao longo do estudo serão apresentadas as principais características dos ônibus elétricos, o modo como são carregados e seu consumo diário, para, depois, analisar os dados do local onde seria implantado o sistema, bem como seu potencial técnico. Serão dimensionados, estimados e projetados os principais equipamentos que compreendem um sistema fotovoltaico conectado à rede, além de considerar as estimativas de produtividade anual do gerador fotovoltaico, da potência instalada na rede e do retorno do investimento. A relevância do estudo consiste em economia, baixo custo de manutenção e impactos positivos tantos nos quesitos sociais quanto ambientais

**Palavras-chave:** Sistema fotovoltaico conectado à rede. Estudo de viabilidade. Fontes renováveis. Ônibus elétricos. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

1 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM). emillyrezende05@hotmail.com

2 Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM). larissacastromartins@gmail.com

**ABSTRACT:** This work presents a study on the feasibility of a photovoltaic generating unit in the City of Volta Redonda - RJ, in order to charge the three 100% electric buses that are part of the “Tarifa Comercial Zero” program - an initiative of the current municipal management, which offers urban mobility at no cost to the local population. Throughout the study, the main characteristics of electric buses will be presented, the way they are charged and their daily consumption, to later analyze the data of the place where the system would be implemented, as well as its technical potential. The main equipment comprising a photovoltaic system connected to the grid will be dimensioned, estimated and projected, in addition to considering the annual productivity estimates of the photovoltaic generator, the installed power in the grid and the return on investment. The relevance of the study consists of economy, low maintenance cost and positive impacts both on social and environmental aspects.

**Keywords:** Photovoltaic system connected to the grid. Viability study. Renewable sources, Eletric buses. Dimensioning of photovoltaic systems.

## 1 INTRODUÇÃO

Entende-se como Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (*On-Grid*) o sistema de módulos solares fotovoltaicos (e demais periféricos) conectados à rede elétrica. Esse sistema transforma a energia solar em energia elétrica, alimenta a unidade consumidora e, quando a potência gerada for maior que a utilizada, o excedente injetado na rede elétrica é compensado junto à distribuidora.

Todos os meios de se produzir energia elétrica apresentam vantagens e desvantagens econômicas e ambientais. A concessionária local de energia elétrica produz eletricidade através da energia hidráulica, ou seja, uma grande quantidade de água é represada e a força da sua queda, ao passar por turbinas, aciona o gerador, que transforma a energia mecânica em elétrica.

Embora seja uma fonte renovável, a utilização de hidrelétricas como fonte de energia, provoca impactos socioambientais. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2005), a construção de usinas hidrelétricas geralmente exige a formação de grandes reservatórios de água. Para isso, normalmente é preciso inundar uma vasta área de terra, o que provoca profundas alterações no ecossistema, já que a fauna e a flora locais são completamente destruídas. Dependendo do tipo de relevo e da região onde se encontra o empreendimento, as hidrelétricas podem também ocasionar o alagamento de terras e o deslocamento de populações ribeirinhas. (BRASIL, 2005, p.100)

A maior parte da energia elétrica gerada no Brasil vem das usinas hidrelétricas. A energia solar, no entanto, é uma das alternativas de fonte elétrica que tem crescido bastante. Renovável e inteligente é capaz de gerar economia na conta de luz e promover maior segurança energética.

## 2 DESENVOLVIMENTO

O município de Volta Redonda, no Estado do Rio de Janeiro, conta, no momento presente, com três ônibus 100% elétricos circulando sob o programa “Tarifa Comercial Zero”, criado pela atual gestão. O referido programa iniciou no ano de 2017, em caráter experimental, sendo a primeira cidade brasileira a utilizar um ônibus 100% elétrico sem cobrar tarifa da população, Atualmente, a cidade já conta com três ônibus circulando entre os principais centros comerciais e históricos da região, gerando, entre outras coisas, o fomento do comércio local e a redução dos impactos que degradam o meio ambiente, embora seja um projeto inovador e sustentável, os modelos utilizados dependem, exclusivamente, da energia fornecida pela concessionária local. Esta produz, distribui e comercializa energia renovável através de um único sistema de fonte geradora: usinas hidrelétricas.

Dessa maneira, a fim de minimizar as alterações no ecossistema e reduzir os custos com energia elétrica, estuda-se a ideia de implantar uma Unidade Geradora Fotovoltaica para

alimentar os ônibus elétricos de Volta Redonda e aprimorar o atual programa “Tarifa Comercial Zero”. Seria, portanto, viável – tecnicamente e financeiramente – a execução de tal projeto? Quais são os fatores que deverão ser considerados? Qual será o impacto econômico, social e ambiental na cidade?

Entende-se que o aprimoramento do projeto “Tarifa Comercial Zero” através da implantação de uma Unidade Geradora Fotovoltaica para a alimentação de tais ônibus elétricos que circulam na cidade de Volta Redonda seja viável, tal afirmativa advém dos resultados positivos de outros projetos semelhantes a este em outras regiões do Brasil – país que possui valores de irradiação solar incidente superiores a de muitos outros que já utilizam recursos solares em seus projetos, induz-se que ao implantar uma Unidade Geradora Fotovoltaica *On-grid*, dependendo da capacidade de geração, a prefeitura poderá receber créditos excedentes de energia, reduzindo consideravelmente as suas contas com energia elétrica.

O Sistema Fotovoltaico *On-grid* mesmo tendo um elevado custo de instalação ainda sim dentre aos demais sistemas fotovoltaicos (*Off-Grid e Híbridos*) apresenta menor investimento por não ter necessidade de equipamentos complementares, como baterias para armazenamento de energia elétrica e outros sistemas de geração de energia, respectivamente. Estes fatores são relevantes e geram impactos positivos tanto na economia, quanto nos quesitos sociais e ambientais. Havendo economia de energia elétrica, a prefeitura poderá, futuramente, investir em uma frota maior e aumentar o número de paradas (ou percurso), por exemplo, proporcionando transporte público de qualidade, sustentável e sem custos a um número maior de usuários.

Além disso, ao oferecer diversidade para a matriz energética, este projeto atenuaria a sobrecarga e a dependência dos recursos hídricos, o que proporciona a redução de grandes obras para o suporte do setor elétrico e a preservação do meio ambiente, além de provocar na população uma consciência sustentável.

Todavia, para se obter um resultado satisfatório – técnico e econômico –, tal projeto necessita ser elaborado e gerenciado por um engenheiro eletricista, que, por sua vez, garantirá se-

gurança, economia e funcionalidade nas instalações. Por este motivo, o referido estudo torna-se altamente relevante para o curso de Engenharia Elétrica.

## 3 OBJETIVOS

### 3.1 OBJETIVOS GERAIS

Realizar um estudo de viabilidade da implantação de Unidade Geradora Fotovoltaica para carregadores de ônibus elétricos na cidade de Volta Redonda.

### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dimensionar a Unidade Geradora Fotovoltaica para atender o carregamento total das baterias de alimentação dos três ônibus elétricos que circulam na cidade de Volta Redonda;
- Avaliar as principais tecnologias disponíveis da Unidade Geradora Fotovoltaica;
- Apresentar os custos de implantação da tecnologia ao novo projeto;
- Analisar os benefícios e os malefícios da implantação de uma Unidade Geradora Fotovoltaica para carregamento de ônibus elétrico no sistema de transporte público na cidade de Volta Redonda;
- Apresentar a viabilidade do estudo realizado.

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método escolhido para esta pesquisa foi o indutivo. Ou seja, a partir de dados levantados e demais pesquisas realizadas nesse mesmo tema, infere-se uma verdade geral ou universal. Segundo Lakatos e Marconi (2007, p.86), “o objetivo dos argumentos indutivos é levar a conclusões cujo conteúdo é mais amplo do que o das premissas nas quais se basea-

ram". Generaliza-se, portanto, a partir de observações de casos concretos.

A presente pesquisa pode ser classificada, quanto à natureza como uma pesquisa aplicada, pois há um real interesse de estudo de viabilidade na implantação de painéis solares fotovoltaicos para o carregamento dos ônibus elétricos que circulam na cidade de Volta Redonda, com isso, o estudo possui objetivos exploratórios e descritivos, pois a partir da soma de dados coletados com as experiências descritas em literaturas, buscar-se-á a aplicabilidade prática do referido projeto.

Em relação à abordagem, a referida pesquisa enquadra-se no âmbito qualitativo cujo interesse se baseia na busca de fatos, fenômenos e eventos, de maneira organizada, permitindo ao pesquisador utilizar meios indutivos e subjetivos de interpretação e compreensão dos mesmos. Tratando dos procedimentos técnicos, enquadra-se no âmbito bibliográfico, por ser elaborada a partir de dados e materiais publicados anteriormente, como livros, artigos e periódicos disponibilizados na Internet. Também se enquadra como estudo de caso, pois serão avaliados, de maneira empírica e detalhados, pesquisas e projetos relacionados à viabilidade deste projeto.

## 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DA REALIDADE OBSERVADA

### 5.1 ÔNIBUS ELÉTRICO

Os ônibus elétricos fazem parte da realidade de sete cidades brasileiras (Bauru, Brasília, Campinas, Maringá, Santos, São Paulo e Volta Redonda). Quarenta são convencionais à bateria e duzentos e sete trólebus, totalizando 247 ônibus. Dos 247 ônibus elétricos 3 estão localizados na cidade de Volta Redonda-RJ.

Figura 1: Ônibus Elétrico no Brasil




(Fonte: www.ebusradar.org)

A iniciativa de inserir ônibus elétricos no município de Volta Redonda possibilitou não só o aquecimento da economia, como previa o prefeito da cidade, mas a consciência sustentável da população.

Aliar os veículos elétricos à energia renovável faz-se fundamental, pois nem sempre eles são sustentáveis, dependendo de onde vem a energia produzida para carregá-los. Quando a eletricidade é gerada através de fontes renováveis, a emissão de gases poluentes reduz consideravelmente. O Brasil possui grande potencial para incentivar cada vez mais a eletrificação das suas frotas urbanas, pois mais de 80% da energia elétrica produzida no país vêm de fontes renováveis.

## 5.2 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA ELÉTRICA

As fontes renováveis de energia elétrica são aquelas provenientes dos recursos naturais inesgotáveis, ou seja, suas quantidades se renovam constantemente, podendo, a energia elétrica, ser gerada a partir dos ventos (Eólica), das marés (Maremotriz), das águas dos rios (Hídrica), do calor da terra (Geotérmica), da luz do sol (Solar) etc.

No Brasil, a produção de energia elétrica impulsionada por fontes renováveis corresponde a 82,8% de toda a potência instalada e, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL –, o país fechou o ano de 2019 com 170.071 megawatts de potência instalada. (ANEEL, 2020).

Assim, de acordo com o Ministério de Minas e Energia, lidera a melhor posição do ranking de fontes renováveis dos BRICS, bloco composto pelos países em desenvolvimento: Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (MME, 2018).

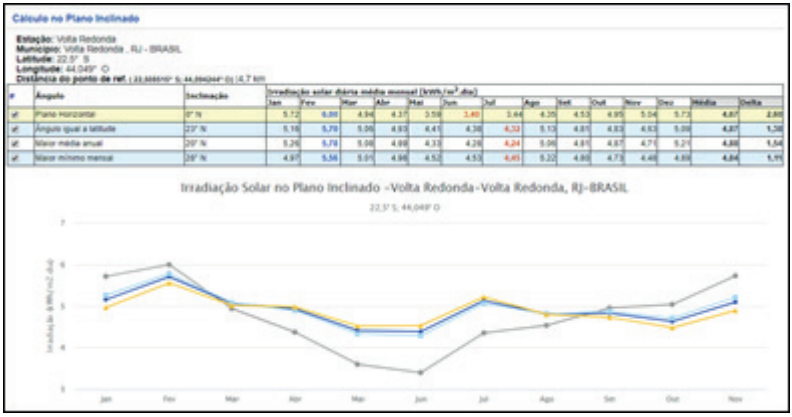
## 5.3 RADIAÇÃO SOLAR EM VOLTA REDONDA – RJ

Volta Redonda é um município do Estado do Rio de Janeiro, situado na região Sul Fluminense. Com cerca de 182.000 km² de extensão e mais de 270 mil habitantes, é considerada a maior cidade da região e a terceira maior de todo o interior.

O Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB, que por meio das coordenadas geográficas (latitude e longitude), fornece os dados de irradiação solar para o local de interesse.

No Brasil, os painéis devem ser orientados ao norte para maximizar a eficiência de energia solar coletada.

É possível identificar na figura abaixo que o município de Volta Redonda apresenta os valores de irradiação solar de 4,67 kWh/m². dia no plano horizontal, correspondente às diárias médias mensais para os 12 meses do ano (CRESESB, 2018).




Fonte: http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data

Porém, para dimensionar o Sistema Fotovoltaico, deve-se utilizar a menor média, considerando o mínimo a ser atingido. Assim, no plano horizontal (0˚ N), o mês com maior radiação solar foi fevereiro e a menor radiação foi em junho. A média desse ano foi de 4,67KWh/m².

Assim, sabendo do potencial de energia solar da cidade de Volta Redonda, é possível convertê-la em energia elétrica através do efeito fotovoltaico.

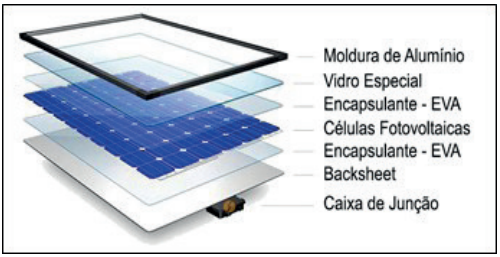
## 5.4 EFEITO FOTOVOLTAICO

A conversão direta da radiação solar em eletricidade é denominada efeito fotovoltaico e para que haja tal conversão é necessário que a luz solar interaja com materiais semicondutores – o mais usado é o silício. De acordo com o CRESESB, esses semicondutores “se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra totalmente “vazia” (banda de condução)”. (CRESESB, 2018).

## 5.5 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Uma célula fotovoltaica possui tensão e correntes baixas (tensão em torno de 0,7V e corrente em torno de 3A), por esse

motivo, são encapsuladas em módulos, de modo que são protegidas de intempéries, e interligadas em série ou paralelo. Comercialmente, as células são conectadas em série – somando-se a tensão de cada célula e mantendo a corrente na saída dos módulos – chegando a 12V.




(Fonte: www.portalsolar.com.br)

O conjunto desses módulos é denominado gerador fotovoltaico; a maneira como eles são ordenados, denomina-se arranjo fotovoltaico; e essa é a primeira etapa da implantação de um Sistema Fotovoltaico.

## 5.6 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

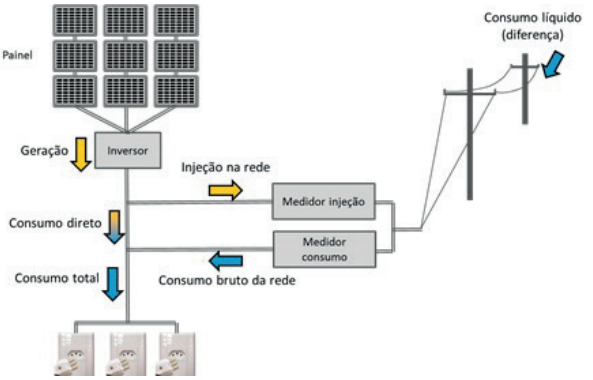
Os Sistemas Fotovoltaicos podem ser isolados, híbridos ou conectados à rede. A escolha, normalmente, depende da disponibilidade dos recursos de energia nos locais a serem implantados.

## 5.7 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (*ON GRID*)

O sistema fotovoltaico escolhido para o referido estudo foi o *On-grid*.

Nesses tipos de sistema, depende-se da rede elétrica convencional e, geralmente, são associados a projetos sustentáveis e de geração distribuída. De modo resumido, no sistema conectado à rede, o arranjo fotovoltaico, que gera corrente elétrica em corrente contínua (CC), é conectado ao inversor para convertê-

-la em corrente alternada (CA), em seguida, é injetada à rede elétrica local. Os elementos básicos de um Sistema Fotovoltaico conectado à rede são: gerador fotovoltaico, inversor, caixas de proteção, cabos de conexão, medidores e a rede elétrica.



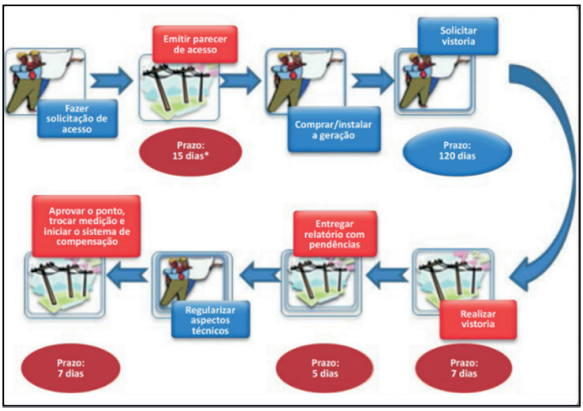

(Fonte: www.solarize.com.br)

Norma da ANEEL

Para viabilizar o acesso à rede local como micro ou minigeração distribuída, algumas etapas são obrigatórias. Primeiro, realiza-se a solicitação de acesso, preenchendo o Formulário de Solicitação de Acesso para micro e minigeração distribuída A distribuidora, por sua vez, deverá responder ao solicitante com a emissão de um parecer, informando as condições de acesso, os requisitos técnicos e os respectivos prazos. O prazo máximo para elaboração do parecer é de 15 dias para microgeração e de 30 dias para minigeração.

Em posse do parecer favorável, é possível iniciar o processo de instalação do projeto, e, em um prazo de 120 dias, solicitar a vistoria. Assim que aprovada, a distribuidora, colocará dois medidores, sem custos à unidade consumidora, um para medir a energia injetada na rede elétrica, e o outro para medir o consumo da rede elétrica.

A figura abaixo ilustra etapas e prazos do procedimento de acesso que devem ser seguidos pelo consumidor (destacados em azul) e pela distribuidora (destacados em vermelho).




(Fonte: ANEEL, 2016.)

A Resolução Normativa n˚ 482 deve ser seguida a fim de garantir que a instalação e o uso estejam de acordo com o padrão.

Em posse dos conhecimentos teóricos e técnicos apresentados até aqui, será possível dimensionar o sistema fotovoltaico para atender o carregamento total das baterias de alimentação dos três ônibus elétricos que circulam na cidade de Volta Redonda – RJ.

## 6. ESTUDO DE CASO

Para o dimensionamento do Sistema Fotovoltaico, serão analisadas as especificações técnicas e a média do consumo mensal de energia, dos três ônibus elétricos que circulam na cidade, e o local a ser implantado. Serão listados todos os componentes do sistema, suas características especificações e técnicas, qual seu uso para realizar o projeto e como instalar, esses equipamentos são achados facilmente na internet.

### 6.1 ESPECIFICAÇÕES DOS ÔNIBUS ELÉTRICOS

Os ônibus 100% elétricos que circulam na cidade de Volta Redonda sob o projeto “Tarifa Comercial Zero” possuem chas-

sis fabricados pela *BuildYourDreams – BYD* e modelo BYD D9W 20.410.




(Fonte: www.diariodotransporte.com.br)

Segundo a fabricante, é o primeiro ônibus elétrico urbano de longa autonomia no mundo. Desenvolvidos para causar o mínimo possível de sobrecarga à rede elétrica, os ônibus elétricos BYD vêm equipados com 324 kWh em capacidade de bateria, podendo assim rodar o dia todo sem precisar parar para recarregar.

O carregamento dos ônibus é feito por meio de um adaptador de carga e um cabo de alimentação, fornecidos pela própria fabricante.

Este processo é simples e interativo. Com o ônibus estacionado e devidamente engrenado em OFF, a tampa de proteção na entrada de carga do carro deverá ser aberta e examinada para garantir que não haja sujeiras ou outros resíduos; em seguida, remove-se a pistola de carga da tomada e conecta-se à referida entrada, conforme figura abaixo.

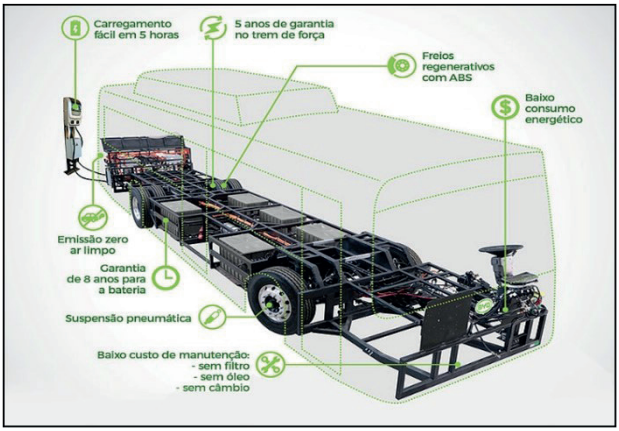


(Fonte: Manual do usuário para adaptador de carga BYD)

Depois disso, a tela de inicialização aparecerá, fazendo com o que o carregador se comunique com o carro elétrico. Após a comunicação interativa, a tela de carga aparece e inicia-se o carregamento, que fica indicado na tela. Após o carregamento estar completo, o adaptador de carregamento para de carregar automaticamente e o indicador completo pisca. Deve-se então, retirar a pistola da entrada da carga e aguardar aparecer na tela: “Obrigado por usar”.

Com até 300 km de autonomia, os ônibus elétricos utilizados em Volta Redonda, possui motor modelo BYD-2912TZ-XY-A - integrado em cada uma das rodas do eixo traseiro, contando com um módulo de controle eletrônico de tração.

De acordo com a ficha técnica, o tempo de carregamento é de 4 a 5 horas.




(Fonte: www.byd.ind.br/produtos/onibus/)

## 6.2 DADOS DO LOCAL

O local escolhido para o referido estudo foi a Ilha São João, situada no rio Paraíba do Sul, na altura do Município de Volta Redonda. Está localizado dentro do bairro Voldac, Zona Norte da cidade.

O motivo pelo qual se escolheu a Ilha São João, baseou-se na sua extensão territorial e estruturas (já montadas). Com uma área de 109 mil m², o Complexo Esportivo Ilha São João possui um pavilhão montado para atividades múltiplas com 5.120 m² (FERNANDES; RIBEIRO, 2019, p.198).



Fonte: https://radioacesafm.blogspot.com/2018/06/feira-da-primavera-volta-acontecer-na.html

Considera-se que o referido pavilhão seja uma área ideal para instalar os painéis fotovoltaicos. Praticamente, sem sombreamento de prédios vizinhos e árvores, é possível aproveitar 100% da produção energética. Nesse local, também será possível ter espaçamentos suficientes entre os painéis, passagem dos cabeamentos, abrigo dos inversores de frequência e dispositivos de medição e proteção.

## 6.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Atualmente, os ônibus elétricos são carregados em uma garagem, onde funcionam outros departamentos, que também consomem energia elétrica. Por isso, será necessário identificar quanto eles consomem, individualmente, em KW/h; o tempo de carregamento diário e a tarifa que a prefeitura paga por KW/h. Dessa maneira, será possível obter o Consumo Mensal de Energia dos três ônibus. Após o dimensionamento supracitado calcula-se a quantidade e painéis Fotovoltaicos a serem utilizados, e o dimensionamento dos demais equipamentos que compõe o sistema fotovoltaico.

As unidades de medidas usadas são:

Volt (V): Usado para medir a tensão

Ampére (A): Usado para medir a corrente

Watt (W): Usado para medir a potência

Watt de pico (Wp): Usado para medir a máxima potência obtida em condições ideais.

Watt hora (Wh): Usado para medir a potência gerada ou consumida por hora.

Quilômetro (Km): Unidade de medida de comprimento que deriva do metro.

Radiação solar (h): Nível médio anual de radiação solar do local de instalação

São três linhas, sendo dois ônibus na Linha 1 (sentido Circuito Comercial) e um ônibus na Linha 2 (sentido Shopping Park Sul). Na Linha 1, de segunda a sexta, cada ônibus realiza 11 viagens de 18km diariamente; aos sábados, cada um realiza 9 viagens de 18km e na linha 2 de segunda a sexta, cada ônibus realiza 11 viagens de 15km diariamente; aos sábados, cada um realiza 9 viagens de 15km.

Desse modo, seguem as equações, onde *VD* = viagens diárias e *DS* = dias da semana.

Ônibus A (Linha 1)

De segunda à sexta:

*(11VD. 18km). 5DS*

*198km. 5DS*

*990km*

Sábado:

*9VD. 18km*

*162km*

Logo, em uma semana completa (segunda a sábado):

*990km + 162km*

*1.152km.*

*Assim repetindo* esse procedimento sucessivamente nas demais linhas chega-se aos valores finais conforme tabela abaixo:

| *KM PERCORRIDOS* | |
|---|---|
| ***LINHAS*** | ***KM SEMANAL*** |
| *ÔNIBUS A* | *1.152 KM* |
| *ÔNIBUS B* | *1.152 KM* |
| *ÔNIBUS C* | *960 KM* |

(Fonte: Própria)

Sabendo que os modelos de bateria utilizados (BYD LiFePO4) possuem capacidade de 324KWh e uma autonomia de 300km, procura-se descobrir quanto dessa capacidade cada ônibus consome para percorrer o seu trajeto em um dia de trabalho. Desse modo, seguem as equações, onde:

***CTb = AUT tot***

***CUb = AUT uti***

*CTb* = capacidade total da bateria

*AUT tot* = autonomia total

*CUb*= capacidade utilizada da bateria

*AUT uti* autonomia utilizada (quilômetros percorridos).

Ônibus A (segunda à sexta)

*324KWh = 300km*

*CUb =198km*

*324KWh. 198km = 300km. CUb*

*CUb = 324KWh. 198km / 300km*

*CUb = 64.152KWh / 300*

*CUb = 213,84KWh*

Ônibus A (sábado)

*CTb = AUT tot*

*CUb = AUT uti*

*324KWh = 300km*

*CUb =162km*

*324KWh. 162km = 300km. CUb*

*CUb = 324KWh. 162km / 300km*

*CUb = 52.488KWh / 300*

*CUb = 174,96KWh*

*Assim repetindo* esse procedimento sucessivamente nas demais linhas chega-se aos valores finais conforme tabela abaixo:

| AUTONOMIA DAS BATERIAS | |
|---|---|
| **LINHAS** | **CAPACIDADE UTILIZADA DA BATERIA** |
| ÔNIBUS A (SEG. A SEXTA) | 213,84 KWh |
| ÔNIBUS A (SÁBADO) | 174,96 KWh |
| ÔNIBUS B (SEG. A SEXTA) | 213,84 KWh |
| ÔNIBUS B (SÁBADO) | 174,96 KWh |
| ÔNIBUS C (SEG. A SEXTA) | 178,20 KWh |
| ONIBUS C (SÁBADO) | 145,80 KWh |

(Fonte: Própria)

De acordo com as equações acima, percebe-se que o ÔNIBUS A utiliza 213,84KWh da sua capacidade total (324 KWh) para percorrer 198km (em um dia da semana). No sábado, esse mesmo ônibus utiliza 174,96KWh da sua capacidade total (324KWh) para percorrer 162km. O ÔNIBUS B, que faz o mesmo trajeto, possui os mesmos resultados que o A.

Já o ÔNIBUS C, para percorrer 165km (em um dia da semana), utiliza 178,2KWh da sua capacidade total (324KWh).

Portanto, ÔNIBUS A e B, em dias da semana (segunda à sexta), utilizam 66% da capacidade total de suas baterias; e no sábado, são utilizadas 54% delas. Já o ÔNIBUS C, em dias da semana (segunda à sexta), utiliza 55% da capacidade total de sua bateria; e no sábado, 45% dela.

Isso significa que os ÔNIBUS A, B e C chegam à garagem, no final do dia, ainda com carga, mas precisam recarrega-las e chegar à capacidade total para trabalharem no dia seguinte. Esse período de recarga define a quantidade de KWh consumida.

Para calcular o tempo que eles ficam carregando, basta saber a potência das baterias (2x40KW) e o consumo de energia diário (resultado nas equações acima). Seguem as equações, onde:

***E= energia, T= tempo e P= potência.***

Ônibus A (segunda à sexta)

*E = P. T*

*213,84KWh = (2. 40KW) . T*

*213,84KWh = 80KW. T*

*T = 213,84KWh / 80KW*

*T= 2,67h*

*T ≈ 2h e 40min*

Ônibus A (sábado)

*E = P. T*

*174,96KWh = (2. 40KW) . T*

*174,96KWh = 80KW. T*

*T = 174,96KWh / 80KW*

*T= 2,18h*

*T ≈ 2h e 11min*

*Assim repetindo* esse procedimento sucessivamente nas demais linhas chega-se aos valores finais conforme tabela abaixo:

| TEMPO DE CARREGAMENTO DOS ÔNIBUS ELÉTRICOS | |
|---|---|
| **LINHAS** | **TEMPO (APROX.)** |
| ÔNIBUS A (SEG. A SEXTA) | 2h e 40 min. |
| ÔNIBUS A (SÁBADO) | 2h e 11 min. |
| ÔNIBUS B (SEG. A SEXTA) | 2h e 40 min. |
| ÔNIBUS B (SÁBADO) | 2h e 11 min. |
| ÔNIBUS C (SEG. A SEXTA) | 2h e 13 min. |
| ONIBUS C (SÁBADO) | 1h e 49 min. |

As equações acima podem ser resumidas da seguinte forma: O ÔNIBUS A e B, de segunda à sexta, levam 2h e 40 min para recarregarem 213,84KWh (energia consumida durante todo o seu trajeto diário). Aos sábados, levam 2h e 11min para recarregarem 174,96KWh. Já o ÔNIBUS C, durante a semana (segunda à sexta), leva 2h e 13 min para recarregar 178,2KWh. Aos sábados, 1h e 49 min para recarregar 145,8KWh.

A partir dos dados acima, o próximo passo é descobrir a média de consumo mensal desses ônibus. Para isso, será necessário calcular o consumo mensal dos últimos doze meses, somá-los e dividir pelo número de meses (doze).

Segue, portanto, o modelo que foi utilizado para calcular o consumo mensal dos três ônibus, começando pelo mês de março de 2020, com 31 dias, quando houve 4 sábados e 21 dias da semana.

| MARÇO DE 2020 | | | |
|---|---|---|---|
| **ÔNIBUS A** | | | |
| KWh | | | |
| 213,84 | DIAS SEMANA | 22 | 4704,48 |
| 174,96 | SÁBADOS | 4 | 699,84 |
| 0 | DOMINGOS | 5 | 0 |
| | | | 5404,32 |
| | | | |
| | | | |
| **ÔNIBUS B** | | | |
| KWh | | | |
| 213,84 | DIAS SEMANA | 22 | 4704,48 |
| 174,96 | SÁBADOS | 4 | 699,84 |
| 0 | DOMINGOS | 5 | 0 |
| | | | 5404,32 |
| | | | |
| **ONIBUS C** | | | |
| KWh | | | |
| 178,2 | DIAS SEMANA | 22 | 3920,4 |
| 145,8 | SÁBADOS | 4 | 583,2 |
| 0 | DOMINGOS | 5 | 0 |
| | | | 4503,6 |
| | | | |
| **TOTAL KWh** | | 31 | 15312,24 |

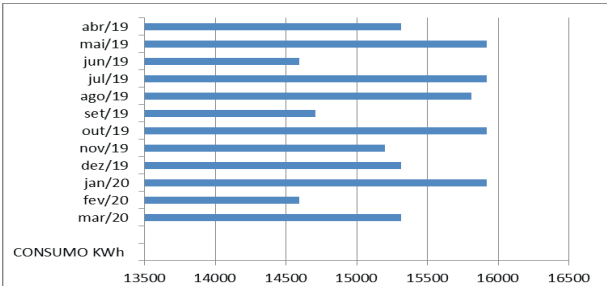
(Fonte: Própria)

O mesmo cálculo foi realizado nos 11 meses anteriores, sempre considerando a quantidade de sábados e de dias da semana, para que fique o mais próximo da realidade. Os resultados, portanto, seguem abaixo:

| **CONSUMO KWh** | |
|---|---|
| | |
| mar/20 | 15312,24 |
| fev/20 | 14596,2 |
| jan/20 | 15918,12 |
| dez/19 | 15312,24 |
| nov/19 | 15202,08 |
| out/19 | 15918,12 |
| set/19 | 14706,36 |
| ago/19 | 15807,96 |
| jul/19 | 15918,12 |
| jun/19 | 14596,2 |
| mai/19 | 15918,12 |
| abr/19 | 15312,24 |

(Fonte: Própria)

A tabela acima poderá ser representada pelo gráfico abaixo




(Fonte: Própria)

Em doze meses, os três ônibus consomem, juntos, aproximadamente, 184.518KWh. Todavia, a média de consumo mensal deles é de 15.376,5KWh. Atualmente, a prefeitura paga R$0,96328 por cada KWh. Isso significa que o custo para manter tais ônibus circulando é de, aproximadamente, R$14.827,99 mensais.

Como base para as próximas equações serão utilizados os valores da média de consumo dos ônibus, conforme calculados anteriormente, correspondente a 15.317,5KWh.

Seguem, portanto, as equações onde:

***Ec = Emm - CD***

*Ec* = Energia de compensação

*Emm* =Energia Média de Consumo

*CD*= Custo de Distribuição (Tipo de Distribuição Trifásico = 100 kWh)

*Ec = 15.376,5KWh em 1 Mês - 100 KWh*

*Ec =15.276,5KWh em 1 Mês*

A partir da energia de compensação encontrada para 30 dias, busca- se o valor dessa energia diária. No qual divide o valor encontrado por 30, conforme mostrado abaixo. Onde:

***Ecd = Ec / 30***

*Ecd* = Energia de compensação diária

*Ecd = 15.276,5KWh / 30*

*Ecd = 509,21KWh*

Agora, com a média de radiação solar em Vota Redonda (4,67 KWh/m². dia) e o valor da Ecd pode-se chegar a quanto de potência de energia tem que ser gerada (Watts Pico), mostrada na equação a seguir:

***Wp= Ecd / Radiação***

*Wp= 509,21KWh / 4,67KWh*

*Wp= 109,03KWp*

Com o valor da potência que tem que ser gerada pelos painéis (Watts Pico) e a potência de cada painel (380W), conclui-se o número de painéis a serem usados,

***N° painéis = Wp / Ppainel***

*N° painéis = 109.039,97Wp / 380W*

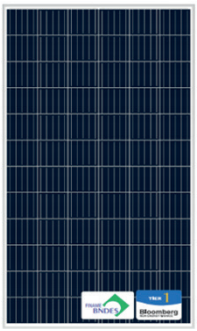
*N° painéis = 286,94 ≈ 287 painéis.*

Para este estudo, serão acrescentados, aproximadamente, 10% de painéis, a fim de compensar as possíveis perdas e considerando a possibilidade de que esses mesmos ônibus podem, no futuro, aumentar o percurso e a quantidade de paradas, consumindo, assim maior energia. Desse modo, o arranjo fotovoltaico contará com 320 painéis.

### 6.4 Módulo Fotovoltaico

Em virtude do custo-benefício, nessa pesquisa, será usado como referência um painel da mesma fabricante dos ônibus

*(BYD).* O modelo escolhido foi o monocristalino M7K - 36-5BB, cuja potência equivale a 380W.



(Fonte: www.byd.ind.br/produtos/solar/)

Segundo a fabricante, os módulos fotovoltaicos da *BYD* possuem baixa manutenção e vida útil prolongada. Oferece 10 anos de garantia para o produto e 25 anos de desempenho.

6.5 CAIXA DE CONTROLE

A caixa de controle que foi utilizada neste estudo é da marca *Ingeteam*, modelo INGECON SUN 160. Ela possui 16 entradas e, segundo sua ficha técnica, possui um limite de 10A em cada uma delas, com uma capacidade de 1000V para todo o equipamento.

Cada grupo de 20 módulos em série – com tensão de 952V e corrente de 9,54A– será conectado em uma entrada da referida caixa de controle, que por sua vez, conectará em paralelo as 16 fileiras do arranjo.




(Fonte: www.ingeteam.com/en-us/sectors/photovoltaic-energy)

## 6.6 INVERSOR

O inversor dimensionado para este estudo também é da marca *Ingeteam*, modelo Ingecon Sun Power 110TL B220.



(Fonte: www.ingeteam.com/en-us/sectors/photovoltaic-energy)

Apresenta em sua ficha técnica (Anexo IV) a tensão máxima de 1000V e 1 MPPT, que opera com faixa de tensão de 405V a 820V.

Para este estudo, basta apenas um inversor que receberá a potência de 121.856W. Esse valor pode ser encontrado através da equação onde:

***P = (Vmp. 20) . A***

*P* = Potência

*Vmp* = Tensão Máxima de Funcionamento

*A* = Corrente

*P = (40. 20) . A*

*P = 800. 152,32*

*P = 121.856W*

Nota-se que a potência que o inversor supostamente receberá está acima da capacidade dele, que segundo a ficha técnica é de 110.000W. No entanto, como já fora apresentado, o resultado do cálculo para o Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI) foi 0,90 – dentro das margens satisfatórias.

Com a potência de saída de 121.856W e a tensão de saída de 220V (indicada pelo fabricante), é possível calcular a corrente de saída ou o valor de corrente nominal. Segue a equação onde:

***I saída = P (W) / T. √3. Cos φ***

*I saída* = corrente de saída

*P saída* = Potência de saída

*In* = Corrente nominal

*P (W)* = Potência nominal em watts

*V* = Tensão

*Cos φ* = Fator de potência

*I saída = 121.856 / 220. √3 .1*

*I saída = 121.856 / 381,05*

*I saída = 319,64A*

É importante salientar que a corrente de saída em real funcionamento ficará abaixo da apresentada neste estudo. Isso acontece, pois durante o processo de geração, podem acontecer perdas.

## 6.7 DEMAIS EQUIPAMENTOS

Os demais equipamentos que compõem o Sistema Fotovoltaico compreendem estruturas metálicas para fixação dos módulos, cabos, disjuntores, fusíveis, quadros elétricos e dispositivos de proteção contra surtos (DPS). O dimensionamento deles requer um projeto elétrico baseado nas especificações disponibilizadas pelos fabricantes e obedecendo às normas e

aos regulamentos técnicos aplicáveis para instalações elétricas (ABNT, ANEEL, Light etc.).

De acordo com o Manual de Engenharia Elétrica, a NBR 5410 pode ser utilizada para a escolha da bitola do cabeamento em função do comprimento do ramal, da tensão nominal e do nível de perdas pretendido. De forma alternativa, utiliza-se a equação a seguir para determinar a seção mínima de condutor S, necessária para uma determinada instalação em corrente contínua.

$$S\ (mm^2) = p\ (\Omega.\ mm^2 / m).\ d\ (m).\ I\ (A) / \Delta V\ (V)$$

Onde:

*p* – resistividade do material do condutor;

*d* – distância total do condutor, considerando o trecho de retorno;

*I* – Corrente que passa pelo condutor;

$\Delta V$ – queda de tensão tolerada

O dimensionamento dos cabos e equipamentos de proteção, assim como as estruturas metálicas, também devem considerar as condições climáticas. Todos esses pontos constituem o que se chama de projeto elétrico, que inclui desde a escolha dos condutores até o dimensionamento/ especificação dos dispositivos de proteção (PINHO; GALDINO, 2014, p. 339).

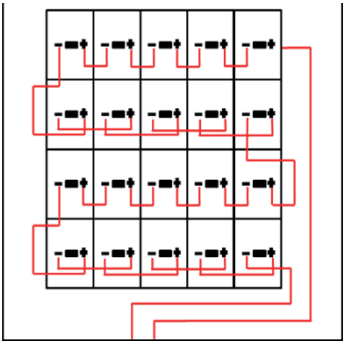
Por esse motivo, neste estudo, esses equipamentos mencionados não serão dimensionados. No entanto, seus custos serão estimados e adaptados, de acordo com o estudo realizado pela Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE)

## 6.8 ARRANJO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Segundo o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, os valores recomendados para FDI variam na faixa de 0,85 e 1,05 (PINHO; GALDINO, 2014, p.331). Portanto, o referido inversor está dentro da faixa recomendada, correspondendo às expectativas do gerador fotovoltaico.

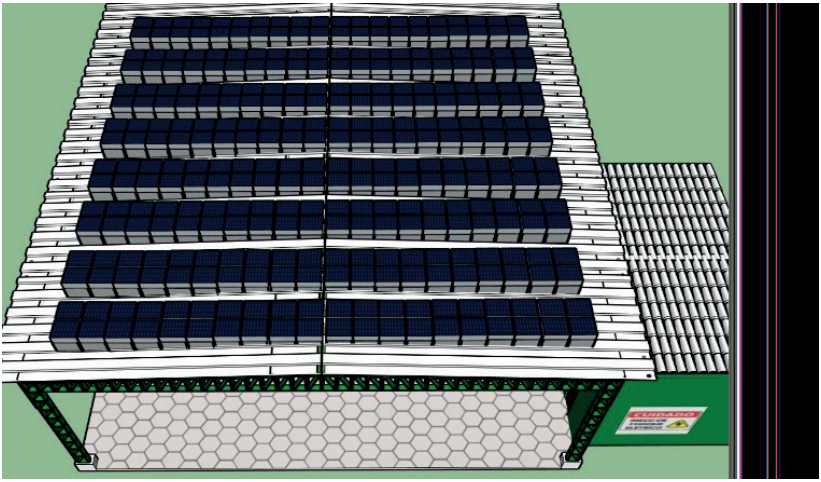
De acordo com a ficha técnica do inversor escolhido, a disposição dos painéis precisa respeitar a tensão de entrada máxima (1000V) e uma tensão máxima de MPPT de 820V. O cálculo da máxima tensão de entrada deve ser realizado com cuidado e atenção, pois ela nunca deve ser ultrapassada, sendo este um dos maiores riscos de se danificar o equipamento. (PINHO; GALDINO, 2014, p. 333).

Por isso, neste estudo, serão utilizados 16 grupamentos paralelos com 20 painéis em série (ligação mista), formando um arranjo de 320 módulos. Nas ligações em série, somam-se as tensões e mantêm-se as correntes. Já nas ligações em paralelo somam-se as correntes e mantêm-se as tensões. Ao utilizar a ligação mista, elevam-se as tensões e as correntes, o que, nesse caso, vai fazer com que se aproveite melhor toda a capacidade do inversor. Cada painel utilizado nesse estudo possui tensão de circuito aberto igual a 48,6V. A figura abaixo ilustra como será a ligação em série, resultando em 20. 48,6V = 972V.

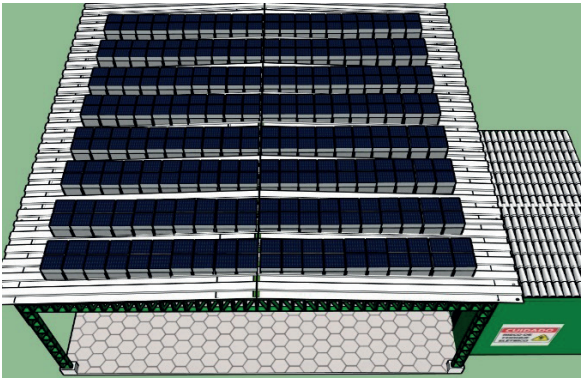


(Fonte: Própria)

A corrente de potência de pico em cada um desses módulos corresponde a 9.52A. E de acordo com a ficha técnica do inversor escolhido, a disposição dos painéis em paralelo precisa respeitar a corrente de entrada máxima que é de 400A. Os 16 grupamentos resultarão em 152,32A. Dessa maneira o arranjo poderá ser representado conforme as figuras abaixo. Serão 320 módulos distribuídos em uma área de aproximadamente 633m².



(Fonte: Própria)



(Fonte: Própria)

## 7 ESTUDO DE VIABILIDADE

O uso da energia solar no Brasil aumenta, significativamente, a cada ano, fazendo com que, gradativamente, os custos para a implantação de sistemas fotovoltaicos diminuam.

O objetivo desta pesquisa é apresentar um estudo de viabilidade do caso estudado. Busca-se, portanto, analisar o tempo

que levaria para recuperar o valor do investimento e as suas vantagens.

Para isso, faz-se necessário considerar a energia produzida pelo gerador fotovoltaico. Afinal, esse valor influencia no estudo de viabilidade do sistema. De acordo com a Solenerg (2012), a estimativa para esse valor pode ser obtido através da equação:

***Geração anual (MWh/ano) = Potência do módulo (Wp) x n° de módulos x radiação solar (h) x eficiência global x 365 dias x $10^{-6}$ Geração anual (MWh.*** Onde:

Geração anual (MWh): Estimativa de energia elétrica injetada na rede;

Potência de cada módulo (Wp): Potência nominal do módulo em Wp;

Número de módulos: Quantidade de módulos fotovoltaicos;

Radiação solar (h): Nível médio anual de radiação solar do local de instalação, plano inclinado igual à latitude, em kWh/m²/dia;

Eficiência global (pu): *Performanceratio* – Fator que leva em conta as perdas nos módulos fotovoltaicos, no inversor, na instalação etc. Valor típico: 0,7 a 0,8 – neste estudo, será utilizado o valor de 0,8.

Assim, o cálculo para o caso estudado fica:

$$Geração\ anual = 380Wp.\ 320.\ 4,87KWh/dia.\ 0,8\ .365.\ 10^{-6}$$

$$Geração\ anual = 172,92MWh/ano\ ou\ 14,41MWh/mês.$$

A tabela abaixo considera as variações de radiação solar durante os meses de 2018 para estimar a produtividade mensal, resultando em uma média de 172,29 MWh/ano.

| Meses | Dias | Potência insatalada | Radiação Solar | Permomance Ratio | Energia Mensal Produzida |
|---|---|---|---|---|---|
| Janeiro | 31 | 121,6 | 5,16 | 0,8 | 15560,91 |
| Fevereiro | 28 | 121,6 | 5,7 | 0,8 | 15525,89 |
| Março | 31 | 121,6 | 5,08 | 0,8 | 15319,65 |
| Abril | 30 | 121,6 | 4,93 | 0,8 | 14387,71 |
| Maio | 31 | 121,6 | 4,41 | 0,8 | 13299,15 |
| Junho | 30 | 121,6 | 4,38 | 0,8 | 12782,59 |
| Julho | 31 | 121,6 | 4,32 | 0,8 | 13027,74 |
| Agosto | 30 | 121,6 | 5,13 | 0,8 | 14971,39 |
| Setembro | 31 | 121,6 | 4,81 | 0,8 | 14505,42 |
| Outubro | 30 | 121,6 | 4,83 | 0,8 | 14095,87 |
| Novembro | 31 | 121,6 | 4,63 | 0,8 | 13962,60 |
| Dezembro | 30 | 121,6 | 5,09 | 0,8 | 14854,66 |
| | | | | **TOTAL** | **172293,58** |

(Fonte: Própria)

A estimativa dos custos para a implantação de um Sistema Fotovoltaico compreende os preços dos painéis fotovoltaicos, inversores, caixa de controle, demais equipamentos, instalação e projetos. A tabela abaixo apresenta os valores estimados para painéis, inversores e caixa de controle deste estudo.

| ITEM | FABRICANTE | MODELO | QTDE | VALOR UNITÁRIO | VALOR TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|
| Painéis Fotovoltaicos | BYD | MONOCRISTALINO M7K - 36-5BB | 320 | 770,00 | R$ 246.400,00 |
| Inversor | INGETEAM | INGECON SUN POWER 110TL B220 | 1 | 94.030,00 | R$ 94.030,00 |
| Caixa de Controle | INGETEAM | INGECON SUN 160 | 1 | 6.879,00 | R$ 6.879,00 |
| | | | | **TOTAL** | **R$ 347.309,00** |

(Fonte: Própria)

De acordo com acima, o custo com painéis, inversor e caixa de controle está estimado em R$ 347.309,00.

Para os equipamentos – como estruturas metálicas para fixação dos módulos, cabos, disjuntores, fusíveis, quadros elétricos, QGBT, dispositivos de proteção contra surtos etc – e demais custos – como projeto e instalação –, foi utilizado, como base, o estudo realizado pela Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE).

Segundo o Grupo Setorial de Sistemas Fotovoltaicos da ABINEE, a estimativa desses custos varia de acordo com o tipo de aplicação: instalação de 3KW (residencial), instalação de 30KW (comercial) e instalação de 30MW (usina). Assim, a projeção de custos de acordo com o Sistema Fotovoltaico instalado é apresentada da seguinte maneira:

| | RESIDENCIAL | COMERCIAL | INDUSTRIAL |
|---|---|---|---|
| Capacidade (KWp) | 3 | 30 | 30000 |
| CUSTO DE CABOS E PROTEÇÕES | R$ 2.250,00 | R$ 18.000,00 | R$ 13.100.000,00 |
| CUSTO DO SISTEMA DE FIXAÇÃO | R$ 3.750,00 | R$ 24.000,00 | R$ 14.000.000,00 |
| DEMAIS CUSTOS (CONEXÃO, PROJETO ETC) | R$ 3.750,00 | R$ 30.000,00 | R$ 18.000.000,00 |

(Fonte: ABINEE)

A potência instalada do Sistema Fotovoltaico deste estudo foi dimensionada com 121,6KWp. Desse modo, para utilizar a referida tabela como base para projetar os valores dos equipamentos e demais custos, fez-se necessário interpolar os dados. O resultado é apresentado na tabela a seguir:

| Capacidade (KWp) | 121,6 |
|---|---|
| | |
| CUSTO DE CABOS E PROTEÇÕES | R$ 57.721,00 |
| CUSTO DO SISTEMA DE FIXAÇÃO | R$ 66.436,00 |
| DEMAIS CUSTOS (CONEXÃO, PROJETO ETC) | R$ 84.563,00 |
| **TOTAL** | **R$ 208.720,00** |

(Fonte: Própria)

Somando, portanto, o valor das 2 tabelas mencionadas acima, obtém-se as estimativas de custos para o investimento do Sistema Fotovoltaico, conforme apresentado abaixo.

Tabela: Custo Total da Instalação

| | |
|---|---|
| Painéis Fotovoltaicos | R$ 246.400,00 |
| Inversor | R$ 94.030,00 |
| Caixa de Controle | R$ 6.879,00 |
| Cabos e Proteções | R$ 57.721,00 |
| Sistema de Fixação | R$ 66.436,00 |
| Demais Custos (conexão, projetos etc) | R$ 84.563,00 |
| **TOTAL** | **R$ 556.029,00** |

(Fonte: Própria)

## 8 RESULTADOS

Em posse dos valores para o investimento inicial e da geração de energia elétrica a ser injetada na rede local, é possível fazer os próximos cálculos, como economia anual e o tempo que levará para que o investimento passe a ter retorno.

Atualmente, o consumo mensal dos três ônibus juntos equivale a uma média de 15.376,5KWh ou 15,3765MWh. A tarifa paga pela unidade consumidora (Prefeitura de Volta Redonda) corresponde a R$ 0,96328 por cada KWh.

Desse modo, utilizando o consumo dos últimos doze meses, percebe-se que o custo para manter tais ônibus circulando é de, aproximadamente, R$ 177.742,00 anual. Uma média de R$14.811,00 mensais.

Tabela: Consumo e Custo dos ônibus Elétricos

| Mês | Consumo KWh | Tarifa | Valor da Conta de Luz |
|---|---|---|---|
| | | | |
| abr/19 | 15312,24 | R$ 0,96 | R$ 14.749,97 |
| mai/19 | 15918,12 | R$ 0,96 | R$ 15.333,61 |
| jun/19 | 14596,20 | R$ 0,96 | R$ 14.060,23 |
| jul/19 | 15918,12 | R$ 0,96 | R$ 15.333,61 |
| ago/19 | 15807,96 | R$ 0,96 | R$ 15.227,49 |
| set/19 | 14706,36 | R$ 0,96 | R$ 14.166,34 |
| out/19 | 15918,12 | R$ 0,96 | R$ 15.333,61 |
| nov/19 | 15202,08 | R$ 0,96 | R$ 14.643,86 |
| dez/19 | 15312,24 | R$ 0,96 | R$ 14.749,97 |
| jan/20 | 15918,12 | R$ 0,96 | R$ 15.333,61 |
| fev/20 | 14596,20 | R$ 0,96 | R$ 14.060,23 |
| mar/20 | 15312,24 | R$ 0,96 | R$ 14.749,97 |
| | | | |
| **TOTAL (ANO)** | **184518,00** | **R$ 0,96** | **R$ 177.742,50** |

(Fonte: Própria)

A estimativa de produtividade anual do gerador fotovoltaico, conforme visto na Tabela 3, é de 14,41MWh/mês e 172,29MWh/ano. O que corresponde a R$165.966,00 anual.

Seguindo esse raciocínio, com a instalação do Sistema Fotovoltaico dimensionado, a unidade consumidora pagaria à concessionária *Light* cerca de R$981,00 mensais, o equivalente a R$11.775,00 por ano. Esses valores, quando projetados para um ano, equivalem a R$165.966,00 de economia, conforme pode ser visto na Tabela abaixo, na qual foram utilizados os dados dos últimos doze meses de consumo.

Tabela: Projeção de Economia em Um Ano

| Mês | Consumo KWh | Tarifa | Valor da Conta de Luz | Energia Produzida SFCR (KWh) | Economia | Valor à Pagar |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| abr/19 | 15312,24 | R$ 0,96 | R$ 14.749,97 | 14387,71 | R$ 13.859,40 | R$ 890,58 |
| mai/19 | 15918,12 | R$ 0,96 | R$ 15.333,61 | 13299,15 | R$ 12.810,80 | R$ 2.522,80 |
| jun/19 | 14596,20 | R$ 0,96 | R$ 14.060,23 | 12782,59 | R$ 12.313,22 | R$ 1.747,01 |
| jul/19 | 15918,12 | R$ 0,96 | R$ 15.333,61 | 13027,74 | R$ 12.549,36 | R$ 2.784,25 |
| ago/19 | 15807,96 | R$ 0,96 | R$ 15.227,49 | 14971,39 | R$ 14.421,64 | R$ 805,85 |
| set/19 | 14706,36 | R$ 0,96 | R$ 14.166,34 | 14505,42 | R$ 13.972,78 | R$ 193,56 |
| out/19 | 15918,12 | R$ 0,96 | R$ 15.333,61 | 14095,87 | R$ 13.578,27 | R$ 1.755,34 |
| nov/19 | 15202,08 | R$ 0,96 | R$ 14.643,86 | 13962,60 | R$ 13.449,89 | R$ 1.193,97 |
| dez/19 | 15312,24 | R$ 0,96 | R$ 14.749,97 | 14854,66 | R$ 14.309,19 | R$ 440,78 |
| jan/20 | 15918,12 | R$ 0,96 | R$ 15.333,61 | 15560,91 | R$ 14.989,51 | R$ 344,09 |
| fev/20 | 14596,20 | R$ 0,96 | R$ 14.060,23 | 15525,89 | R$ 14.955,78 | -R$ 895,55 |
| mar/20 | 15312,24 | R$ 0,96 | R$ 14.749,97 | 15319,65 | R$ 14.757,12 | -R$ 7,14 |
| | | | | | | |
| **TOTAL (ANO)** | **184518,00** | **R$ 0,96** | **R$ 177.742,50** | **172293,58** | **R$ 165.966,96** | **R$ 11.775,54** |

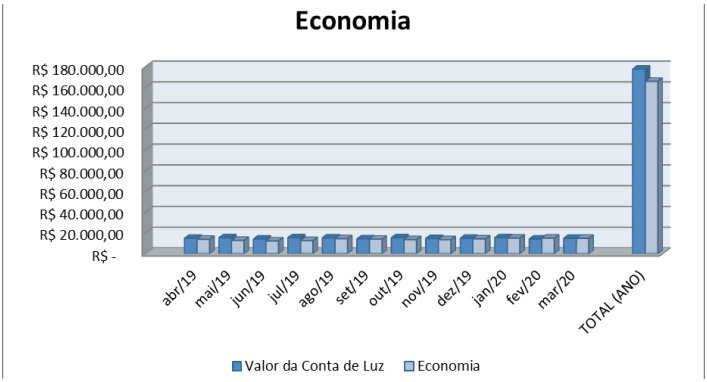
(Fonte: Própria)

Ao analisar a Tabela 9, percebe-se que, em alguns meses específicos, o Sistema Fotovoltaico produzirá mais energia que nos demais meses, quando a irradiação solar aumenta, gerando maior economia e até créditos na rede local.

É importante lembrar que os dados solarimétricos analisados correspondem ao ano de 2018, em um plano horizontal, conforme disponibilizados pela CRESESB e o consumo dos ônibus correspondem a uma estimativa levando em consideração os dias trabalhados e a quilometragem percorrida.

O gráfico abaixo ilustra o valor da conta de luz e da economia gerada após o Sistema Fotovoltaico instalado.

Figura: Economia Gerada




(Fonte: Própria)

Com a economia apresentada, entende-se que seria possível recuperar o valor investido para a implantação do Sistema Fotovoltaico em Volta Redonda, em menos de três anos e meio.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo principal um estudo da viabilidade de uma Unidade Geradora Fotovoltaica para a alimentação de três ônibus elétricos que, atualmente, circulam na cidade de Volta Redonda sob o programa “Tarifa Comercial Zero” – sem custos para a população local.

Inicialmente, foram apresentados os principais conceitos necessários para dimensionar um sistema fotovoltaico conectado à rede *(on-grid*). Entre eles, destacou-se a importância de se utilizar energia de fontes renováveis e o potencial brasileiro nesse quesito. Ainda, nesse primeiro momento, foram apresentadas as normas e os requisitos que regem esse sistema.

Posteriormente, foram analisadas as principais características dos ônibus elétricos, o modo como são carregados e seu consumo diário, para, depois, analisar os dados do local onde seria implantado o sistema, bem como seu potencial técnico. Os principais equipamentos foram dimensionados,

estimados e projetados, a fim de oferecer um estudo bem próximo à realidade.

No momento seguinte, foi apresentado o estudo de viabilidade, considerando as estimativas de produtividade anual do gerador fotovoltaico, da potência instalada na rede e do retorno do investimento.

Observou-se que, embora os custos para implantar uma unidade geradora fotovoltaica ainda sejam altos no Brasil, o referido projeto torna-se viável. Pois, de acordo com o referido dimensionamento e com o valor da tarifa atual do *Grupo Light*, estima-se uma economia de, aproximadamente, 166 mil reais por ano. Como o valor estimado para o projeto ficaria em torno de meio milhão de reais, conclui-se que o valor do investimento, pode ser recuperado em menos de quatro anos.

O estudo demonstrou que, com esse dimensionamento, a compensação de energia não ficaria inteiramente zerada. Ou seja, ainda se produz menos energia que o consumo total dos ônibus. A unidade consumidora, portanto, deverá realizar o pagamento da conta de energia elétrica.

Sendo assim, entende-se que o referido dimensionamento poderia ser aprimorado, a fim de eliminar esses pequenos valores que ainda deverão ser pagos à distribuidora local – estima-se uma média de 980 reais mensais.

No entanto, dependendo do mês e do nível de irradiação local, alguns meses ficariam praticamente zerados e em outros, seria injetado mais energia que a consumida, gerando créditos.

Logo, o referido estudo possibilitou compreender as diversas tecnologias e oportunidades no setor de energia solar. Sendo, contudo, possível e necessário utilizar novas fontes de energia elétrica, a fim de se estabelecer uma consciência sustentável na população, estimular a eletrificação de frotas urbanas, diversificar a matriz elétrica brasileira e promover a saúde ambiental.

Por fim, entende-se que o referido estudo serve de base para um estudo futuro, devendo ser aprimorado e detalhado para atender com maior exatidão os requisitos técnicos necessários e proporcionar um resultado ainda mais atrativo para tal investimento.

## REFERÊNCIAS

ABINEE. **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira.** Disponível em: http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf. Acesso em: 07 dez. 2020.

ALVES, Dennys Lopes. **Geração solar fotovoltaica**: conceitos básicos. Disponível em: https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energia-solar-fv/apostila_geracao_solar_fv_0.9.1. Acesso em: 14 dez. 2020.

ANEEL. **Micro e minigeração distribuída**: sistema de compensação de energia elétrica. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2016. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161. Acesso em: 21 fev. 2020.

ANEEL. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/prodist. Acesso em: 28 mar. 2020.

ANEEL. **Geração distribuída**. Setembro de 2015. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida. Acesso em: 28 de março de 2020.

ANEEL. **Resolução homologatória nº 1.858, de 27 de fevereiro de 2015**. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/007/resultado/reh20151858.pdf. Acesso em: 08 maio 2020.

ANEEL libera a operação comercial de 2 mil MW até março de 2020. Abril de 2020. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/.

Acesso em: 15 maio 2020.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica no Brasil.** Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf . Acesso em: 30 maio 2020.

ANEEL. **Atlas energia solar no Brasil**. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf . Acesso em: 15 jun. 2020.

ANEEL. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST, Módulo 3 – Acesso ao sistema de distribuição**. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/modulo3_revisao_5.pdf. Acesso em: 22 maio 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Energia**. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009030954.pdf. Acesso em: 08 jun. 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Brasil mantém a maior proporção de renováveis dentre os BRICS**. Janeiro 2018. Disponível em: http://www.mme.gov.br/. Acesso em: 04 jun. 2020.

CEPEL. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf/. Acesso em :17 maio 2020.

CRESESB. Tutorial de energia solar fotovoltaico, módulos fotovoltaicos. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=331. Acesso em: 17 maio 2020.

CRESESB. **Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio de Salvo Brito**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/. Acesso em: 05 jun. 2020.

CRESESB-CEPEL. **SunData**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&. Acesso em: 02 jun. 2020.

CRESESB-CEPEL. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Agosto 2004. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf. Acesso em: 02 jun. 2020.

EPE. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**. Disponível em: http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf. Acesso em: 17 abr. 2020.

GRUBB, M. J; MEYER, N. I. Wind energy: resources, systems and regional strategies. *In*: JO-HANSSON, T. B. *et al*. **Renewableenergy**: sources for fuelsandelectricity. Washington, D.C.: Island Press, 1993.

INGECON SUN. **Power TL datasheet**. Disponível em: http://www.ingeteam.it/userfiles/allegati/ingecon_sun_power_tl_datasheet__en_1431589151.pdf. Acesso em: 12 jun. 2020.

INGECON SUN. **StringControldatasheet.** Disponível em: http://www.ingeteam.it/userfiles/allegati/ingecon_sun_stringcontrol_160320_datasheet__en_1431589493.pdf. Acesso em: 12 jun. 2020.

LETRAS AMBIENTAIS. **Eólicas crescem 15%, mesmo com encolhimento da economia**. Setembro de 2019. Disponível em: <https://letrasambientais.org.br/posts/eolicas-crescem-

-15,-mesmo-com-encolhimento-da-economia. Acesso em: 17 abr. 2020.

LETRAS AMBIENTAIS. **Nordeste gera 85% da energia eólica do Brasil**. Agosto 2018. Disponível em: https://letrasambientais.org.br/posts/nordeste-gera-85-da-energia-eolica-do-brasil. Acesso em: 04 jun. 2020

NASCIMENTO, C. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica.** Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004. Disponível em: https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energia-solar-fv/apostila_geracao_solar_fv_0.9.1/view. Acesso em: 01 jun. 2020.

NASA. Energy Budget. **Climate Science**. Disponível em: http://climateilluminated.com/climate/climate_science/19_orig_NASA_Energy_budget.html. Acesso em: 04 jun. 2020.

SOLARGIS. **World mapof global horizontal irradiation**. Disponível em: http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-World-map-en.png. Acesso em: 01 jun. 2020.

SOLARTERRA. **Energia solar fotovoltaica**: guia prático. Disponível em: https://permacoletivo.files.wordpress.com/2008/05/curso-energia-solar-fotovoltaica.pdf. Acesso em: 12 jun. 2020.

TIBA, Chigueruet al. **Atlas solarimétrico do Brasil**: banco de dados solarimétricos Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.

TIMANE, Hermenegildo Augusto. Princípio de funcionamento do sistema fotovoltaico ligado à rede pública. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao--do-painel-solar.html. Acesso em: 04 jun. 2020

# ENGENHARIA MECÂNICA

# ESTUDO DO USO BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR COMO REVESTIMENTO ACÚSTICO

## STUDY ON THE USE OF SUGAR CANE BAGASSE AS ACOUSTIC COATING STUDY ON THE USE OF SUGAR CANE BAGASSE AS ACOUSTIC COATING

Fabrício Landim Carvalho[1]
Gustavo Guedes Gomes[1]
Jonas Meireles da Silva[1]
Thiago da Silva Pereira[1]
Tiago Brandão Costa[2]
Cíntia Corrêa de Souza[3]
Dener Martins dos Santos[4]

**RESUMO:** Este trabalho apresenta um estudo da possibilidade tecnológica do emprego do resíduo sólido biodegradável do bagaço da cana de açúcar para se fabricar placas para vedação acústica. Os objetivos desse trabalho foram avaliar tanto as características físico químicas quanto as propriedades mecânicas desse resíduo sólido e, assim, poder planejar o perfil de aplicação. A metodologia utilizada foi a realização de experimentos para caracterização das propriedades da cana de açúcar e na sequência, se realizar testes preliminares para se quantificar os possíveis traços suficientes e necessários para se produzir placas de revestimento acústico. Os resultados obtidos indicaram que devido a estrutura morfológica do bagaço da cana de açúcar não a credenciaram para os fins desejados. Uma vez que suas fibras terem elevada afinidade pela água o que permitiu mesmo em pequenas adições uma drástica redução das propriedades mecânicas e a proliferação de fungos.

1 Discente do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), do Projeto de Iniciação Científica no NUPIDE, 2020.

2 Docente Doutor do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM)

3 Docente Especialista do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

4 Docente Doutor do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM) e Professor Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

**Palavras-chave:** Cana de açúcar. Resíduos sólidos. Revestimento acústico.

**ABSTRACT:** This work presents study of the technological possibility of using biodegradable solid residue from sugar cane bagasse to manufacture plates for acoustic sealing. The objectives of this work were to evaluate both the physical chemical characteristics and the mechanical properties of this solid waste and, thus, to be able to plan the application profile. The methodology used was to carry out experiments to characterize the properties of sugar cane and then, to carry out preliminary tests to quantify the possible sufficient and necessary traces to produce acoustic coating plates. The results obtained indicated that due to the morphological structure of the sugarcane bagasse, they did not accredit it for the desired purposes. Once its fibers have a high affinity for water which allowed even in small additions a drastic reduction in mechanical properties and the proliferation of fungi.

**Keywords:** Sugar cane. Solid waste. Acoustic coating.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente todos os seres humanos buscam cada vez mais, melhores condições de vida e bem-estar. A busca por produtos alternativos, menos poluentes e mais saudáveis se tornaram a tônica da vida moderna. Nesse espectro se encontra cada vez mais alicerçada na vida das pessoas a necessidade por produtos recicláveis. Os conceitos e aplicações de sustentabilidade se multiplicam nas mais diferentes vertentes, para propiciar para o homem contemporâneo uma vida ecologicamente correta e menos estressante.

Múltiplas pesquisas afloram na intenção de se reaproveitar os resíduos sólidos biodegradáveis em diferentes aplicações que possam gerar produtos e serviços que satisfaçam as necessidades ora observadas. Seguindo essa vertente social se

situa readequação e a reutilização de resíduos sólidos biodegradáveis que podem ser transformados em novos produtos em diversas aplicações. Dentre essa gama de possibilidade se situa o reaproveitamento do resíduo sólido produzido pela após o beneficiamento da cana de açúcar. Trata–se de um resíduo muito empregado na produção de adubo orgânico, contudo, o credencia também para outras investigações científicas.

A poluição sonora é um dos grandes entraves para uma vida tranquila, independentemente seja na lida da atividade profissional laboral seja nos momentos que a pessoa se encontra em seu lar. Uma pessoa exposta ao excesso de ruído rotineiramente a abala em todos os sentidos: saúde, comportamento entre outros. Diante dessa perspectiva esse trabalho realiza um estudo científico da possibilidade do emprego do resíduo sólido produzido pela cana de açúcar como aditivo à elaboração de placas para serem utilizadas como revestimento acústico.

### 1.1 OBJETIVO

Esta pesquisa visa estudar métodos e técnicas para tratar o resíduo descartado pós-moagem da cana de açúcar, para que desta forma se busque meios de aplicação do produto tratado para criar produtos intercambiáveis, ou seja, de aplicação semelhante e qualidade relativa a outros já existentes, assim reduzindo o descarte desnecessário de insumos, provando que sua reciclagem é viável como revestimento acústico.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A cana de açúcar é uma planta originaria da ilha de Nova Guiné, tendo sido apresentada ao resto do mundo através da migração dos seres humanos, tendo chegado ao Brasil por volta do século XVI, e se tornou um dos principais cultivos no território nacional.

No ano de 2010 a produção mundial de cana foi registrada em torno de 1700 milhões de toneladas. O Brasil por sua vez contribuiu nesta produção com 719 milhões de toneladas; que correspondeu a 40%. Um dos principais fatores que influenciaram

diretamente nesse alto índice de produtividade foram os recursos hídricos disponíveis nos maiores produtores. (ABREU; MORAES; NASCIMENTO, 2011). A figura 1 mostra uma vista de um canavial situado no Estado de São Paulo.

Figura 1: Canavial localizado no estado de São Paulo



Fonte: Infoescola (2019).

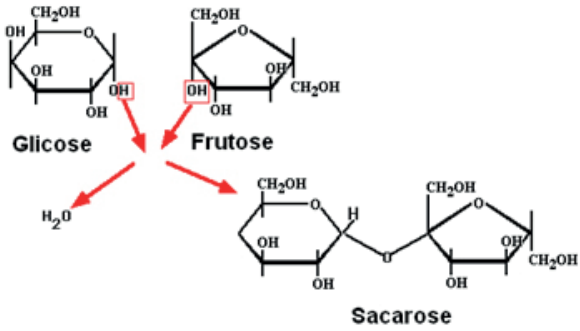
Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a safra de 2017/2018 da produção de cana no Brasil sofreu uma baixa de 3,6% se comparada à anterior, que foi de 633,26 milhões de toneladas. Um dos principais fatores que levaram a essa redução, foi a diminuição da área de cultivo em 3,5% em relação ao ano anterior. (Observatório Agrícola; V.4 – SAFRA 2017/18 N.1). Essa importante planta é amplamente utilizada na produção de combustíveis não fósseis e de açúcar, sendo utilizada quase toda a produção mundial para esses fins.

O bagaço desse insumo é altamente utilizado como combustível para usinas. Quando queimado se torna a principal fonte de energia para a produção de álcool e açúcar. Essa operação de queima prejudica o meio ambiente por meio de cinzas e fuligem geradas pelo processo. O bagaço da cana de açúcar também é utilizado na fabricação de adubo para a agricultura.

Sob o aspecto estrutural os colmos são constituídos de caldo e sólidos insolúveis em água, dando origem à primeira fórmula

básica da tecnologia açucareira (cana = sólidos insolúveis + caldo). Os sólidos insolúveis em água são representados pela fibra da cana. O caldo contém água, ou seja, a umidade da cana, e os sólidos solúveis totais, que correspondem aos açúcares e não açúcares. Os sólidos solúveis são classificados em açúcares, sendo esses a sacarose, a glicose e a frutose, compostos orgânicos e materiais inorgânicos. De forma quantitativa, a composição média do caldo de cana de açúcar, corresponde a 71,1% de umidade, 10,9% de fibra, 15,5% de sacarose, 2% de não açúcares, e 0,5% dos açúcares glicose mais frutose (MENEZES, 2012). A figura 2 apresenta a formulação da síntese da formação da sacarose.

Figura 2: Síntese da formação da sacarose.




Fonte: Mundoescola (2019).

O principal componente da cana é a água. A medida dos sólidos solúveis é denominada Brix. Esta, sob condições normais, pode chegar a 78% do peso dos colmos no início do desenvolvimento vegetativo, decrescendo para cerca de 68% quando a cana atinge seu ponto máximo de maturação. A cana pode apresentar altos teores de sacarose, atingindo até 17,5%. (FERNANDES, 2003).

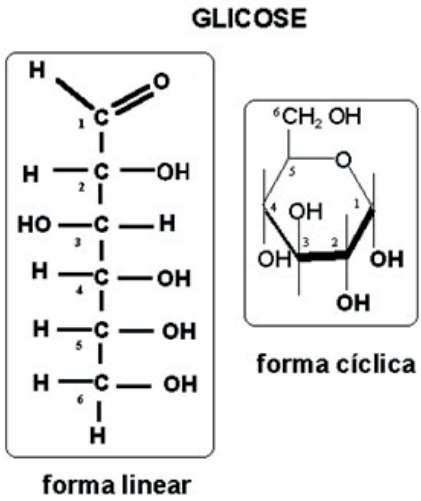
# 3 MATERIAIS E MÉTODOS

## 3.1 MATERIAIS

Uma vez que a pesquisa proposta foi desenvolvida com resíduo sólido orgânico oriundo da moagem da cana de açúcar, o mesmo foi de fácil aquisição, por ser tratar de um material que seria naturalmente descartado pelos lojistas e feirantes em feiras públicas que comercializam a venda de garapa (caldo de cana). Mediante tal fato, a aquisição deste resíduo sólido orgânico não se consistiu em um obstáculo ao desenvolvimento da pesquisa proposta. O bagaço após ser coletado foi considerado como matéria prima em estado bruto para esta pesquisa ora em desenvolvimento.

Cabe ressaltar que a facilidade de aquisição do resíduo também se refletiu na facilidade observada desse resíduo sólido se oxidar espontaneamente muito rápida, a temperatura ambiente, promovendo a perda excessiva de material, devido a rápida proliferação de fungos por se tratar de um meio propício de cultura para esses parasitas. Essa oxidação (fermentação) do bagaço por conta dos açúcares remanescentes no mesmo. Na prática esta fermentação foi observada também através do olfato (principalmente pela percepção do odor exalado) e pela coloração enegrecida do bagaço. Isso fez com que grande quantidade desse bagaço não fosse utilizado na pesquisa. A figura 3 apresenta o arranjo estrutural da molécula de glicose.

Figura 3: Arranjo Estrutural da molécula de glicose.




Fonte: Brasil Escola.

Cabe ressaltar, que neste trabalho não se considerou s diferentes tipos de cana existentes, uma vez que o foco consistiu no bagaço. Portanto essa variável não foi considerada ser significativa para o desenvolvimento dessa pesquisa científica

## 3.2 MÉTODOS

Para verificar a quantidade de perda de suco presente na cana, foram feitas medições antes e depois da moenda, esses dados foram compilados e processados conforme a tabela 1:

Tabela1: Relação de Perda de Massa Pré e Pós Moagem

| Amostra | Cana pré Moa-gem(g) | Cana pós Moa-gem(g) | Perda de Liquido(g) | Porcen-tagem de Desidrata-ção % |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1113 | 674 | 439 | 39,44 |
| 2 | 1536 | 921 | 615 | 40,04 |
| 3 | 1455 | 918 | 537 | 36,91 |
| | | **Média** | 530,33 | 38,80 |
| | | **Desvio–Padrão** | 88,19 | 1,66 |

Fonte: Autores

A partir desse estudo se verificou que a cana-de-açúcar possuiu uma perda média de 38,80% em sua massa total após ser submetida ao processo de moagem. Este valor foi considerado padrão independentemente do tipo de cana empregada nesse trabalho.

Um cuidado que foi tomado na preparação e tratamento do bagaço, consistiu em não se realizar a secagem desse material em estado bruto em fornos mufla para remoção de umidade, sem primeiramente realizar os procedimentos de lavagem. Esse cuidado se deveu ao fato de haver açúcares residuais em estado bruto no resíduo orgânico sólido, o que ocasionaria o processo de caramelização tanto do bagaço quanto na cristalização de impurezas no forno mufla resultando em uma contaminação de difícil remoção.

O bagaço da cana de açúcar antes de se iniciar o seu respectivo processamento, este foi cortado e desfiado em fibras com aproximadamente 30 cm de comprimento. Este procedimento foi adotado para se facilitar o processo de lavagem das fibras e a respectiva secagem no forno mufla. A figura 4 mostra as

fibras do bagaço da cana de açúcar antes de se realizar a operação de lavagem.

Figura 4: Fibras oriundas do processo de desfiar o bagaço da cana de açúcar e cortadas antes da operação de lavagem.



Fonte: Autores.

### 3.2.1 Método de Lavagem

A seguir é descrita as etapas adotadas para a realização da lavagem das fibras da cana de açúcar:

- Separar uma amostra e colocar de molho no primeiro tanque por 30 minutos;
- Ao final dos 30 minutos aos poucos passar a amostra para o segundo tanque;
- Ao passar para o segundo tanque deve se lavar a amostra embaixo da torneira e retirar partes mais duras como a casca ou partes danificadas, que possuam coloração escura;
- No terceiro tanque a amostra deve ser colocada de molho novamente e aos poucos trabalhar o produto de modo a reduzir o tamanho das fibras;

• Após as fibras serem lavadas deverão ser torcidas em dois panos limpos e secos, para retirar o excesso de água.

A figura 5 mostra as fibras após a realização do processo de lavagem.

Figura 5: Característica das fibras de cana de açúcar após o processo de lavagem.



Fonte: Autores.

### 3.2.2 Processo de Secagem

As amostras foram pesadas para se calcular a quantidade de perda de água; segue abaixo o método de secagem:

• Tarar a balança de precisão;

• Fazer a medição da massa da amostra;

• Levar ao forno pré-aquecido a 200°C com uma margem de erro de ±10°C;

• O tempo estabelecido para cada amostra foi de 10 minutos;

• Tarar a balança novamente;

• Retirar as fibras secas do forno, e medir a massa novamente.

A figura 6 mostra as fibras da cana de açúcar após a secagem no forno mufla.

Figura 6: Fibras da cana de açúcar após a operação de secagem no forno mufla.



Fonte: Autores.

### 3.2.3 Caracterização do Resíduo Sólido Orgânico

A partir dos dados descritos na tabela 1 e dos procedimentos descritos nos itens 3.2.1 e 3.2.2, pôde–se mapear a perda de líquido do bagaço da cana de açúcar. Os resultados encontrados são descritos na tabela 2.

Tabela 2: Relação de perda de massa

| Tabela 2 - Relação de perda de massa | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Amostra** | **Massa úmida(g)** | **Massa Seca(g)** | **Perda de Liquido(g)** | **Porcentagem de desidratação %** |
| **1** | 40,33 | 17,88 | 22,45 | 55,67 |
| **2** | 67,43 | 48,06 | 19,37 | 28,73 |
| **3** | 68,75 | 52,14 | 16,61 | 24,16 |
| **4** | 77,73 | 57,48 | 20,25 | 26,05 |
| **5** | 82,95 | 61,66 | 21,29 | 25,67 |
| **6** | 86,44 | 57,97 | 28,47 | 32,94 |
| **7** | 78,94 | 58,53 | 20,41 | 25,86 |
| **8** | 95,78 | 65,28 | 30,50 | 31,84 |
| **9** | 44,24 | 23,26 | 20,98 | 47,42 |
| **10** | 44,45 | 24,21 | 20,24 | 45,53 |
| | | **Média** | 22,057 | 34,39 |
| | | **Desvio - padrão** | 4,22 | 11,11 |

Fonte: Autores.

Baseado nos resultados encontrados na tabela 2 foi observado que a subtração de líquido ocorrida no bagaço após ser levado ao forno foi proporcional, pois a cana perdeu a mesma quantidade de água independente da massa de material bruto, quando em condições similares.

### 3.2.4 Propriedades Físicas

O material já tratado conforme citado anteriormente foi colocado em caixas organizadoras feitas de material polimérico, e tampado não propiciar acesso à umidade do ambiente exterior ao recipiente. Após aproximadamente três semanas em repouso foi verificado que o bagaço já tratado estava em estado de umidade novamente, e visualmente as paredes da caixa organizadora estavam com partículas de água condensada em seu interior. A figura 7 ilustra claramente o efeito descrito após o processo de secagem das fibras do bagaço da cana de açúcar. Na bandeja à esquerda na figura 7 é mostrado o bagaço de cana de açúcar que após o processo de secagem fora acondicionado em caixa organizadora. Nesta mesma figura à direita é mostrado a fibras logo após o processo de secagem em forno mulfla. Mediante tal fato, constatou-se a elevada afinidade das fibras orgânicas do bagaço da cana de açúcar pela água, mesmo essa estando na forma como a própria umidade relativa do ar.

Figura 7: Comparação do grau de afinidade das fibras orgânicas do bagaço da cana de açúcar pela umidade relativa do ar.



Fonte: Autores.

Quando comparadas os resultados descritos nas tabelas 1 e 2, verificou-se que a porcentagem de absorção e perda de liquido foram diretamente proporcionais. Tal análise mostrou que a média de perda de líquido em porcentagem descrito na tabela1 foi de 38,80% e a da tabela 2 de 34,39%. Assim, pôde-se observar que este insumo possui a insigne propriedade mecânica de permeabilidade. Portanto a diferença de 4% observada entre tais análises realizadas, deveram-se as partículas sólidas de açúcares residuais contidos no suco. Se estes 4% não fossem considerados, a partir de uma análise etérea, se observou que a mesma quantidade de água removida do bagaço, pela submissão ao processo de secagem, essa foi prontamente reabsorvida pela própria umidade relativa do ar pelo mesmo.

### 3.2.5 Moagem das Fibras Secas

A partir das fibras lavadas e secas do bagaço da cana de açúcar se realizou o processo de moagem das mesmas. Esse procedimento teve como objetivo uniformizar a granulometria

deste material a ser utilizado como aditivo no preparo das placas de isolamento acústico. Após o bagaço passar por um triturador, o material foi passado por um sistema de peneiramento para se caracterizar a sua granulometria. Ao se considerar uma batelada constituída por aproximadamente 320g de bagaço de cana de açúcar seco, chegou ao seguinte resultado:

Peneira < 425 µm = 4,03%

Peneira < 600 µm = 3,08%

Peneira > 6,3mm = 90,71%

Material não aproveitável = 2,18%

## 4 TESTES PRELIMINARES

A estratégia adotada foi, primeiramente, encontrar uma adição ideal do bagaço triturado em um traço que não comprometesse as características físicas do futuro revestimento. Cabe ressaltar que bagaço da cana de açúcar possui densidade de 100kg/m$^3$ (SILVA e MORAIS, 2008). Este dado faz com que um grande volume desse material perfaz uma pequena massa.

O primeiro teste realizado foi o de elaborar uma cola orgânica que contivesse o bagaço de cana de açúcar moído a granulometria superior a 6,3mm. Este procedimento foi realizado para se averiguar a proeminência desse bagaço aderido quando fosse utilizado como aditivo no preparo do revestimento acústico. Tal procedimento teve como finalidade analisar a respectiva aderência do bagaço em um traço, para que não houvesse o espontâneo desprendimento dele no futuro revestimento. A tabela 3 apresenta de cada elemento usado na composição da cola orgânica. A figura 8 mostra a cola orgânica produzida. Os componentes foram colocados em recipiente e aquecidos a temperatura de 120$^o$C em constante agitação para garantir homogeneidade do produto durante o cozimento da cola. A mistura foi levada ao fogo pelo tempo de 40 minutos e gerou aproximadamente 1200 ml de cola.

Tabela 2: Relação de Materiais orgânica.

| **Relação de materiais da cola Biológica** | |
|---|---|
| **Ingrediente** | **Quantidade** |
| Água | 700g |
| Farinha de Trigo | 700g |
| Vinagre | 30ml |

Fonte: Autores.

Figura 8: Vista da cola orgânica produzida.



Fonte: Autores.

A produção da placa de isolamento acústico foi pensada de modo que a ela não impactasse no meio ambiente. Esse foi o principal motivo de se utilizar como liga para a placa uma cola

biológica a base de água, para que eventualmente ao ocorrer o descarte desse material, este não criaria danos ambientais.

### 4.1 Elaboração da Placa acústica

O processo de elaboração da placa acústica tendo por base o bagaço da cana de açúcar tiveram os seguintes passos:

- Em um béquer foi misturado 1200mL de cola e 25mL de cal (a cal foi utilizada como catalisador), e 840g de bagaço de cana triturado;
- Foi colocado 600mL de cola biológica em uma forma de 20cm x 20cm;
- Foram colocadas sobre a cola fibras de cana com tamanho aproximado de 18cm cada uma (dessa forma foi criada uma malha de bagaço sobre a cola já presente na forma;
- No espaço subsequente foi depositada a quantidade remanescente de cola;
- O material foi deixado em local arejado e com pouca umidade relativa do ar, fechado em laboratório isolado de intempéries externas.

O molde no qual se produziu a placa foi uma forma de silicone de 0,4m x 0,4m. Apenas se utilizou 0,15m de altura ao espalhar o composto na forma. Esse procedimento foi adotado para que a mesma tivesse espessura compatível com aquelas que são normalmente encontradas no mercado. Cabe ressaltar que as placas acústicas atualmente comercializáveis, não possuem em sua composição fibras da cana de açúcar. A figura 9 mostra a aparência do material preparado para se confeccionar a placa

Figura 9: Material acústico distribuído no molde.



Fonte: Autores.

## 4.2 Análise do Resultado

O material no molde foi colocado em uma bancada para secar naturalmente dentro do laboratório. Após decorridos mais de 48 horas da moldagem do material no molde se observou que o mesmo não apresentou consistência, ou seja, não houve endurecimento da placa e por conseguinte sem mínima resistência mecânica esperada. Outra característica visualmente observada foi a não diminuição da umidade do composto preparado no molde. Esse resultado corroborou com o descrito nas tabelas 1 e 2 e no item 3.2.4 pela elevada afinidade das fibras orgânicas do bagaço da cana de açúcar pela água. Mesmo utilizando um catalisador para acelerar o processo de cura da placa, este se mostrou ineficaz na preparação dessa placa para isolamento acústico. Além das moléculas se acumularem nas fibras da cana de açúcar que agiu como uma esponja, estas impediram a ação do catalisador, e agiram como porta de entrada para se iniciar o processo de formação de pontos de fermentação e proliferação de fungos. Essa característica foi percebida olfativamente, devido o odor exalado pela placa. Similar, mas com menor intensidade daquela fermentação observada no início da pesquisa proposta.

Mediante tal constatação, se concluiu que o uso das fibras de cana de açúcar para o processo proposto não se adequou a metodologia utilizada nesta pesquisa. Outros sim, novas pesquisas merecem ser utilizadas e o emprego conjuntamente com outros compostos podem e devem ser pesquisados para se chegar a um produto biodegradável, contudo menos susceptível a ataque de micro-organismos que possam prejudicar tanto a qualidade do produto a que se destina quanto que mantenha as propriedades mecânicas esperadas e desejadas.

## 5 CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que o bagaço de cana de açúcar possui diversas propriedades mecânicas, o qual pode gerar novos produtos com diferentes características físico-químicas. O material que foi levado ao forno pré-aquecido a 200ºC por 10 minutos e através de uma observação empírica constatou-se que após o aquecimento a temperatura das fibras já estava adequada ao ambiente. Porém, outra propriedade observada no processo de lavagem, foi que o bagaço absorve grande quantidade de líquido, o que retarda o processo de secagem natural, que pode acarretar em perda do material por existência de mofo e outros organismos.

Dessa forma após a realização de procedimentos através do método científico foi constatado que a fibra da cana de açúcar possui propriedades que a impedem de criar liga com a cola e propiciar que esta seque e se torne sólida, visto que o bagaço absorve a água da cola e a mantém úmida mesmo após vários dias. Assim foi observado que não é possível se criar uma placa de isolamento acústico utilizando uma cola biodegradável a base de água, pois esta é impedida de secar pela própria cana de açúcar.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Dirce; MORAES, Luiz A.; NASCIMENTO, Edinalva N. et. al. A Produção de Cana-de-açúcar no Brasil e a Saúde do Trabalhador Rural. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, v.9, m.2, 2011, p. 49-61.

BRASIL, Yara. Produção mundial de cana-de-açúcar. **Yara Brasil**, 30 out. 2020. Disponível em: https://www.yarabrasil.com.br/nutricao-de-plantas/cana-de-acucar/producao-mundial-de-cana/. Acesso em: 07 ago. 2020.

CONHEÇA a vinhaça de cana de açúcar e sua aplicação na agricultura. Pensamento Verde, 27 maio 2014. Disponível em: https://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/conheca-vinhaca-de-cana-de-acucar-e-sua-aplicacao-na-agricultura/. Acesso em: 07 ago. 2019.

CANA-DE-AÇÚCAR — Tudo sobre esta versátil planta. NovaCana.com. Disponível em: https://www.novacana.com/cana-de-acucar. Acesso em: 07 ago. 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Observatório Agrícola; v.5 – SAFRA 2018/19 N.4. Quarto levantamento; abril 2019. ISSN: 2318-7921.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Observatório Agrícola; v.4 – SAFRA 2017/18 N.1. Primeiro levantamento; abril 2017. ISSN: 2318-7921.

FERNANDES, A. C. **Cálculo na agroindústria da cana de açúcar**. 2. ed. Piracicaba. STAB, 2003.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Glicose. **Brasil Escola.** Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/quimica/glicose.

htm. Acesso em: 25 ago. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais [e] Coordenação de Geografia. Estudos & Pesquisas. Informação Geográfica. Rio de Janeiro: IBGE, 2008. 479p.

MENEZES, João A. S. **Aspectos físicos e químicos do caldo de cana de açúcar que afetam a capacidade fermentativa das células de levedura**. Dissertação. UFPE, Recife, 2012.

PEDUZZI, Pedro. Conab: produção de cana-de-açúcar diminui 3,6%. **Agência Brasil**, 24 abr. 2018. Disponível em: http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-04/conab-producao-de-cana-de-acucar-diminui-36. Acesso em: 07 ago. 2019.

PROPRIEDADES físicas da matéria. **UENF**. Disponível em: http://ead.uenf.br/moodle/mod/page/view.php?id=791. Acesso em: 24 ago. 2019.

PRODUÇÃO Rural em São José do Rio Preto e região, SP. OLX. Disponível em: https://sp.olx.com.br/regiao-de-sao-jose-do-rio-preto/agro-e-industria/producao-rural Acesso em: 25 ago. 2019.

SANTOS, Roberto Valadares *et al* . Composição química da cana-de-açucar (Saccharum SPP.) E das silagens com diferentes aditivos em duas idades de corte. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1184-1189, dez. 2006. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000600022. Disponível em: from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542006000600022&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 27 jul. 2020.

SILVA, Marcelo B.; MORAIS, Anderson S. Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. In: ENEGEP - XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, 2008. Anais, p. 1 – 9.

# PROJETO DE UM SISTEMA HIDRÁULICO PARA UM LAMINADOR DE ENCRUAMENTO DE UMA LINHA DE ZINCAGEM

## PROJECT FOR A HYDRAULIC SYSTEM OF SKIN-PASS MILL IN A GALVANIZING LINE

Nuno Miguel de Matos Torre[1]
Vinicius Gomes e Silva[2]
Tiago Brandão Costa[3]
Fernando da Silva Santos[4]

**RESUMO:** O processo de zincagem por imersão é quente é um dos mais usados na indústria para proteger o aço contra a corrosão atmosférica. Tem grande aplicabilidade, desde a fabricação de telhas, tubos, até chapas para estampagem automobilística e peças estruturais para a indústria civil. O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema hidráulico para um laminador de encruamento, com a finalidade de melhorar o seu desempenho operacional e minimizar os gastos com energia. Para a especificação do sistema hidráulico, considerou-se as vazões necessárias para a operação de todos os cilindros hidráulicos, disponibilizando-as em três organogramas de funcionamento. Optou-se pelo maior consumo de vazão para a elaboração do projeto. No cálculo efetuado para o sistema de potência considerou-se uma pressão máxima de 210 kgf/cm2, para uma vazão de 419 l/min, sendo consideradas bombas de deslocamento positivo com 250 cm³ para 1800 rotações por minuto. Para a especificação do motor elétrico

1 Engenheiro Mecânico. Especialista em Manutenção. Companhia Siderúrgica Nacional, RJ. E-mail: nuno_torre@hotmail.com

2 Discente egresso do Curso de Engenharia Mecânica. Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: vinicius.gs1997@hotmail.com.

3 Docente Doutor do Curso de Engenharia Mecânica / Núcleo de Pesquisa inovação e Difusão das Engenharias. Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: tiago.brandao@ubm.br.

4 Docente Mestre do Curso Engenharia Mecânica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: fernando.santos@ubm.br.

considerou-se um rendimento de 80%, resultando num motor de 175 kW. Os resultados possibilitaram a escolha da bomba e do motor através dos catálogos dos fabricantes. Verificou-se que sistemas hidráulicos projetados com bombas de deslocamento positivo variável, possuem baixo consumo de energia, com maior confiabilidade operacional, além de reduzir gastos com manutenções e inspeções. A diagnose das varáveis de processo via PLC nos possibilita a visualização remota, indústria 4.0.

**Palavras-chave:** Zincagem. Laminador de Encruamento. Sistema Hidráulico.

**ABSTRACT:** Hot dip galvanizing line is one of the most effective and economical processes employed to protect steel against atmospheric corrosion. The product from these lines cover a wide variety of applications and markets, since fabrication of roofing tiles, tubes, even plates for automotive stamping and structural parts for civil industries.This work has a purpose of developing a temper mill hydraulic system in a galvanizing line, in order to improve their operational performance, decreasing consume of electrical energy, and have the possibility of been monitored through PLC. For the hydraulic system specification, flow rates for each operation of hydraulic cylinders were considered, making them available in three operating charts. The highest flow consumption, was assumed for the project specification. For the power unit system was stipulated the maximum pressure of 210 kgf/cm² and a flow rate of 419 l / min, considering positive displacement pumps with 250 cm³ for 1800 rpm. For the electric motor specification, an efficiency of 80% was considered, resulting in a 175 kW motor. The results enabled the specification of pump and electric motor through the manufacturers' catalogs. Noticed that hydraulic systems designed with positive variable displacement pumps, have lower energy consumption, with greater operational reliability, besides maintenance and inspection reduction costs.

**Keywords:** Galvanizing line. Skin-Pass Mill. Hydraulic System.

# 1 INTRODUÇÃO

O aço revestido com zinco, conhecido como aço galvanizado é um dos materiais mais comercializados, usado na indústria automotiva, construção naval, agrícola e mineração. Outra aplicação relevante é na indústria de energia elétrica, em estruturas de transmissão e distribuição de energia ( Rodger, Bartlett e Atrens 2017). Essa vasta aplicação é justificada pelo fato de o zinco possibilitar a proteção ao aço contra à corrosão, que é uma das questões mais desafiadores para a indústria de manufatura (SINHA; ANAND, 2020)

Uma linha de zincagem que opera com um laminador de encruamento, a torna diferenciada das demais, uma vez que consegue alcançar propriedades mecânicas na chapa zincada.

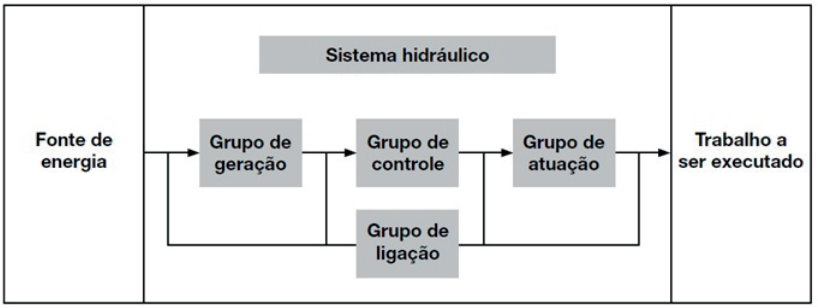
A operação do laminador de encruamento é efetuada através de blocos hidráulicos que provocam esforços mecânicos nos seus cilindros de trabalho, através da aplicação de uma pressão hidráulica variável. Assim, um sistema hidráulico de alta precisão se torna de supra importância. O presente trabalho tem como objetivo elaborar um estudo para o sistema hidráulico de um laminador de encruamento, com baixo custo de energia, possibilidade de diagnose via PLC e atendimento às normas vigentes - NR12 e NR13, considerando as seguintes premissas: unidade de potência, unidade de recirculação e filtragem, banco de acumuladores, banco de válvulas, e cilindros hidráulicos.

## 1.1 SISTEMA HIDRÁULICO DE UM LAMINADOR DE ENCRUAMENTO

O equipamento hidráulico é projetado de acordo com a norma técnica ISO-4413. As suas condições funcionais estão associadas a: geração, controle e aplicação de potência hidráulica. Um sistema hidráulico possui os seguintes componentes: fonte de energia (motor elétrico), grupo de geração (transforma potência mecânica em hidráulica, bombas hidráulicas), grupo de controle (comandos e válvulas), grupo de atuação (cilindros e motores) e grupo de ligação (conexões, tubos e mangueiras). Cada componente hidráulico está associado a um *TAG* de modo a

ser identificado no diagrama hidráulico. Na Figura 1 é ilustrado os conteúdos de um sistema hidráulico.

Figura 1 - Conteúdo de um sistema hidráulico.




Fonte: Tecnologia Hidráulica Industrial – catálogo Park.

A seguir são ressaltados os requisitos que foram levados em consideração na elaboração do presente projeto. Alto grau de confiabilidade operacional; Garantia da vida útil dos componentes; Grau mínimo de contaminação; Manutenção fácil, rápida e econômica; Baixo consumo de energia; elevado índice de segurança operacional; não agressividade ao meio ambiente.

Para a realização do projeto devem-se considerar os seguintes equipamentos: reservatório, bombas, válvulas, cilindros e motores. Seguidamente, um breve resumo sobre os equipamentos será apresentado.

### 1.1.1 Bombas

As bombas são como máquinas operatrizes que conferem energia ao fluido com a finalidade de transportá-lo por escoamento de um ponto para outro, obedecendo às condições do processo. A bomba é provavelmente o componente mais importante e menos compreendido no circuito hidráulico. Sua função é converter a energia mecânica em energia hidráulica, deslocando o fluido hidráulico no circuito. As bombas são feitas em vários tamanhos e formas, mecânicas e manuais, com diversos

mecanismos de bombeamento e para diversas aplicações. Todas as bombas, entretanto, são classificadas em uma de duas categorias básicas:

Turbobombas (bombas centrífugas ou deslocamento dinâmico) ou bombas volumétricas (deslocamento positivo). Cabe ressaltar que as bombas turbobombas não são utilizadas com frequência em projetos de sistemas hidráulicos. Diante disso o foco foi dado às bombas volumétricas. Essas bombas podem ser classificadas em bombas alternativas e bombas rotativas. Nas bombas volumétricas ou de deslocamento positivo, a saída do fluido é independe da pressão, com exceção de perdas e vazamentos, praticamente todas as bombas são necessárias para transmitir força hidráulica a um equipamento industrial, ou maquinaria de construção e em aviação, são do tipo hidrostático. Para um bom funcionamento deste equipamento, algumas considerações devem ser levadas em conta. Deve-se garantir: a velocidade correta do fluido; a pressão desejada; temperatura adequada; instalação do reservatório positivamente montado, ou seja, acima da linha de centro da bomba $NPSH_{Disponivel} > NPSH_{Requirido}$; evitar restrições na linha de sucção da bomba; efetuar o dimensionamento correto das tubulações e acessórios de sucção, levando em consideração a pressão e vazão máxima de trabalho do sistema (PARKER; HANNIFIN, 2001).

### 1.1.2 Acumuladores

Os acumuladores hidráulicos desempenham uma gama muito grande de funções no sistema, tais como: manter a pressão, desenvolver o fluxo e/ou absorver choques no sistema. Se a bomba num circuito hidráulico falha, o acumulador pode ser usado para manter a pressão do sistema, de modo a que o material que está sendo processado não seja danificado. Nesta aplicação, o volume do acumulador é muitas vezes usado para completar o ciclo da máquina. A pressão do gás (nitrogênio seco), que está presente no acumulador, é a sua pré-carga. Quanto maior a pré-carga, menor é a quantidade de líquido que o acumulador retém. Contudo, isto não significa que o volume útil é diminuído.

Para o projeto utilizou-se acumuladores do tipo bexiga, uma vez têm uma melhor velocidade de resposta. Os acumuladores de bexiga devem ser especificados de acordo com a norma ISO-5596 e são classificados como vasos de pressão, logo terão de atender à norma regulamentadora NR13, possuindo bloco de segurança, válvula de bloqueio e de drenagem individual. (BOSCH, 2013)

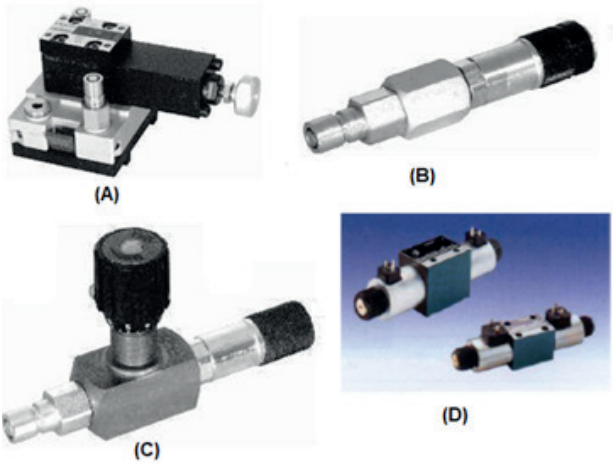
Os acumuladores devem ter a possibilidade de serem reparados pela parte superior retirada da bexiga - "*Top Repair*", de modo a facilitar o seu recondicionamento e levando a uma condição segura de manutenção.

### 1.1.3 Válvulas Controladoras

A pressão máxima do circuito hidráulico pode ser controlada com o uso de uma válvula limitadora de pressão normalmente fechada. Com a via primária da válvula conectada à pressão do sistema, e a via secundária conectada ao tanque, o carretel no corpo da válvula é acionado por um nível predeterminado de pressão, e neste ponto as vias primária e secundária são conectadas, e o fluxo é desviado para o atuador hidráulico. (COSTA JUNIOR, 2011). Uma válvula de retenção consiste basicamente no corpo da válvula, vias de entrada e saída, e um assento móvel que é preso por uma mola. (COSTA JUNIOR, 2011). As válvulas de retenção são aparentemente pequenas quando comparadas aos outros componentes hidráulicos, mas elas são componentes que servem às funções importantes e muito variadas. Já a válvula controladora de fluxo tem como finalidade reduzir a vazão em uma linha do circuito. Ela desempenha a sua função por ter uma restrição maior que a normal do sistema. Para vencer a restrição é necessária uma pressão maior provocando o desvio do fluxo para outra parte do circuito, ou promovendo a abertura da válvula limitadora de pressão deslocando o fluxo para o reservatório. São utilizadas quando se deseja controlar a velocidade em determinados atuadores (COSTA JUNIOR, 2011). Por fim, destaca-se as válvulas direcionais, são usadas para controlar a direção e sentido do fluxo do fluido em um circuito. Através desse controle, podem-se obter movi-

mentos desejados dos atuadores (cilindros, motores, osciladores hidráulicos, etc.), de tal forma que, seja possível efetuar o trabalho exigido. Para o projeto hidráulico selecionou-se válvulas controladoras, de modo a proporcionarem o mínimo de sobre pressão, operação suave sem choque, e menor perda de carga. (BOSCH, 2013). Na Figura 2 é apresentado os tipos de válvulas, (A) válvula limitadora de pressão, (B) válvula de retenção, (C) válvula controladora de fluxo e (D) válvulas direcionais.

Figura 2 - Tipos de válvulas, (A) válvula limitadora de pressão, (B) válvula de retenção, (C) válvula controladora de fluxo e (D) válvulas direcionais.




Fonte: (Bosch Rextoth 2013)

### 1.1.4 Cilindros Hidráulicos

Um atuador hidráulico é um dispositivo mecânico capaz de converter a energia hidráulica em energia mecânica, com o intuito de gerar movimento. O fluido hidráulico é a fonte principal de energia em um atuador hidráulico, o seu movimento pode ser controlado alterando a quantidade do fluido hidráulico no seu interior.

O mecanismo básico é a conversão da energia de um sistema. Um óleo hidráulico pressurizado, é um fluido que não pode

ser “ainda mais comprimido”. Quando uma extremidade recebe pressão, o fluido multiplica a pressão e é capaz de convertê-lo em um movimento mecânico. É por isso que eles são capazes de gerar grande força. As concepções mais comuns são os atuadores lineares não rotativos que consistem em pistão, cilindro, câmera de avanço e câmera de retorno. A maioria do processo deste mecanismo acontece dentro do cilindro, nele estão contidos o pistão e o fluido. Os cilindros hidráulicos são projetados e construídos de maneira a proporcionar o maior tempo médio entre falhas – MTBF, e têm as dimensões padronizadas de camisa e êmbolo conforme norma ISO-3320. Os cilindros hidráulicos são considerados a partir dos seguintes dados: Diâmetro do pistão; Diâmetro da haste; Comprimento do curso; Pressão de trabalho. (FOX; MCDONALD, [s.d])

### 1.1.5 Filtros

Para qualquer sistema hidráulico apenas é indicada a utilização de filtragem absoluta. Todo filtro absoluto deve indicar o seu índice beta para um grau de filtração definido. Este índice veio auxiliar no entendimento da eficiência de filtração de um elemento filtrante. A relação *Beta* é a razão entre quantidade de partículas antes e depois do filtro, iguais ou maiores do que a classificação da média do elemento, que dá-se pela equação 1:

$$\beta \times (c) = \frac{N° \ de \ partículas \ a \ montante \ x \ \mu m \ (c) \ ou \ maiores}{N° \ de \ partículas \ a \ jusante \ x \ \mu m \ (c) ou \ maiores} \ , \quad (1)$$

## 1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para ser efetuado o projeto do sistema hidráulico do laminador de encruamento foram determinados os seguintes cálculos: o cálculo da vazão necessária para o funcionamento do sistema hidráulico: Para este cálculo é necessário considerar todos os cilindros a serem utilizados no processo e a sua velocidade de atuação. Considerou-se três bancos de válvulas, Alta Pressão (ver Quadro 1), Média Pressão e Mesa Hidráulica, cada um com os seus cilindros correspondentes a cada funcionalidade.

Os dados do diâmetro da camisa, haste e o curso de cada cilindro são fundamentais para o cálculo da vazão. As equações utilizadas para a vazão necessária para o projeto, são apresentadas a seguir - Equações 2 a 8.

$$\text{Tempo total} = \frac{\text{curso}}{\text{velocidade}} \text{ [s], (2)}$$

$$\text{Vazão} = \frac{\text{volume total}}{\text{tempo}} \times 60 \text{ [l/min], (3)}$$

$$\text{Área maior} = \frac{\pi D^2}{4} \text{ [mm}^2\text{], (4)}$$

Onde D é o diâmetro maior (camisa do cilindro).

$$\text{Área menor} = \pi \times \frac{(D^2 - d^2)}{4} \text{ [mm}^2\text{], (5)}$$

Onde d é o diâmetro menor (haste do cilindro).

$$\text{volume maior} = \text{Curso} \times \text{área Maior} \text{ [mm}^3\text{], (6)}$$

$$\text{volume menor} = \text{Curso} \times \text{área Menor} \text{ [mm}^3\text{], (7)}$$

$$\text{volume total} = \text{volume Maior} \times \text{número de cilindros} \text{ [mm}^3\text{], (8)}$$

Quadro 1 – Cálculos nos cilindros do Bending –Banco de Válvulas Alta Pressão

| Cilindros do Bending | | |
|---|---|---|
| Diâmetro haste | 50 | mm |
| Diâmetro camisa | 120 | mm |
| Curso | 70 | mm |
| Velocidade | 17 | mm/s |
| Tempo total | 4,12 | s |
| Vazão | 92,29 | l/min |
| Vazão Necessária | 64,60 | l/min |
| Área Maior | 11309,73 | mm² |
| Área Menor | 9346,24 | mm² |
| Volume Maior | 791681,35 | mm³ |
| Volume Menor | 654236,67 | mm³ |

| n° cilindros | Volume Total - Maior | |
|---|---|---|
| 8 | 6333450,79 | mm³ |
| | 6,33 | litros |
| | Volume Total -Menor | |
| | 5233893,361 | mm³ |
| | 5,23 | litros |

Fonte: Autores

a) Cálculo da pressão necessária para o sistema hidráulico:

Para o cálculo das condições de força, estipulou-se valores de pressão entre 210kgf/cm² a 120kgf/cm², de modo a atender um range forças previamente estabelecido por um engenheiro de produção, que será disponibilizada através dos cilindros de trabalho do laminador. (HYDAC, 2013). O Quadro 2 indica a força aplicada através do laminador de encruamento na chapa zincada, de modo a poder providenciar as propriedades mecânicas predefinidas.

$$P = {}^{F}/_{A} \text{ [kgf / cm}^2\text{]}, \quad (8)$$

Onde P é a pressão, F a força, e A a área.

Quadro 2 – Diagrama de Forças

| Possiveis variações do sistema em relação a pressão | | |
|---|---|---|
| | | Unidade |
| Pressão 1 | 210 | Kgf/cm² |
| Pressão 2 | 200 | Kgf/cm² |
| Pressão 3 | 180 | Kgf/cm² |
| Pressão 4 | 170 | Kgf/cm² |
| Pressão 5 | 160 | Kgf/cm² |
| Pressão 6 | 150 | Kgf/cm² |
| Pressão 7 | 140 | Kgf/cm² |
| Pressão 8 | 130 | Kgf/cm² |
| Pressão 9 | 120 | Kgf/cm² |
| | | |
| Vazão Total | 302,76 | l/min. |

| Possiveis variações de carga - PushUp | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 cilindro | | 2 cilindros | Unidade | |
| F1 | 238,2 | *Ftotal* | 476 | T | |
| F2 | 226,8 | *Ftotal* | 454 | T | |
| F3 | 204,1 | *Ftotal* | 408 | T | |
| F4 | 192,8 | *Ftotal* | 386 | T | |
| F5 | 181,5 | *Ftotal* | 363 | T | |
| F6 | 170,1 | *Ftotal* | 340 | T | |
| F7 | 158,8 | *Ftotal* | 318 | T | |
| F8 | 147,4 | *Ftotal* | 295 | T | |
| F9 | 136,1 | *Ftotal* | 272 | T | |

| Possiveis variações de carga - Bending Positivo | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 cilindro | | 8 cilindros | Unidade |
| F1 | 23,7 | *Ftotal* | 190 | T |
| F2 | 22,6 | *Ftotal* | 181 | T |
| F3 | 20,4 | *Ftotal* | 163 | T |
| F4 | 19,2 | *Ftotal* | 154 | T |
| F5 | 18,1 | *Ftotal* | 145 | T |
| F6 | 17,0 | *Ftotal* | 136 | T |
| F7 | 15,8 | *Ftotal* | 127 | T |
| F8 | 14,7 | *Ftotal* | 118 | T |
| F9 | 13,6 | *Ftotal* | 109 | T |

| Possiveis variações de carga - Ballance Positivo | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 cilindro | | 4 cilindros | Unidade |
| F1 | 8,4 | *Ftotal* | 34 | T |
| F2 | 8,0 | *Ftotal* | 32 | T |
| F3 | 7,2 | *Ftotal* | 29 | T |
| F4 | 6,8 | *Ftotal* | 27 | T |
| F5 | 6,4 | *Ftotal* | 26 | T |
| F6 | 6,0 | *Ftotal* | 24 | T |
| F7 | 5,6 | *Ftotal* | 22 | T |
| F8 | 5,2 | *Ftotal* | 21 | T |
| F9 | 4,8 | *Ftotal* | 19 | T |

Fonte: Próprio autor

b) Reservatório hidráulico: O projeto do reservatório é realizado de modo a poder dissipar adequadamente o calor do fluido sob todas as condições de trabalho. É construído de forma a evitar a entrada de contaminantes - blindado. Sua capacidade se dá através do cálculo de 7 vezes a vazão da bomba (máxima do sistema).

c) Unidade de Potência: A especificação das bombas é efetuada através do range de vazão e pressão determinas anteriormente, sendo catalogadas. A unidade de potência possui dois conjuntos moto-bomba, sendo um para operação e outro para "*stand- by*".

As bombas especificadas são do tipo pistões axiais com compensador de pressão, com dreno externo e com rotâmetro – tipo turbina, com retenção para isolamento do retorno do fluido (Diagnose da condição operacional das bombas).

Cada bomba é montada no motor através de um acoplamento de ligação com janela de inspeção, permitindo a visualização do conjunto de acoplamento.

As válvulas de sucção das bombas principais possuem um sensor elétrico de modo a não permitir a partida da bomba com a válvula fechada.

Para determinar o modelo de Bomba a ser utilizado no projeto, considerou-se o coeficiente de 1,72 para uma rotação de 1800 r.p.m, e uma pressão máxima de 210 Kg/cm³. Previu-se filtros de pressão absolutos para o sistema - $\beta_6$>200, com indicação de sujidade elétrica e óptica. (HYDAC, 2013)

d) Unidade de Recirculação e Filtragem: Todo o sistema hidráulico gera calor e contaminação, assim se faz necessário existir uma unidade de recirculação e filtragem, onde iremos manter óleo fresco – temperatura entre 45 a 65 graus, e limpo – sem contaminantes. Para a unidade de recirculação e filtragem, o grau de filtração e o nível máximo de contaminação, devem ser compatíveis com os requisitos do componente hidráulico mais sensível do projeto – para este caso a servo-válvula, assim sendo o nível de contaminação exigido conforme norma ISO é: 16/14/11 – NAS 5. (HYDAC, 2013). Os filtros considerados para este sistema hidráulico são absolutos $\beta$ **3** $\geq$ 1000, tendo a indicação de sujidade elétrica e óptica, conforme norma ISO16889. Os conjuntos de filtros devem ser instalados em locais de fácil acesso e com espaço suficiente para a troca dos seus elementos filtrantes, sem que haja necessidade de desligar o sistema ou desmontar componentes e/ou tubulações adjacentes. O tempo de recirculação e filtragem deve ser efetuada entre ≥10 e ≤15 minutos, para a capacidade total do reservatório. Assim calcula-se a bomba necessária à aplicação,

neste caso considerou-se o coeficiente de 1,72 para uma rotação de 1800 r.p.m.

e) Banco de acumuladores hidráulicos: Posteriormente estipulou-se quantos acumuladores seriam necessários para suprir o sistema hidráulico. Os acumuladores compensam 30% da capacidade da vazão do sistema – em torno de 129 litros, para este projeto. Um acumulador de 100 litros dá em torno 30 litros,5 acumuladores dão cerca de 150 litros de compensação.

f) Tubulações: Especificou-se os diâmetros das tubulações de: sucção, recalque, retorno, alívio e dreno das bombas principais.

Para o bom funcionamento de um sistema hidráulico, as velocidades de fluxo através das tubulações hidráulicas terão que ser consideradas conforme: sucção de bombas: máxima velocidade de 1m/s; Demais tubulações: máxima velocidade de 4,5 m/s. Previu-se tomadas de pressão para os pontos principais do circuito tais como: entrada e saída de cilindros, entrada e saída de bombas, válvulas controladoras e blocos hidráulicos. (SCHNEIDER, [s.d]

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 ORGANOGRAMAS DO SISTEMA HIDRÁULICO

Ao se calcular a vazão necessária para cada cilindro, estipula-se um organograma de funcionamento hidráulico, de modo que, se consiga visualizar quantos cilindros operam ao mesmo tempo, definindo-se assim a vazão máxima de trabalho que é utilizada no sistema. Estipulou-se três organogramas de simultaneidade de operação dos cilindros hidráulicos, onde se verificou que a condição de maior utilização de vazão foi o quadro número 3.

Nos Quadros 3, 4 e 5 são mostrados os resultados considerando 3 Simulações de Vazão para o Sistema Hidráulico.

Quadro 3 – Simulação 1

| | |
|---|---|
| Laminador em operação | |
| Banco Alto | |
| Cilindro travamento do conjunto superior | 36,82 l/min |
| Cilindros do Bending | 64,60 l/min |
| Cilindros do Ballance | |
| Banco Media | |
| Cilindros do travamento dos cilindros de trabalho | 3,77 l/min |
| Cilindros do travamento dos cilindros de encosto | 5,89 l/min |
| Cilindros do carro do cilindro de encosto | Fora de Operação |
| Cilindros do carro do cilindro de trabalho | Fora de Operação |
| Cilindros do carro de troca rápida | Fora de Operação |
| Mesa | |
| Cilindro PUSH UP | 238,16 l/min |
| Total da vazão necessária | 349,24 l/min |

Fonte: Autores

Quadro 4 – Simulação 2

| | |
|---|---|
| Laminador em operação | |
| Banco Alto | |
| Cilindro travamento do conjunto superior | 36,82 l/min |
| Cilindros do Bending | Fora de Operação |
| Cilindros do Ballance | 18,17 l/min |
| Banco Media | |
| Cilindros do travamento dos cilindros de trabalho | 3,77 l/min |
| Cilindros do travamento dos cilindros de encosto | 5,89 l/min |
| Cilindros do carro do cilindro de encosto | Fora de Operação |
| Cilindros do carro do cilindro de trabalho | Fora de Operação |
| Cilindros do carro de troca rápida | Fora de Operação |
| Mesa | |
| Cilindro PUSH UP | 238,16 l/min |
| Total da vazão necessária | 302,81 l/min |

Fonte: Autores

Quadro 5 – Simulação 3

| | |
|---|---|
| Laminador em operação | |
| Banco Alto | |
| Cilindro travamento do conjunto superior | Fora de Operação |
| Cilindros do Bending | Fora de Operação |
| Cilindros do Ballance | Fora de Operação |
| Banco Media | |
| Cilindros do travamento dos cilindros de trabalho | Fora de Operação |
| Cilindros do travamento dos cilindros de encosto | Fora de Operação |
| Cilindros do carro do cilindro de encosto | 73,63 l/min |
| Cilindros do carro do cilindro de trabalho | 47,12 l/min |
| Cilindros do carro de troca rápida | 47,12 l/min |
| Mesa | |
| Cilindro PUSH UP | Fora de Operação |
| Total da vazão necessária | 167,87 l/min |

Fonte: Autores

Considerando as vazões necessárias, verifica-se que com o laminador em operação, utilizando os cilindros hidráulicos do "Bending", será necessária uma maior vazão que estaria em torno de 349,24 l/min. Aplicando um fator de correção de 20% à vazão calculada, considera-se a vazão necessária de 419 l/min.

### 2.2.2 Unidade de Potência

Conforme descrito na seção 2.1, determinou-se os cálculos para a unidade de potência, onde considerou-se uma pressão máxima de 210 kgf/cm$^2$. À vazão de 419 l/min, acrescentou-se 20% acima do calculado, totalizando uma vazão necessária de 430 l/min. Considerou-se bombas de deslocamento positivo com 250 cm³ para 1800 r.p.m.. Assim sendo, o modelo determinado foi 250A4VSODR/30R-PPB do fabricante (Rexroth s.d.). Para a especificação do motor elétrico considerou-se um rendimento de 80%, de acordo com o coeficiente descrito de 1,72 para 1800 r.p.m., obtendo-se uma potência de 171,02 kW. Consultando o catálogo da fabricante WEG, obteve-se a seguinte especificação de motor: Fator de segurança 175KW x 4p 220/380/480Vx3F 60Hz 132CV - Carcaça 315S/M IPW 55, Cx ligação B3T, isolamento F.

### 2.2.3 Unidade de Recirculação e Filtragem

A unidade de recirculação foi projetada segundo as Normas ISSO, descritas na seção 2.1. Calculou-se a vazão da bomba do sistema - 238,39 l/min, para um reservatório de 3000 litros, sendo aplicado um coeficiente de 1,72 para uma rotação de 1800 rpm. O modelo selecionado foi PVV5-1X/139RB15 da fabricante Bosch Rexroth. O tempo de recirculação e filtragem deve ser efetuado entre ≥10 e ≤15 minutos, para a capacidade total do reservatório, tendo-se calculado a bomba para o tempo de 12,5 minutos. Para o motor elétrico considerou-se um rendimento de 70% - pressão baixa de 10 kgf/cm², para uma potência igual a 5,66 kW. A descrição do motor é observada no catálogo WEG, e apresentada conforme: Fator de segurança 7,5KW x 4p 220/380/480Vx3F 60Hz; 10CV - Carcaça 90L; IPW 55, Cx ligação B3T, isolamento F.

### 2.2.4 Cilindro Hidráulico do “Push-up” – Controle de força do sistema

O controlo efetivo do posicionamento dos cilindros hidráulicos do “*push-up”*, se dá através de uma escala magnética inse-

rida, permitindo que o operador tenha um controle efetivo do condicionamento de posição, através de um ajuste preciso de carregamento de forças de laminação por “lado do laminador”. E por fim, determinou-se as tubulações para as unidades de recirculação e filtragem e unidade de potência.

### 2.2.5 Tubulações

Para as unidades de recirculação e filtragem e unidade de potência obteve-se os seguintes resultados: Aspiração bomba: 3”, adoptando 2 vezes o diâmetro da tubulação da bomba para não gerar cavitação – 6” (DN150) e compressão - 1 ½ “ (DN40).

## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste trabalho, observou-se a importância de manter os sistemas hidráulicos bem monitorados e atualizados, uma vez que o mercado é dinâmico e a demanda por produtos mais especializados com preços atrativos aumenta cada vez mais.

O consumo de energia é algo muito importante a ser considerado na especificação de um projeto, assim, considerou-se bombas de deslocamento varável positivo, onde há maior confiabilidade operacional e baixo consumo de energia, resultando num menor número de manutenções e inspeções periódicas.

O meio empresarial objetiva cada vez mais a monitorização de todos os seus meios, de modo a se tornar mais competitivo e depender “menos do homem e mais da máquina” - indústria 4.0, e redução de custo com menor margem de erro.

A segurança e o meio ambiente também foi algo que se levou em consideração, uma vez que estes itens são primordiais na execução de um projeto.

## REFERÊNCIAS


BOSCH REXTOTH. Apostila hidráulica. Volta Redonda, 2013.

BOSCH REXTOTH. **Catálogo A4VS0 Séries 10, 11 e 30 RE 92050/04.09**. [s.d.]

COSTA JÚNIOR, Ezequiel. **Hidráulica básica**. Treinamento CSN, 2011.

FOX, R W; MCDONALD, A. T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, [s.d.].

HANNIFIN, Parker. **Tecnologia Hidráulica Industrial**. Apresentação M2001 - 2 BR. [s.d.]

HYDAC. **Manual de filtragem.** 2013.

RODGER, J; BARTLETT, S.; ATRENS, A. Corrosion of the galvanizing of galvanized-steel electricity transmission towers. **Materials Corrosion**, v. 68, p. 902 - 910, 2017.

SCHNEIDER S.A. **Manual de hidráulica básica industrial**.

SINHA, Amit Kumar; ANKUSH, Anand. Development of an alternative for corrosive resistant galvanized steel compatible for laser welding. Materials Today. **Proceedings**, 2020.

WEG MOTORES. **Catálogo.**

# OTIMIZAÇÃO DE UMA TORRE DE RESFRIAMENTO COM DOIS VENTILADORES

## OPTIMIZATION OF A COOLING TOWER WITH TWO FANS

Leonardo Carreiro Tavares[1]
Daniel Martins de Andrade[2]
Eduardo Diniz Rodrigues[2]
Enderson Ramires Correia[2]
Allan Sousa Martins [2]
Rodrigo Ferraz[2]

**RESUMO:** Visto a necessidade de otimização de uma torre de resfriamento e dada sua construção, utilizando os conhecimentos de máquinas de refrigeração, onde descreve sobre associação de ventiladores em paralelo e diz que a pressão total produzida pelos ventiladores é quase inalterada e as suas vazões individuais se somam e devido ao comportamento quadrático da velocidade as vazões não podem ser consideradas “o dobro”, chegando a perder 20% de vazão. Sendo assim a instalação de uma parede entre os ventiladores fazendo com que cada ventilador possa atuar individualmente trará um acréscimo de 20% na eficiência da torre que já é bastante significativo para o processo.

**Palavras-chave:** Torre de Resfriamento; Associação de Ventiladores em Serie; Troca de Calor; Refrigeração.

1 Docente Especialista do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ.E-mail: leocarreiro@uou.com.br.
2 Discentes do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ.
E-mail: allansm1992@gmail.com; daniel.m.adr@hotmail.com; edu.dinizr@bol.com.br; endersonramires@gmail.com; tf.rodrigo@gmail.com.

**ABSTRACT:** Given the need to optimize a cooling tower and given its construction, using the knowledge of refrigeration machines, where he describes the association of fans in parallel and says that the total pressure produced by the fans is almost unchanged and their individual flows add up and due to the quadratic behavior of the velocity, the flows cannot be considered “double”, reaching a loss of 20% of flow. Therefore, installing a wall between the fans so that each fan can act individually will bring a 20% increase in the efficiency of the tower, which is already quite significant for the process.

**Keywords:** Cooling Tower; Association of Series Fans; Heat Exchange; Refrigeration.

## 1 INTRODUÇÃO

Em muitos processos, há necessidade de remover carga térmica de um dado sistema, na maioria dos casos a água é usada como o fluido de resfriamento. Devido à sua crescente escassez e preocupação com o meio ambiente, além de motivos econômicos, a água “quente” que sai desses resfriadores deve ser reaproveitada. Para tanto, ela passa por outro equipamento que a resfria, uma torre de resfriamento, lagoa de resfriamento, torres de resfriamento não evaporativo, etc., mas, o sistema mais comum é a torre de resfriamento, usada não só em processos industriais, mas também em prédios com sistema central de ar condicionado, como “shopping centers”.

## 2 METODOLOGIA

**Etapa 1:**

Bloqueio elétrico e Mecânico do equipamento, fechamento das águas de alimentação da torre e dos equipamentos elétricos (bombas e ventiladores) para segurança na operação.

**Etapa 2:**

Desmontagem da Torre de Resfriamento. Retirada do topo com os ventiladores com auxílio do guindaste e equipe mecânica e retirada do enchimento da torre.

**Etapa 3:**

Montagem do andaime dentro da torre para permitir que o soldador consiga ficar em uma posição que o permita fazer a solda da chapa no interior da torre.

**Etapa 4:**

Estropagem, Içamento e posicionamento da chapa de aço com o guindaste, colocando-a transversalmente a torre pela parte de cima sendo guiada por dentro pelos mecânicos devidamente equipados com prolongadores e cintos de segurança para operar em cima dos andaimes.

**Etapa 5:**

Soldagem da placa transversal. Pontiamento das extremidades para liberação das fitas usadas para o içamento da placa e realização dos cordões de soldas nas faces de contado com a estrutura da torre.

**Etapa 6:**

Desmontagem do andaime dentro da torre pela equipe de montagem.

**Etapa 7:**

Montagem da torre de resfriamento. Colocação dos enchimentos internos e da parte superior com os ventiladores com auxílio do guindaste.

**Etapa 8:**

Desbloqueio elétrico e mecânico do equipamento, liberação das bombas e ventiladores e aberturas das válvulas de água que alimentam o processo.

**Etapa 9:**

Liberação para linha de produção e acompanhamento da eficácia da intervenção, verificando se a retirada de calor após a intervenção está sendo eficiente para o processo como apresentado pelo projeto.

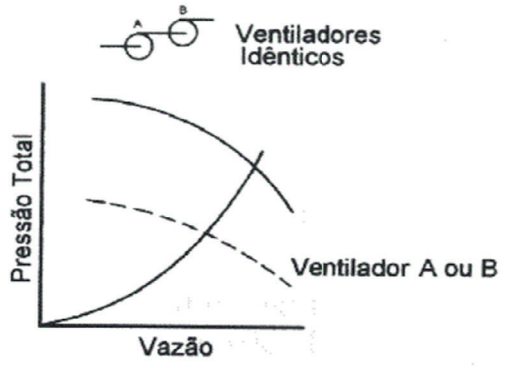
**Etapa 10:**

Entrega do projeto ao requisitante.

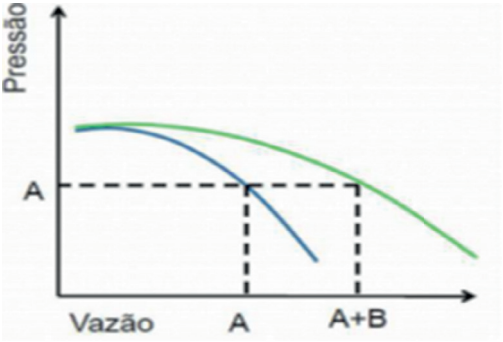
## 3 RESULTADOS EDISCUSSÃO

Espera-se atingir o aumento máximo dos 20% na eficiência que é possível embasado na teoria de maquinas de refrigeração, e suprir a necessidade do processo com uma solução rápida e de baixo custo.

Figura2 – Associação de Ventiladores em Paralelo




Curvas características de dois ventiladores em série




Fonte: UFRN (RN). Ventiladores. *In*: **Associação de ventiladores**: Ventiladores. Rio grande do Norte, 2010. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/-ventiladores_arquivos Image201_gif_arquivos/ventiladores.htm. Acesso em: 15 maio 2020.)

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Haja visto que a eficiência da refrigeração da Torre de Resfriamento foi aumentada, notamos que a implantação de uma placa de aço transversal fez com que os compartimentos dos ventiladores se tornem individuais, concluindo assim o objetivo de além de melhorar a eficiência da refrigeração da torre de resfriamento em 20% , fez com essa intervenção fosse rápida e com um baixo custo.

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais aos alunos do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário de Barra Mansa - UBM que contribuíram para o desenvolvimento do projeto.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Jorge. **Introdução à indústria do petróleo/FURG – CTI**. Rio Grande, 2006. Disponível em: http://termo.furg.br/Prominp2012/PCP/Curso_Supervisor_de_Planejamento/Introducao_a_Industria_do_Petroleo.pdf. Acesso em: 05 maio 2019

ASSOSSIAÇÂO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6111**. Torres de resfriamento de água. Disponível em: https://document.onl/documents/abnt-nbr-6111-tb-163-torres-de-resfriamento-de-agua.html. Acesso em: 05 maio 2019

TORRES de refrigeração. **Cetepis Brasil**. Disponível em: https://pt.scribd.com/fullscreen/143779018?access_key=key-ljoofvp9mopocpq03ze&allow_share=false&escape=false&show_recommendations=false&view_mode=scroll. Acesso em: 05 maio 2019

TORRES de resfriamento de águas. Disponível em: http://www.torreresfriamento.com.br/torre-de-resfriamento/manualtorres.pdf. Acesso em: 05 maio 2019

# EFICIÊNCIA DO MECANISMO BIELA MANIVELA EM MOTORES AUTOMOTIVOS DE QUATRO TEMPOS

## EFFICIENCY OF THE CRANK CONNECTION MECHANISM IN FOUR-STROKE AUTOMOTIVE ENGINES

Daniel de Souza Marques[1]
Ian Biajoni Marcelino[2]
Marcella Hypólit Figueiredo[3]
Rafael Pinto de Andrade Junior[4]
Ramiro José Seixas Pereira[5]

**RESUMO:** O processo de zincagem por imersão é quente é um dos mais usados na indústria para proteger o aço contra a corrosão atmosférica. Tem grande aplicabilidade, desde a fabricação de telhas, tubos, até chapas para estampagem automobilística e peças estruturais para a indústria civil. O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema hidráulico para um laminador de encruamento, com a finalidade de melhorar o seu desempenho operacional e minimizar os gastos com energia. Para a especificação do sistema hidráulico, considerou-se as vazões necessárias para a operação de todos os cilindros hidráulicos, disponibilizando-as em três organogramas de funcionamento. Optou-se pelo maior consumo de vazão para a elaboração do projeto. No cálculo efetuado para o sistema de potência considerou-se uma pressão máxima de 210 kgf/cm2, para uma vazão de 419 l/min, sendo con-

1 Discente – Curso Engenharia Mecânica – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: daniel.marques.dsm@hotmail.com.
2 Discente – Curso Engenharia Mecânica – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: ian.biajoni@gmail.com .
3 Discente – Curso Engenharia Mecânica – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: hypolitomarcella@gmail.com.
4 Discente – Curso Engenharia Mecânica – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: reanfandrade@hotmail.com.
5 Discente – Curso Engenharia Mecânica – Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: ramirospereira@hotmail.com.

sideradas bombas de deslocamento positivo com 250 cm³ para 1800 rotações por minuto. Para a especificação do motor elétrico

**Palavras-chave:** Torre de Resfriamento; Associação de Ventiladores em Serie; Troca de Calor; Refrigeração.

## 1 INTRODUÇÃO

O mecanismo de transformação de movimento biela-manivela é um dos mecanismos mais marcantes da engenharia mecânica e provavelmente dos mais utilizados devido à sua simplicidade e versatilidade. Este mecanismo é utilizado como forma de transformação de movimento de rotação em movimento linear. O mecanismo Biela Manivela pode ser considerado como um caso particular do mecanismo de quatro barras em que a barra movida tem comprimento infinito. Sendo assim, ele é composto por: uma barra movida (que se transforma numa corrediça ou num pistão, movendo-se apenas em linha reta), uma manivela (que descreve o movimento de rotação) e a biela (que tem um movimento geral ou misto). Uma das suas principais aplicações é em motores de combustão interna, neles a corrediça representa o pistão sobre o qual os gases exercem pressão, a qual é transmitida à manivela por intermédio da biela.

A fim de adquirir conhecimento sobre o tema, em um primeiro momento, o trabalho terá uma característica de pesquisa bibliográfica, onde serão realizadas pesquisas em artigos científicos e repositórios on-line. Tendo em mãos o levantamento bibliográfico, será interpretado o mecanismo biela manivela, de forma a abstrair dados relevantes à pesquisa, trazendo, então, conceitos relativos ao funcionamento deste sistema. A partir de fórmulas matemáticas pertinentes aos movimentos do sistema, serão calculadas as velocidades das barras para um instante específico, demonstrando, de forma geral, o funcionamento do sistema. Ao concluirmos o projeto, será feita a análise dos resultados encontrados.

## 2 METODOLOGIA

Inicialmente, o desdobramento do protótipo será baseado na revisão bibliográfica de artigos, normas, jornais, revistas e reportagens online. Após o levantamento teórico, será dado o inicio ao dimensionamento do mesmo e a execução do projeto prático. A descrição das atividades e o ordenamento das mesmas são apresentados abaixo, (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição das atividades.

| ETAPA | DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES |
|---|---|
| 1 | Apresentar a teoria sobre o mecanismo Biela Manivela |
| 2 | Dimensionamento do mecanismo Biela Manivela |
| 3 | Memória de cálculo dos componentes |
| 4 | Orçamento dos componentes |
| 5 | Desenvolvimento do protótipo |
| 6 | Testes mecânicos |
| 7 | Relatório de funcionamento |
| 8 | Correção de erros |
| 9 | Relatório final |

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2020).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante disso, é preciso enumerar os materiais que serão utilizados na fase de desenvolvimento do protótipo para que, posteriormente, seja feito os testes mecânicos. Logo, são eles: filme e uma impressora 3D. Na Tabela 2, é encontrado o orçamento do mesmo de acordo com os seus insumos.

Tabela 2 – Orçamento do projeto

| ATIVIDADES/ META | VALOR (UNI) | QUANTIDADE | CUSTO (R$) |
|---|---|---|---|
| Filamento 3D | 129,90 | 1 | 129,90 |
| Impressão 3D | 80,00 | 1 | 80,00 |
| Mão de Obra | 100,00 | 1 | 100,00 |
| | | TOTAL | 309,90 |

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2020).

Espera-se desenvolver um protótipo do mecanismo biela manivela, semelhante ao utilizados em motores, de forma que reproduza didaticamente o funcionamento do mesmo, exemplifique a importância que ele tem dentro do motor, correlacionando a teoria com a prática, e quantifique o seu desempenho.

## 3 CONCLUSÃO

Dado o exposto, com base no estudo de referências bibliográficas do mecanismo biela-manivela definiu-se seu funcionamento baseado no princípio de transformação de movimento linear em rotacional, ou seja, considerando-o um caso particular do mecanismo de quatro barras. E, pode-se dizer que este sistema esta em constante transformação, a fim de diminuir a perda de energia no processo de combustão.

Em suma, tinha-se o objetivo de apresentar adquirir conhecimento e entender a importância do mesmo dentro de um motor

automotivo, além de produzir um protótipo de forma que tornaria mais fácil a visualização do seu funcionamento. Contudo, a partir de adversidades presentes no convívio social atual, não foi possível tirar do papel estas ideias e produzir resultados quantitativos.

## REFERÊNCIAS

GERARDIN, Rodrigo Ceccatto. **Modelo dinâmico do sistema pistão- biela-manivela com mancais hidrodinâmicos**. 2005. 89. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2005.

SELEGATTO, Lucas Tavares. **Análise dinâmica de um mecanismo biela- manivela com folgas nas juntas pino-pistão e pistão-cilindro**. 2016. 56. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2016.

SILVA, Rafael Aguera Rezeno. **Modelagem e simulação do mecanismo biela manivela e análise estrutural de biela automotiva**. 2013. 59. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

# SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

# O GANHO DAS ORGANIZAÇÕES COM A ADOÇÃO DE DEVOPS

## ORGANIZATION GAIN WITH ADOPTION OF DEVOPS

Samir Freitas de Souza[1]
Deivid Souza Gomes[2]

**RESUMO:** Ressalta-se que na última década, a indústria de *software* sofreu constantes mudanças principalmente na implantação de recursos de *software* com rapidez e curta frequência de ciclos de lançamento. Tudo isto foi possível graças ao desenvolvimento ágil e as práticas DevOps. O DevOps na indústria de *software* surgiu para representar um movimento profissional que enfatiza a colaboração entre desenvolvimento de *software* e operações. Na prática, o DevOps afeta a cultura da empresa, processos, produtos, tecnologias associadas e estruturas organizacionais usadas nos processos de desenvolvimento e operações de *software*. A natureza multifacetada do DevOps torna o conceito ambíguo e difícil para as empresas de *software* adotarem, pois há muitos caminhos diferentes para sua adoção. Desta forma, este artigo retrata das vantagens competitivas que podem ser adquiridas por empresas que adotam a metodologia de DevOps para o desenvolvimento de seus produtos de *software*, compreendendo a definição do conceito, suas práticas, benefícios e desafios.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento. DevOps. Metodologia. Planejamento. Operações

1 Discente do Curso de Sistemas de informação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: samir.freitas@gmail.com.

2 Discente do Curso de Sistemas de informação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: deividg89@gmail.com.

**ABSTRACT:** It is noteworthy that in the last decade, the software industry has undergone constant changes mainly in the implantation of software resources with quick and short frequency of release cycles. All of this was possible thanks to agile development and DevOps practices. DevOps in the software industry has emerged to represent a professional movement that emphasizes collaboration between software development and operations. In practice, DevOps affects the company's culture, processes, products, associated technologies and organizational structures used in software development and operations processes. The multifaceted nature of DevOps makes the concept ambiguous and difficult for software companies to adopt, as there are many different paths to its adoption. Thus, this article portrays the competitive advantages that can be acquired by companies that adopt the DevOps methodology for the development of their software products, understanding the definition of the concept, its practices, benefits and challenges.

**Keywords:** Development. DevOps. Methodology. Planning. Operations

## 1 INTRODUÇÃO

O *software* tornou-se difundido nas atividades humanas do dia-a-dia e na economia. Isso, por sua vez, aumentou a importância de ter produtos e serviços intensivos em *software* que sejam úteis, seguros e confiáveis em todos os momentos durante o uso operacional.

Recentemente, a capacidade de uma organização fornecer continuamente e rapidamente novos recursos adequados para uso e inovação tornou-se um importante fator de concorrência no mercado da indústria de *software*. Com tempo suficiente, qualquer organização intensiva pode desenvolver ótimos produtos e serviços. Devido a isso, velocidade - na forma de um tempo mais rápido para o mercado - é um dos fatores de sucesso mais importantes na indústria do seguimento.

A velocidade no desenvolvimento e fornecimento de novos recursos de *software* oferece a oportunidade de responder rapidamente às necessidades do cliente, oportunidades de negócios e obter feedback rápido sobre os novos recursos (BRAGA, 2015). Os loops de feedback facilitam as informações úteis para tomar decisões informadas sobre os esforços de desenvolvimento feitos pelos diferentes participantes do projeto.

Para empresas de *software* modernas, como o *Facebook*, que estão desenvolvendo baseado na Web e na nuvem, a velocidade se traduz em sua capacidade de engenharia que é eficiente o suficiente para facilitar processos de desenvolvimento e entrega de *software* rápidos e reproduzíveis (FEITELSON *et al.* 2013).

DevOps é uma abordagem que tem sido relatada para permitir o paradigma de implantação contínua, pois incorpora um conjunto de princípios úteis cruciais para o desenvolvimento e implantação, especialmente para aplicativos nativos da nuvem. No entanto, muito do que a abordagem DevOps envolve não está claro, por exemplo, ela foi descrita como um novo papel dentro de uma organização de *software*, um movimento pela mudança na indústria e conjunto de práticas de desenvolvimento (DEBOIS, 2011). Existe tanto um desafio de pesquisa quanto uma necessidade industrial de desenvolver uma melhor compreensão do conceito e abordagem de DevOps.

Desta forma, o problema se caracteriza pelas altas taxas de erros ao realizar *deploy* de versões de *software* em produção e ambientes não integrados. Equipe de operação que geralmente gasta muito tempo configurando sistemas operacionais, ambientes, infraestrutura de redes, configurações de *hardware* e um *middleware* para integração com a aplicação desenvolvida.

**Quem é afetado?** As equipes de desenvolvimento que trabalham de forma desorganizada, sem metodologia, sem hierarquia de desenvolvimento. **Quais são as causas?** Refere-se à pesquisa de problemas latentes na melhoria da infraestrutura de integração contínua. **Quais as implicações?** Adoção de práticas DevOps que proporcionam otimização no desenvolvimento ágil de código e do ambiente de infraestrutura de T.I.

Assim sendo, o objetivo geral deste artigo é mostrar as vantagens da adoção de DevOps para empresas que trabalham com o desenvolvimento de produtos de software, melhorando processos, práticas de integração, optimização de tempo, focando principalmente na necessidade do cliente.

Justifica-se, pois a demanda tecnológica atualmente requer das empresas fabricantes de software, ações imediatas para seus clientes, evitando custos desnecessários e atendendo sob demanda. A metodologia utilizada e baseada em pesquisa quali-quantitativa, exploratória, utilizando bases científicas como teses de doutorado, mestrado, artigos de revistas e jornais, além de outras diretas como obras autorais.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 DESMISTIFICANDO O DEVOPS E *AGILE*

DevOps tornou-se uma palavra de ordem sobrecarregada que significa muitas coisas diferentes para muitas pessoas. Isso é um desafio quando se está tentando entender o que é DevOps ou definir o DevOps. Em vez de tentar definir DevOps, neste momento, este objeto de estudo descreve os conceitos fundamentais que se associam ao DevOps e a história de como o movimento DevOps evoluiu para determinar uma visão holística.

O DevOps é o produto do desenvolvimento de software ágil - nascido da necessidade de acompanhar o aumento da velocidade do software e dos métodos ágeis de *throughput* (quantidade de dados processados em um espaço e tempo) alcançados. Avanços na cultura e métodos ágeis na última década expuseram a necessidade de uma abordagem mais holística para o ciclo de vida de entrega de software de ponta a ponta (BRAGA, 2015).

Muito se fala que DevOps está diretamente ligada em desenvolvimento ágil. Embora cada uma das metodologias ágeis seja única em sua abordagem específica, todas compartilham uma visão e valores centrais comuns. Todos incorporam fundamentalmente a iteração e o *feedback* contínuo que fornecem para refinar e entregar sucessivamente um sistema de *software*.

Todos envolvem planejamento contínuo, testes contínuos, integração contínua e outras formas de evolução contínua do projeto e do *software*. Eles são todos leves, especialmente se comparados aos processos tradicionais em cascata e inerentemente adaptáveis. E o mais importante sobre os métodos ágeis é que todos eles se concentram em capacitar as pessoas para colaborar e tomar decisões em conjunto de maneira rápida e eficaz. (MANIFESTO AGIL, 2019).

No início, as equipes ágeis eram principalmente formadas por desenvolvedores. Como essas equipes ágeis tornaram-se mais eficientes na produção de software, ficou claro que ter Garantia de Qualidade (QA – Quality Assurance) e *Dev* como equipes separadas era ineficiente. O *Agile* cresceu para abranger o controle de qualidade, a fim de aumentar a velocidade de entrega de *software*, e agora o *agile* está mais uma vez crescendo para abranger os membros de entrega e suporte para estender a agilidade desde a ideação até a entrega.

Os ideais do DevOps ampliam as práticas de desenvolvimento ágil, agilizando ainda mais o movimento da mudança de software através dos estágios de construção, validação e implantação e entrega, enquanto capacitam equipes multifuncionais com propriedade total de aplicativos de software - do projeto ao suporte de produção.

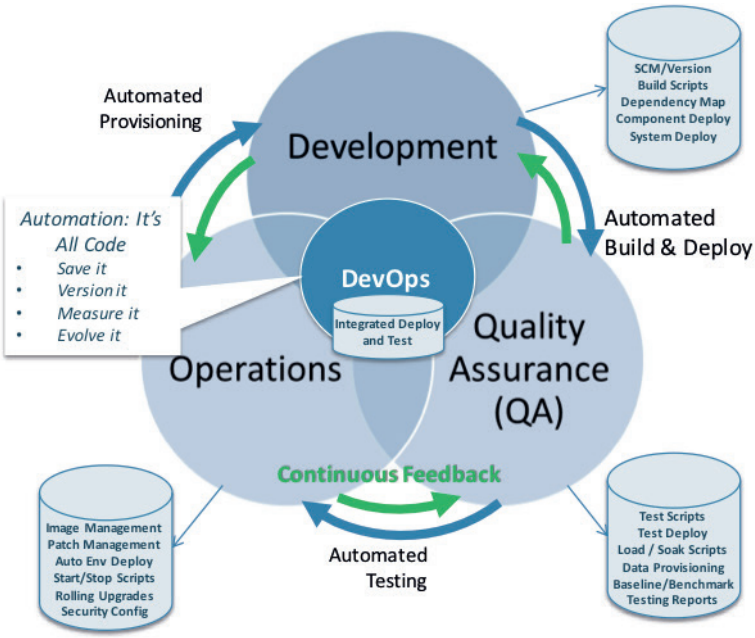
DevOps é uma mentalidade de TI que incentiva a comunicação, colaboração, integração e automação entre desenvolvedores de software e operações de TI, a fim de melhorar a velocidade e a qualidade da entrega de software (KIM, 2013).

As equipes de DevOps se concentram em padronizar os ambientes de desenvolvimento e automatizar os processos de entrega para melhorar a previsibilidade, a eficiência, a segurança e a capacidade de manutenção da entrega. Os ideais do DevOps fornecem aos desenvolvedores mais controle do ambiente de produção e um melhor entendimento da infraestrutura de produção. O DevOps estimula o empoeiramento de equipes com autonomia para construir, validar, entregar e suportar seus próprios aplicativos. Com DevOps, nada é “jogado por cima do muro” (FERNANDES *et. al*., 2017).

## 2.2 PROCESSOS PARA FERRAMENTAS E PRÁTICAS DEVOPS

Quando é referido às atribuições em DevOps, se tem muitas partes móveis a considerar. O núcleo dessa estrutura (Figura 01), é o provisionamento automatizado, testes automatizados e criação e implantação automatizadas. Ao mesmo tempo, que se precisa manter um feedback contínuo, com as informações continuamente indo e voltando, além de garantir os registros de praticamente tudo.

Figura 1 - Partes móveis: Práticas e Tecnologias aplicáveis




Fonte: Brunnert et.al. (2015), modelo adaptado.

Quanto às práticas recomendadas para escolher as ferramentas de DevOps que se pode usar para abordar uma implementação de DevOps, elas podem ser resumidas em sete etapas (BRUNNERT *et al.*, 2015):

**1 - Estratégia de colaboração e ferramentas:** é preciso compartilhar para as equipes de automação de desenvolvimento, controle de qualidade e infraestrutura as estratégias de ferramentas comum que permita que elas colaborem no desenvolvimento, teste e implantação (Figura 2). Isso não significa que se deva passar dias discutindo sobre ferramentas; significa que devesse trabalhar em uma estratégia comum que inclui DevOps, contendo: Processos; Planejamento de comunicações e colaboração, Ferramentas de desenvolvimento contínuo, Ferramentas de integração contínua, Ferramentas de teste contínuo, Ferramentas de implantação contínua, Operações contínuas e ferramentas *Cloud Ops*.

A criação de uma estratégia comum de ferramentas não impulsiona a seleção de ferramentas - pelo menos não neste momento. Isso significa escolher uma estratégia de compartilhamento comum com a qual todos possam concordar e que reflita seus objetivos de negócios para o DevOps.

O processo de seleção de ferramentas geralmente gera falhas de comunicação nas equipes. Uma estratégia comum de ferramentas do DevOps deve aderir a um conjunto comum de objetivos, ao mesmo tempo em que fornece colaboração e integração contínuas entre as ferramentas. O objetivo é automatizar tudo: os desenvolvedores devem poder enviar software novo e alterado para implantação e operações sem que os humanos atrapalhem os processos.

**2 – Ferramentas para a captura de solicitações:** Nenhum trabalho ou alteração *ad hoc* deve ocorrer fora do processo do DevOps, e as ferramentas do DevOps devem capturar todas as solicitações de software novo ou alterado. Isso é diferente de registrar o progresso do software à medida que ele se move pelos processos. O DevOps fornece a capacidade de automatizar a aceitação de solicitações de mudança recebidas da empresa ou de outras partes das equipes de DevOps.

Os exemplos incluem a alteração de software para acomodar um novo modelo de imposto para os negócios ou a alteração

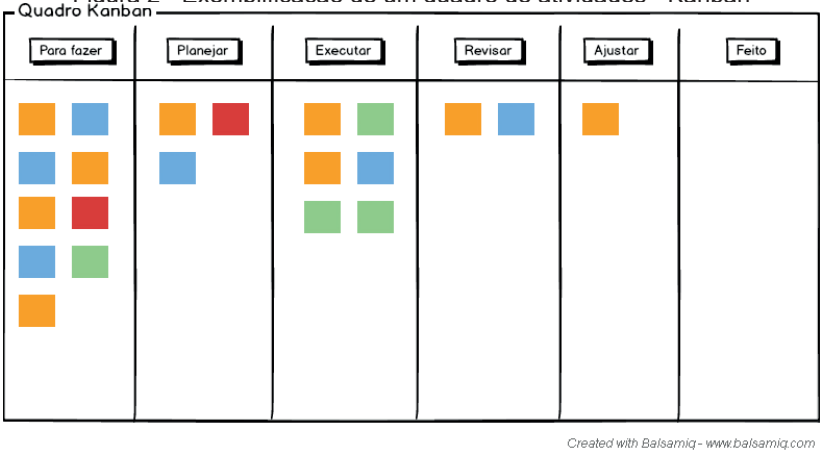
do software para acomodar uma solicitação para melhorar o desempenho do módulo de acesso ao banco de dados.

**3 – A utilização de Kanban:** Pode-se utilizar o gerenciamento de projetos *agile* Kanban para automação e solicitações de DevOps que podem ser tratadas nas estruturas usada para implementar o desenvolvimento ágil que combina a quantidade de trabalho em andamento com a capacidade da equipe. Oferece às equipes opções de planejamento mais flexíveis, resultados mais rápidos, foco claro e transparência ao longo do ciclo de desenvolvimento.

As ferramentas do Kanban oferecem a capacidade de ver o que se faz no momento, ou todos os itens em contexto entre si. Além disso, limita a quantidade de trabalho em andamento, o que ajuda a equilibrar as abordagens baseadas no fluxo para que não se tente fazer muito de uma só vez.

Finalmente, as ferramentas Kanban podem melhorar o fluxo. No Kanban, quando um item de trabalho é concluído, o próximo item mais alto da lista de pendências é enviado ao desenvolvimento.

Figura 2 - Exemplificação de um quadro de atividades - Kanban




Fonte: Próprio autor

**4 – Ferramentas para registrar métricas:** Selecionar ferramentas que possam ajudar a entender a produtividade de processos de DevOps, automatizados e manuais, e para determinar se eles estão trabalhando a favor da equipe. Deve-se precisar fazer duas coisas com essas ferramentas. Primeiro, definir quais métricas são relevantes para os processos do DevOps, como velocidade de implantação versus erros de teste encontrados. Segundo, defina processos automatizados para corrigir problemas sem o envolvimento humano. Um exemplo seria lidar com problemas de dimensionamento de software automaticamente em plataformas baseadas na nuvem.

**5 - Implementar a automação de teste e as ferramentas de provisionamento de dados de teste:** A automação de teste é mais do que apenas testes automatizados; é a capacidade de pegar código e dados e executar rotinas de teste padrão para garantir a qualidade do código, dos dados e da solução geral. Com o DevOps, o teste deve ser contínuo. A capacidade de lançar código e dados no processo significa que se precisar colocar o código em uma *sandbox*, atribuir dados de teste ao aplicativo e executar centenas - ou milhares - de testes que, quando concluídos, promoverão automaticamente o código no DevOps processo ou devolva aos desenvolvedores para retrabalho.

**6 - Executar testes de aceitação para cada ferramenta de implantação:** Parte do processo de teste deve definir os testes de aceitação que farão parte de cada implantação, incluindo níveis de aceitação para a infraestrutura, aplicativos, dados e até o conjunto de testes que se use. Para o conjunto de ferramentas selecionado, os responsáveis pelos processos de teste do DevOps devem gastar tempo definindo os testes de aceitação e garantindo que os testes atendam aos critérios de aceitação selecionados.

Esses testes podem ser alterados a qualquer momento pelo desenvolvimento ou pelas operações. E, à medida que os aplicativos evoluem com o tempo, pode-se precisar incorporar novos requisitos ao software, que por sua vez deve ser testado

contra esses novos requisitos. Por exemplo, pode ser necessário testar alterações nos problemas de conformidade associados à proteção de certos tipos de dados ou problemas de desempenho para garantir que a empresa cumpra os acordos de nível de serviço.

**7 - Garantir feedback contínuo entre as equipes para identificar lacunas, problemas e ineficiências:** Por fim, precisa-se de *loops* de *feedback* para automatizar a comunicação entre os testes que detectam problemas e os testes desse processo precisam ser suportados pela ferramenta escolhida. A ferramenta correta deve identificar o problema usando mecanismos manuais ou automatizados e marcar o problema com o artefato para que os desenvolvedores ou operadores entendam o que ocorreu, por que ocorreu e onde ocorreu.

Figura 3 – Conjunto de ferramentas disponíveis para DevOps




Fonte: Próprio autor.

A ferramenta também deve ajudar a definir uma cadeia de comunicações com todos os participantes automatizados e humanos do ciclo. Isso inclui uma abordagem para corrigir o problema em colaboração com todos da equipe, um consenso sobre o tipo de resolução que se deve aplicar e uma lista de qualquer código ou tecnologia adicional necessária. Em seguida, vem o impulso para a produção, onde a ferramenta deve ajudar a definir o rastreamento para informar se a resolução foi realizada através de testes automatizados, implantação automatizada e operações automatizadas.

## 2.3 INTEGRAÇÃO E ENTREGA CONTÍNUA

A integração contínua é a prática de integrar rapidamente o código recém-desenvolvido ao corpo principal do código que será lançado. A integração contínua economiza muito tempo quando a equipe está pronta para liberar o código (COIS, et. al., 2015).

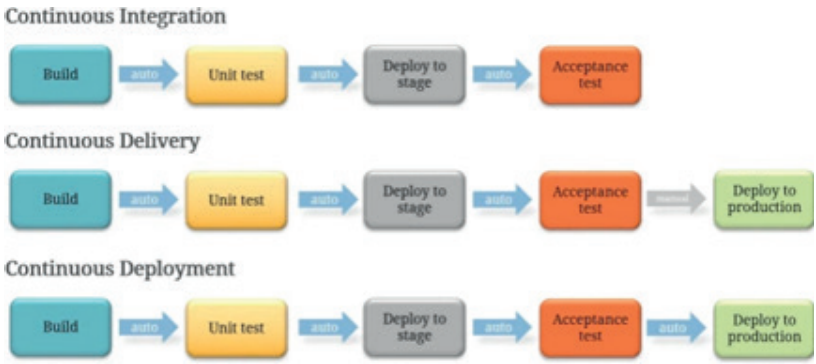
O DevOps não apresentou esse termo. A integração contínua é uma prática de engenharia ágil originada na metodologia *Extreme Programming*. Os termos existem há algum tempo, mas o DevOps adotou esse termo porque a automação é necessária para executar com êxito a integração contínua. A integração contínua geralmente é o primeiro passo no caminho da maturidade do DevOps.

O processo de integração contínua da perspectiva do DevOps envolve o check-in do seu código, compilando-o em código utilizável (geralmente executável binário) e executando alguns testes básicos de validação.

A entrega contínua é uma extensão da integração contínua DevOps, ou seja, é considerada o 2º estágio. Ela fica no topo da integração contínua. Ao executar a entrega contínua, se adiciona automação e testes adicionais para não mesclar o código com a linha de código principal com frequência, mas fica com o código quase pronto para implantar sem quase nenhuma intervenção humana. É a prática de manter a base de código continuamente em um estado pronto para implantação.

Implantação Contínua, que não deve ser confundida com a entrega contínua, é a evolução mais avançada da entrega contínua. É a prática de implantar até a produção sem nenhuma intervenção humana.

Figura 4 - Integração, Entrega e Desenvolvimento contínuo




Fonte: Matsumoto (2019), modelo adaptado

As equipes que utilizam entrega contínua não implantam código não testado, em vez disso, o código recém-criado executa testes automatizados antes de ser enviado à produção. A liberação do código normalmente é destinada apenas a uma pequena porcentagem de usuários e há um loop de *feedback* automatizado que monitora a qualidade e o uso antes que o código seja propagado.

Há um número muito pequeno de empresas que realmente praticam a implantação contínua. *Netflix, Etsy, Amazon, Pinterest, Flicker, IMVU* e *Google* são exemplos populares de empresas que fazem implantação contínua. Embora o DevOps muitas vezes não seja o objetivo final para a maioria das empresas, elas geralmente se concentram em avançar em direção à entrega contínua.

## 2.4 CULTURAS, VALORES E PRINCÍPIOS DEVOPS NA ATUALIDADE

O DevOps se concentra fortemente no estabelecimento de uma cultura colaborativa e no aprimoramento da eficiência por meio da automação com as ferramentas do DevOps. Enquanto algumas organizações e pessoas tendem a valorizar uma mais que a outra, a realidade é que é preciso uma combinação de cultura e ferramentas para ter sucesso.

A cultura do DevOps é caracterizada pelo aumento da colaboração, diminuição dos silos, responsabilidade compartilhada, equipes autônomas, melhoria da qualidade, valorização do feedback e aumento da automação. Muitos dos valores do DevOps são valores ágeis, pois o DevOps é uma extensão do ágil (SATO, 2013).

Figura 5 - Diretrizes da cultura DevOps




Fonte: Sato (2013), modelo adaptado.

Os métodos ágeis são uma maneira mais holística de fornecer software. As equipes de desenvolvimento ágil medem o progresso em termos de software em funcionamento. Proprietários de produtos, desenvolvedores, testadores e pessoal de UX trabalham em conjunto com os mesmos objetivos (HUTTERRMANN, 2012).

O DevOps está apenas adicionando a mentalidade das operações e talvez um membro da equipe com algumas dessas responsabilidades na equipe ágil. Enquanto antes do DevOps o progresso é medido em termos de software operacional, o DevOps é medido em termos de software operacional nas mãos do cliente.

Para conseguir isso, Dev e Ops devem dividir os silos e colaborar entre si, compartilhar a responsabilidade de manter o sis-

tema que executa o *software* e preparar o *software* para executar no sistema com maior *feedback* de qualidade e automação de entrega.

A indústria de desenvolvimento de software passou por uma mudança de mentalidade e cultura nos últimos anos. Esta é uma resposta às mudanças nas expectativas dos clientes nos setores de TI. A mudança para os modelos de negócios de software como serviço (SaaS) trouxe uma mudança na maneira como desenvolvemos o software hoje. O DevOps comprovou repetidamente sua capacidade de ajudar as organizações de TI a acompanhar o ritmo alucinante de desenvolvimento exigido pelo clima competitivo do setor de tecnologia moderna.

Desta forma, ressalta-se que o antigo método de desenvolvimento envolvia que os desenvolvedores codificassem o projeto, que seria entregue ao controle de qualidade para testes, seguido pelas operações assumindo finalmente e planejando os lançamentos e o gerenciamento de versões. Essa estrutura criou uma desconexão entre cada estágio do processo e resultou em projetos sendo retrocedidos para os estágios anteriores do ciclo de vida de desenvolvimento de software (SDLC) quando surgiam problemas (MATSUMOTO, 2019).

Matsumoto (2019), ainda frisa que atualmente o objetivo do DevOps é realizar a implementação de integração contínua e entrega contínua (CI / CD) no SDLC. Atingir o CI / CD requer uma mudança na estrutura e cultura corporativa. O DevOps é uma transformação das equipes tradicionais de desenvolvimento de software de desenvolvedores em silos, controle de qualidade e operações em equipes únicas e interdisciplinares de todos os membros da cadeia SDLC.

As equipes recém-formadas de DevOps recebem projetos de escopos muito menores que eles enfrentam com agendas de implantação mais regulares. A ideia principal é utilizar os membros da equipe com suas próprias origens diversas, capazes de adicionar seus conhecimentos a cada etapa do processo. O DevOps capacita as equipes interdisciplinares a fornecer informações sobre cada etapa do processo enquanto trabalha em projetos menores e de tamanho reduzido, uma atualização de cada vez.

Figura 6 - Seis fazes do DevOps




Fonte: PrimalUp (2019), modelo adaptado.

Mudar para as práticas de DevOps tem sido um grande benefício para muitas organizações de software, mas a questão é o que exatamente significa ter uma cultura ou estrutura de DevOps? O núcleo essencial do DevOps é uma cultura de comunicação e conjuntos de ferramentas que capacitam a colaboração. Mudar para o DevOps é mais do que investir em alguns softwares corporativos e formar equipes interdisciplinares. O poder do DevOps só pode ser plenamente realizado quando a organização adota os valores e princípios do DevOps.

## 2.5 FERRAMENTAS DE APOIO PARA ADOÇÃO AO DEVOPS

O desenvolvimento e operações não são mais papéis exclusivamente separadas dentro do departamento de TI. Hoje, os engenheiros de DevOps remodelam a maneira como as equipes de TI operam; aprimorando a colaboração entre desenvolvedores, administradores de sistemas e testadores.

Eles também melhoram as taxas de implantação, detecção de defeitos e entrega de recursos. Essencialmente, está enraiza-

da na ideia de que a criação, teste e liberação de software pode funcionar de forma mais suave e automática se a equipe de profissionais apropriada estiver trabalhando em conjunto.

É possível, encontrar mais informações sobre isso através de práticas diárias, objetivando a entrega de projetos junto aos clientes com transparência no cumprimento e resolução de rotinas (possíveis problemas), mas para tal, é preciso dispor-se de ferramenta de integração contínua, como *Jenkins* e *Jira*.

Em primeira mão, explora-se a ferramenta Jenkins e suas principais vantagens, bem como a integração contínua com esta ferramenta. No mundo atual de DevOps, a entrega e a implantação contínuas são essenciais para fornecer produtos de software de alta qualidade mais rapidamente do que nunca. Jenkins é um servidor de integração contínua de código aberto escrito em Java. É de longe a ferramenta mais amplamente usada para gerenciar *builds contínuos* de integração e *pipelines* de entrega.

Figura 7 - Ambiente do Jenkins Software




Fonte: próprio autor – modelo adaptado

Ajuda os desenvolvedores a criar e testar software continuamente. Aumenta a escala da automação e está rapidamente ganhando popularidade nos círculos DevOps. Uma das principais vantagens do Jenkins é que ele requer pouca manutenção e possui uma ferramenta GUI integrada para facilitar as atualizações.

A Jenkins também fornece uma solução personalizada, pois existem mais de 400 plugins para oferecer suporte à criação e teste de praticamente qualquer projeto. Basicamente, o Jenkins integra todos os tipos de processos de ciclo de vida de desenvolvimento, incluindo compilação, documento, teste, pacote, estágio, implantação,

Com o Jenkins, se pode configurar alertas de várias maneiras, por exemplo, pode receber notificações por e-mail, pop-ups, etc. e realmente automatizá-lo. Ao implementar a configuração certa para cada caso, se obtém feedback quase imediato. Sempre saberá se a construção falhou, saberá qual foi o motivo da falha no trabalho e também poderá saber como pode revertê-lo.

Vamos imaginar um cenário em que o código fonte completo do aplicativo foi criado e implantado em um servidor de teste para teste:

Primeiro, um desenvolvedor confirma o código no repositório de códigos-fonte. Enquanto isso, o servidor Jenkins verifica o repositório em intervalos regulares em busca de alterações. Logo após a confirmação, o servidor Jenkins detecta as alterações que ocorreram no repositório de código-fonte, onde:

- Jenkins fará essas alterações e começará a preparar uma nova compilação.
- Se a construção falhar, a equipe pertinente será notificada.
- Se a compilação for bem-sucedida, o Jenkins implantará a compilação no servidor de teste.

Pode-se configurar o pipeline (o script a ser executado) para criar a compilação com várias etapas:

Preparar, testar (testes de unidade e integração), empacotar, publicar, implantar.

Após executá-lo, Jenkins gera um feedback; se essas restrições estiverem corretas, o artefato é válido (artefato é um código-fonte compilado para teste). E então Jenkins notifica os

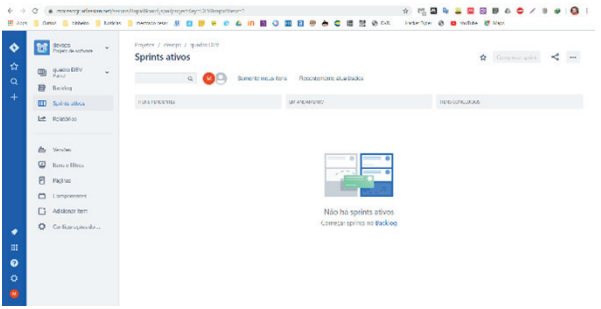
desenvolvedores sobre os resultados de compilação e teste. O Jenkins continuará a verificar o repositório do código-fonte em busca de outras alterações feitas no código-fonte, e todo o processo continuará repetindo (testes funcionais).

Como vantagens da adoção da ferramenta Jenkins, pode-se citar:

- É de código aberto e é fácil de usar, fácil de instalar e não requer instalações ou componentes adicionais.
- É gratuito.
- Facilmente configurável. Jenkins pode ser facilmente modificado e ampliado. Ele implementa o código instantaneamente, gera relatórios de teste. O Jenkins pode ser configurado de acordo com os requisitos para integrações contínuas e entrega contínua.
- Plataforma independente. O Jenkins está disponível para todas as plataformas e sistemas operacionais diferentes, seja OS X, Windows ou Linux.
- Ecossistema Rich Plugin. O amplo conjunto de plugins torna o Jenkins flexível e permite a criação, implantação e automação em várias plataformas.
- Suporte fácil. Por ser de código aberto e amplamente utilizado, não há escassez de suporte de grandes comunidades online de equipes ágeis.
- Os desenvolvedores escrevem os testes para detectar os erros de seu código o mais rápido possível. Portanto, os desenvolvedores não perdem tempo com integrações de erros em larga escala.
- Os problemas são detectados e resolvidos quase imediatamente, o que mantém o software em um estado em que pode ser liberado a qualquer momento com segurança.
- A maior parte do trabalho de integração é automatizada. Daí menos problemas de integração. Isso economiza tempo e dinheiro ao longo da vida útil de um projeto.

O Jira Software foi desenvolvido para todos os membros de uma equipe de software para planejar, rastrear e liberar ótimos softwares. Com o Jira Software, cada equipe tem um processo exclusivo para o envio de software. Use um fluxo de trabalho pronto para uso ou crie um para corresponder à maneira como a equipe trabalha.

Figura 8 - Ambiente do Jira Software




Fonte: próprio autor – modelo adaptado

O JIRA libera o poder do *Agile Project Management*, se é um especialista em ágil experiente ou está apenas começando. Criar e estimar histórias, criar um backlog de sprint, identificar o comprometimento e a velocidade da equipe, visualizar a atividade da equipe, relatar o progresso da equipe são aspectos essenciais do planejamento ágil, mas às vezes podem parecer mais trabalho do que a execução do projeto.

O JIRA é um rastreador para equipes que planejam e constroem ótimos produtos. O programa funciona conectando colegas, atividades e ferramentas, permitindo que eles trabalhem com mais eficiência. As equipes escolhem o JIRA para capturar e organizar problemas, atribuir trabalho e acompanhar as atividades da equipe. A ideia por trás do software é baseada na premissa de que as tarefas geralmente estão ocultas nos documentos ou estão escondidas na sua caixa de entrada.

O uso do JIRA revoluciona isso, organizando as tarefas e os problemas de uma equipe, designando quem está fazen-

do o que e quando precisa ser feito e acompanhando quando sua conclusão.

## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revolução do DevOps está sobre nós, mas por quê? O ambiente do DevOps cresceu como uma reação contra alguns dos problemas comuns que o setor de TI enfrenta, incluindo o silenciamento dos membros da equipe e o trabalho que realizam, a incerteza de introduzir novos recursos ou implantar mudanças, a dificuldade de encontrar e solucionar defeitos e o surgimento de gargalos no ciclo de vida de desenvolvimento de software.

Um ambiente de DevOps visa enfrentar esses desafios, aumentando o quão bem as equipes de operações e desenvolvimento de TI colaboram para criar um ambiente caracterizado por uma equipe unificada com um conjunto de habilidades multidisciplinares. Essa estrutura transforma a maneira como as equipes trabalham juntas e a maneira como o software é construído, fazendo a ponte entre “dev” e “ops” e aplicando ferramentas eficazes de DevOps para mitigar os silos de dados.

No geral, um ambiente de DevOps aumenta a visibilidade para reduzir o risco de incerteza, melhora a detecção de erros e erros e mitiga gargalos e desperdícios no processo de desenvolvimento.

As organizações sem um ambiente de DevOps geralmente têm uma estrutura de equipe baseada em uma divisão do trabalho. Essas equipes geralmente trabalham em silos, com desenvolvedores, testadores e profissionais de operações de TI trabalhando em mundos separados para atingir seus respectivos objetivos. Essa divisão do trabalho é um modelo desatualizado para estruturar equipes, porque cria barreiras entre elas e dificulta a comunicação e a maneira como elas trabalham. Como resultado, esse modelo impede severamente a agilidade e a velocidade.

Um cenário comum, por exemplo, é quando a equipe de desenvolvimento entra em contato com a equipe de operações com

uma emergência (por exemplo, “Ajuda, o servidor travou!”). As equipes de operações já têm suas próprias responsabilidades para as quais planejaram. Quando a equipe de desenvolvimento coloca o trabalho não planejado em prática, isso não apenas interrompe o processo de fluxo de trabalho, mas também gera desperdício no processo de desenvolvimento de software.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Thiago. **Você sabe quais são as diferenças entre DevOps e Agile?** 2019. Disponível em:https://blog.cronapp.io/voce-sabe-quais-sao-as-diferencas-entre-devops-e-agile/. Acesso em: 24 ago. 2020.

BRAGA, Filipe A. M. **Um panorama sobre o uso de práticas DevOps nas indústrias de software**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/15989/1/Filipe_Versao_Final_Pos_Defesa_Deposito.pdf. Acesso em: 20 ago. 2020

BRUNNERT, A. *et al*. **Performance-oriented DevOps**: a research agenda. 2015.

DEBOIS, Patrick. DevOps: a software revolution in the making? **Cutter IT Journal**, v. 24, n. 8, august 2011. Disponível em: https://www.cutter.com/sites/default/files/itjournal/fulltext/2011/08/itj1108.pdf. Acesso em: 20 ago. 2020

DEVOPS: o real significado do termo. **InfoWorld**, 2017.Disponivel em: https://blog.mandic.com.br/artigos/o-real-significado-do-termo-devops/.Acesso em: 24 ago. 2020.

FEITELSON, D.; FRACHTENBERG, E.; BEC, K K. Development and deployment at facebook. **IEEE Internet Computing, v.** 17, n.4, p. 8–17. 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260493613_Development_and_Deployment_at_Facebook. Acesso em: 20 ago. 2020

FERNANDES, Tereza Cristina Maia *et al*. Influência das práticas do DevOps nos processos de gestão de T.I conforme o Modelo COBIT 5. **NAVUS – Revista de Gestão e Tecnologia**,

2017. Disponível em: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6232104.pdf. Acesso em: 20 ago. 2020

HUTTERRMANN, M. **DevOps for developers**. 2012. Disponível em: http://huettermann.net/devops/. Acesso em: 24 ago. 2020.

KIM G. Top **11 Things you need to know about DevOps**. 2013. Disponível em: https://www.thinkhdi.com/~/media/HDICorp/Files/White-Papers/whtppr-1112-devops-kim.pdf. Acesso em: 20 ago. 2020

MANIFESTO AGIL. Disponível em: http://agilemanifesto.org/. Acesso em: 20 ago. 2020

MATSUMOTO, Leonardo. **DevOps**: pipeline de implantação. CI e CD. 2019. Disponível em: https://leonardo-matsumota.com/2019/07/26/devops-pipeline-de-implantacao-ci-continuous-integration-e-cd-continuous-delivery/. Acesso em: 24 ago.2020.

PRIMELIP. **The software economics company. implante a cultura DevOps e agilize a entrega de software**. Disponível em: http://www.primeup.com.br/devops/. Acesso em: 24 ago.2020.

O QUE é devops e qual a sua importância**?** Descubra! **IPsense**, 2020. Disponível em:https://www.ipsense.com.br/blog/o-que-e-devops-e-qual-a-sua-importancia-descubra/. Acesso em: 24 ago. 2020.

SATO, D**. DevOps na prática**: entrega de software confiável e automatizada. São Paulo: Casa do Código, 2013.

KNORR, Eric. **The true meaning of devops: Beyond the**

**technology** 2017.Disponivel em: https://www.infoworld.com/article/3155567/the-true-meaning-of-devops-beyond-the-technology.html#tk.twt_ifw. Acesso em: 24 ago. 2020.

# ÉTICA E SEGURANÇA DIGITAL: UMA ABORDAGEM CONCEITUAL

## ETHICS AND DIGITAL SECURITY: A CONCEPTUAL APPROACH

Daniel Vicente Neves Alves[1]
Matheus de Jesus Artilino[2]
Victor Hugo Santana Pereira[3]

**RESUMO:** O intuito desse artigo é fazer uma abordagem teórica sobre como a ética é importante para o setor de informática, explorando a visão de vários autores onde os temas abordados vão de uma pequena introdução a ética básica e como ela se insere dentro da área de tecnologia, desde questões sobre pirataria de produtos de software e em casos onde os profissionais da TI podem realizar atos antiéticos pois tratando-se de um setor que a ética não se tem muito “peso”, e normalmente se pensa no setor, apenas sendo um prestador de serviços e esquecem que também se trata de uma parte fundamental, onde leis e restrições são aplicadas visando a proteção de dados e na qual a segurança e privacidade são de grande importância.

**Palavras-chave:** Segurança. TI. Ética. Privacidade.

1 Discente do Curso de Sistemas de Informação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: 11daniel.neves.alves@gmail.com.

2 Discente do Curso de Sistemas de Informação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: dartilin@gmail.com.

3 Discente do Sistemas de Informação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: victorhugo.12vr@gmail.com.

**ABSTRACT:** The purpose of this article is to take a theoretical approach on how ethics is important for the computer sector, exploring the view of several authors where the topics covered range from a short introduction to basic ethics and how it fits within the area of technology, from questions about piracy of software products and in cases where IT professionals can perform unethical acts because it is a sector that ethics does not have much weight, and is usually thought of in the sector, just being a service provider services and forget that it is also a fundamental part, where laws and restrictions are applied aiming at data protection and in which security and privacy are of great importance.

**Keywords:** Security. IT. Ethic. Privacy.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o constante avanço tecnológico a sociedade passou a utilizar diversos dispositivos e recursos para vários meios e finalidades, gerando maior conhecimento e uma enorme massa de dados. No dia a dia, é normal a utilização de smartphones, notebooks, desktops e outros dispositivos conectados à Internet para realização de tarefas cotidianas que variam desde buscas e pesquisas até navegação em redes sociais e compras.

O usuário sem o mínimo conhecimento na área de tecnologia da informação, não imagina que tais operações produzem uma vasta quantidade de informação pessoal e sem ao menos pensar em alguns aspectos importantes como, por exemplo: Como esses dados serão usados? Quais informações são filtradas? Quem tem acesso? O que garante que essa informação é autêntica?

Para o filósofo inglês Bertrand Russell, a ética é subjetiva, não contém expressões verdadeiras ou falsas, ela é a expressão dos desejos de um grupo, sendo que certos desejos devem ser reprimidos e outros reforçados, para se atingir a felicidade ou o equilíbrio do grupo. Na informática a ética é abrangida em

dois aspectos da conduta humana são eles o ser profissional e o ser humano. Na conduta do ser humano são abordados os tópicos de gosto pessoal como, por exemplo, o que pode ser “justo” para uma pessoa pode não ser  para outra pessoa são questões que se trata mais como o indivíduo, porém o ser profissional é ao contrário pois não se trata só de uma pessoa mais sim de várias trabalhando em um ambiente para se atingir algum objetivo.

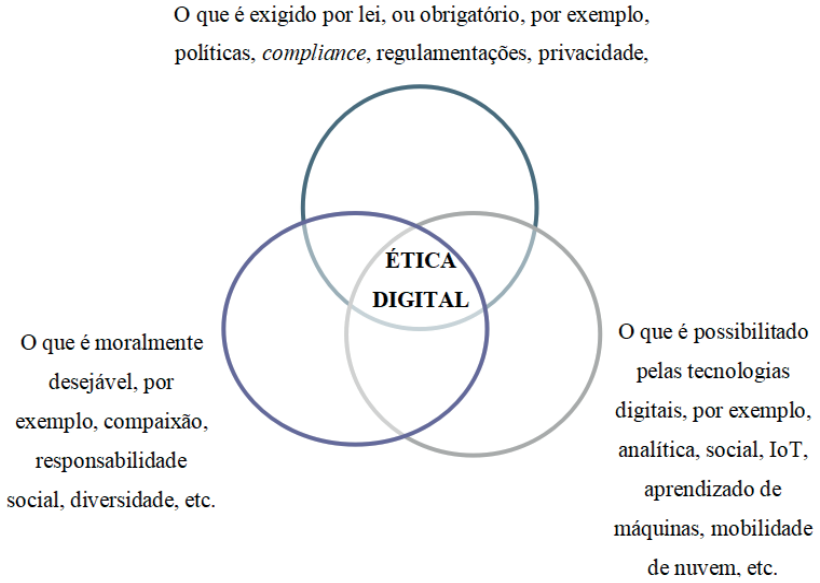
Com uma grande massa de dados em circulação na rede, fica clara a importância de proteger o sigilo dos dados e garantir seu correto uso com ética. Neste contexto, o presente artigo analisará os principais conceitos de ética e segurança da informação, discutindo as melhores práticas usadas na atualidade.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 ÉTICA DIGITAL

Ética digital é o sistema de valores e princípios adotados por uma empresa na condução de interações digitais entre empresas, pessoas e coisas. A ética digital está no centro, entre as exigências legais, o que pode ser possibilitado pela tecnologia digital, e o que é moralmente desejável. (BERTELI, 2016).

Figura 1 – Diagrama de InfoWorld enn ilustrando a ética digital




Fonte: Adaptado Berteli, 2016

A ética digital não é exigida por lei, ela depende amplamente de como cada organização estabelece, individualmente, seus parâmetros de inovação e define como serão usados os dados de seus clientes e funcionários. (BERTELI, 2016)

## 2.2. SEGURANÇA DIGITAL

### 2.2.1 Introdução

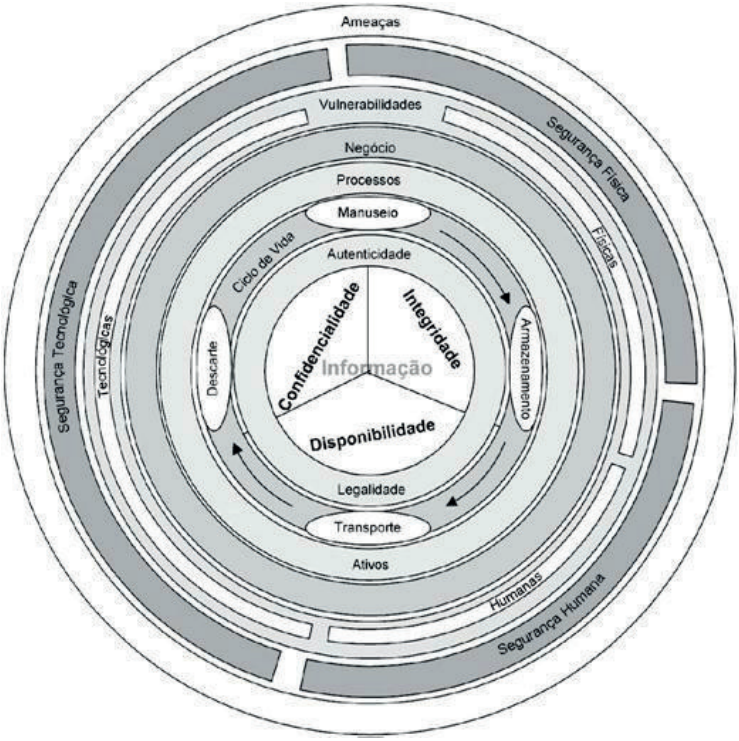
Nos que remete a segurança digital, podemos entender como a não violação da identidade digital, assim não ferindo aspectos importante, como confiabilidade, integridade e disponibilidade de sua autenticidade.

Em outras palavras a segurança digital é a identidade digital, podemos entender como ferramentas que utilizamos para proteger nossa identidade física, podemos destacar como parte

dessa segurança os antivírus, token usb, biometria em dispositivos pessoais entre outros. São responsáveis por trazerem maiores seguranças de maneira agradável.

Ameaças na opinião de Sêmola (2014, p.45),” São agentes ou condições que causam incidentes que comprometem as informações e seus ativos por meio da exploração de vulnerabilidades”. Essas vulnerabilidades podem ser físicas, naturais, de hardwares, de softwares, de comunicação e humanas. Há um grande risco de uma determinada ameaça utilizar dessas vulnerabilidades para realizar um ataque a segurança da informação, o que impossibilitaria a continuidade do negócio. Os riscos podem ser resumidos como furto, falsificação ou até mesmo perda de identidade.

Figura 2 – Visão condensada dos desafios




Fonte: Sêmola (2014, p. 49)

• **Confidencialidade**: Sêmola (2014, p.43), “Toda informação deve ser protegida de acordo com o grau de sigilo de seu conteúdo, visando a limitação de seu acesso e uso apenas às pessoas a quem é destinada”.

• **Integridade**: Sêmola (2014, p.43), “Toda informação deve ser mantida na mesma condição em que foi disponibilizada pelo seu proprietário, visando protegê-la contra alterações indevidas, intencionais ou acidentais”.

• **Disponibilidade**: Sêmola (2014, p.43),” toda informação gerada ou adquirida por um indivíduo ou instituição deve estar disponível aos seus usuários no momento em que eles necessitem delas para qualquer finalidade. “

• **Legalidade**: Ferreira e Araújo (2008, p. 44), “o uso da informação deve estar de acordo com as leis aplicáveis, regulamentos, licenças e contratos;”

• **Auditabilidade**: Ferreira e Araújo (2008, p. 44), “o acesso e o uso da informação devem ser registrados, possibilitando a identificação de quem fez o acesso e o que foi feito com a informação; “

• **Não repúdio**: Ferreira e Araújo (2008, p. 44), “o usuário que gerou ou alterou a informação (arquivo ou e-mail) não pode negar o fato, pois existem mecanismo que garantem sua autoria.”

Outro ponto fundamental é que segurança pode ser subdividida em:

• **Segurança computacional**: Ferreira e Araújo (2008, p. 45), “conceitos e técnicas utilizadas para proteger o ambiente informatizado contra eventos inesperados que possam causar qualquer prejuízo;”.

• **Segurança lógica**: Ferreira e Araújo (2008, p. 45), “prevenção contra acesso não autorizado;”.

• **Segurança física**: Ferreira e Araújo (2008, p. 45), “pro-

cedimentos e recursos para prevenir acesso não autorizado, dano e interferência nas informações e instalações físicas da organização;".

• **Continuidade de negócio**: Ferreira e Araújo (2008, p. 45), "estrutura de procedimentos para reduzir, a um nível aceitável, o risco de interrupção ocasionada por desastres ou falhas por meio de combinação de ações de prevenção e recuperação."

### 2.2.2 Linha histórica

Em 2005, houve um caso de vazamentos de informações sigilosas na gigante mundial da área de tecnologia Hewlett-Packard (HP) em Nova York.

"Após descobrir o vazamento, a empresa decidiu fazer justiça com as próprias mãos, grampeando telefones e contratando detetives particulares com identidades falsas. Essa decisão, no entanto, definitivamente não foi a mais correta: a Justiça americana acusou o conselho de administração da empresa — na época chefiado por Patricia Dunn e Carly Fiorina — por utilização de meios ilegais para investigar os autores dos vazamentos. Por fim, em meio a tudo isso, um dos diretores mais antigos da empresa confessou ter cedido informações sigilosas ao The Wall Street Journal. O escândalo rendeu a demissão de funcionários e danos difíceis de serem esquecidos à reputação da empresa."

**Adaptado** (HD STORE BLOG. **Conheça 5 casos famosos de falhas de segurança da informação**. [2017?]. Disponível em: https://blog.hdstore.com.br/casos-famosos-de-falhas-de-seguranca-da-informacao/. Acesso em: 1 jun. 2019.)

"O Gartner aposta que em 2018, 75% dos projetos deverão demorar o dobro do tempo para serem implementados. Segundo algumas previsões da empresa, para que os deadlines sejam cumpridos, alguns projetos podem deixar a desejar em segurança, performance ou em processos de integração legados. E

o que isso acarreta? Que você terá que desenvolver todo o seu projeto do zero se estiver com pressa e não se preocupar com a segurança da sua aplicação.

E com o avanço dos smartphones e dos dispositivos móveis a ela conectados, a internet se torna cada vez mais importante. E por meio dela que nos comunicamos e trocamos informações com nossos parentes e amigos, usamos as redes sociais, agendamos ou executamos um serviço público, administramos nossa conta bancária, reservamos uma passagem aérea ou um quarto de hotel, efetuamos uma compra online, consultamos para saber qual é o melhor caminho para chegar ao trabalho, etc.

Ela também tem revolucionado a maneira como empresas e organizações trabalham, auxiliando em diversas tarefas, como a comunicação interna e externa, a gestão e administração dos recursos, a elaboração e teste de novos produtos, o conhecimento e engajamento com clientes.

A tendência é que existam mais informações sobre nós na rede do que propriamente nas nossas casas. Nela já guardamos alguns de nossos maiores valores, nossos segredos mais íntimos. E não é diferente para as empresas, que armazenam e trafegam informações sensíveis e essenciais para o seu funcionamento. Lista de clientes, fórmulas de receitas e protótipos de produtos inovadores, base de dados de fluxos financeiros, contas a pagar e a receber, para dar alguns exemplos.

Atualmente, muito se fala em *Smart Cities*, *IoT* e Inteligência Artificial, que é onde o conceito da segurança mais tem tirado o sono dos especialistas. E este nem é um cenário tão futurista assim… O Gartner prevê que até 2020, mais de 50% dos processos de negócios e sistemas incorporem algum elemento de IoT.

A gama de dispositivos pendurados na rede e a quantidade de informações sensíveis que irão trafegar na Internet será astronômica. E isso não é exagero, algumas pessoas falam até que não se usará mais terabytes para quantificar o tamanho desses dados, mas, sim, uma “nova medida”, baseada na distância entre a Terra e a Lua.

O Gartner também prevê que em 2020 haverá um mercado negro de sensores falsificados e dados de vídeos que ultrapassam a marca de 5 bilhões de dólares. Isso te leva a pensar nas implicações de segurança e privacidade que a exposição desses dados causará. Imagine se estes dados sensíveis, ou não, se perderem. Imagina se eles não estiverem bem protegidos e forem expostos.

Ted Friedman, vice-presidente da Gartner em entrevista para um canal de tecnologia nacional avisa: "Um mercado negro com sensores e dados de vídeo falsos ou corruptos significará que a informação pode ser comprometida ou substituída por informação deliberadamente manipulada e imprecisa. Este cenário vai impulsionar o crescimento de produtos e serviços de privacidade, resultando numa discussão pública e longa sobre o futuro da privacidade, sobre os meios para proteger a privacidade individual e sobre o papel da tecnologia e do governo na proteção da mesma".

A falta de planejamento fará com que o problema se torne uma bola de neve. Haverá gastos excessivos, trabalhos repetitivos, demora na entrega dos projetos, exposição de dados sensíveis, pessoais ou empresariais, interrupção de serviços na área industrial e em áreas estratégicas, além de problemas com cibersegurança, invasão e ciberespionagem."

**Adaptado** (ALEX LATTARO. **Uma breve viagem ao desenvolvimento da Segurança da Informação – Passado, presente e futuro**. 21 out. 2016. Disponível em: https://imasters.com.br/devsecops/uma-breve-viagem-ao-desenvolvimento-da-seguranca-da-informacao-passado-presente-e-futuro. Acesso em: 2 jun. 2019.)

## 3. ANÁLISE E DISCUSSÕES

### 3.1 BENEFÍCIOS DA ÉTICA NA TI

Além dos conhecimentos técnicos, o profissional de TI apresenta também competências humanas, para lidar com os clien-

tes da empresa, como cordialidade, honestidade, respeito e dignidade. Fazem parte das obrigações do profissional de TI, assegurar a privacidade e proteção das informações, sejam elas organizacionais ou dos clientes, garantir a segurança destas informações, conhecer a legislação que regulamenta suas atividades profissionais e da empresa em que trabalha, mas, sobretudo, ter bom senso ao utilizar recursos da empresa. Porém ainda não existe uma legislação que possua normas com os códigos de ética que os profissionais da TI devem seguir.

Existem seis aspectos básicos que servem na área de TI como regras éticas a serem seguidas na área que raramente conflitam e normalmente é deixada para o bom senso do profissional. Esses aspectos são divididos em dois grupos a sociedade em geral e com o empregador. No que se refere ao empregador estão ligados os aspectos também conhecidos com ética se refere à proteção dos interesses do empregador em situações em que muitas vezes o empregador não tem habilidade para supervisionar tecnicamente o trabalho do profissional e a relação é estabelecida em bases de confiança. Quando o profissional trabalha como consultor ou prestador de serviço autônomo para um cliente suas obrigações são as mesmas que as relativas ao empregador. Já na questão da sociedade em geral: refere-se com a preocupação com o bem-estar das pessoas em geral, quando consideradas como usuários de sistemas computacionais (hardware e software) e envolvem, tipicamente, aspectos de segurança, privacidade e interesses econômicos. E por fim com os clientes quando o profissional trabalha como consultor ou prestador de serviço autônomo para um cliente suas obrigações são as mesmas que as relativas ao empregador.

## 3.2 BARREIRA PARA A PLENA ADOÇÃO DOS PRECEITOS ÉTICOS

Além dos conhecimentos técnicos, o profissional de TI, e todas as áreas devem apresentar também competências humanas, para lidar com os clientes da empresa, como cordialidade, honestidade, respeito e dignidade. Diante deste

cenário analisar o comportamento e conduta ética dos profissionais que lidam com a Tecnologia da Informação se tornou importantíssimo.

O comportamento ético do profissional de TI ao manusear informações e, ao mesmo tempo, ter em mente o direito à privacidade do ser humano serão o diferencial que norteará sua conduta. Faz-se necessário a identificação das questões éticas, e o conhecimento mais aprofundado sobre o comportamento humano e seus desdobramentos, avaliando atitudes para que se possam encontrar soluções que atendam estes problemas de forma eficiente. (CARVALHO, 2014)

Mesmo sem a existência de um código de ética específico para os profissionais de informática (chamados assim os analistas, programadores, engenheiros de software, analistas de suporte, administradores de bancos de dados, entre outros envolvidos com a área), existem alguns aspectos que devem incorporar aos sistemas desenvolvidos: o acesso dos usuários ao computador, com telas de fácil manuseio e entendimento; o bem-estar nos locais de trabalho pelo adequado treinamento e reciclagem dos funcionários; o controle e acesso de informações realizadas de forma adequada; o envolvimento do fator humano no desenvolvimento de sistemas por computador; a noção de bem comum com o uso do computador; a noção das modificações ocasionadas por novos sistemas e novas tecnologias na sociedade.

Não se pode deixar de colocar nessa discussão a questão da regulamentação da profissão na área, que gera também muita controvérsia e coloca uma espécie de camisa-de-força nos profissionais, implicando falta de piso salarial,

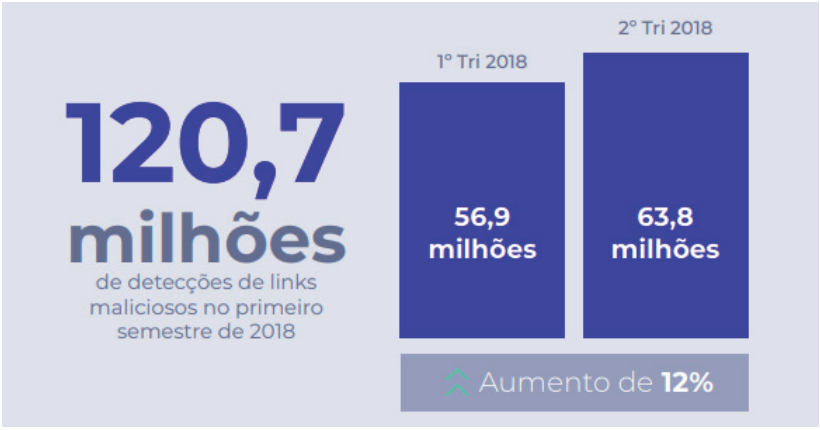
> não-determinação de jornada de trabalho e entrada de profissionais que não realizaram cursos de computação ou processamento de dados e estrutura sindical diferenciada para profissionais de informática, que são vinculados a empresas prestadoras de serviços na área e a empresas de outros ramos de atividade que possuem setores de informática. (CRUZEIRO DO SUL, 2009)

## 3.3 BENEFÍCIOS DE INVESTIMENTO DE SEGURANÇA DA TI

A Tecnologia se tornou fundamental na administração de dados de uma empresa ou instituição e tornou-se evidente a necessidade de investir na proteção de dados e informações sejam elas de clientes ou funcionários. As informações têm um grande valor nos processos de desenvolvimento e crescimento da empresa, com isso é imprescindível investir em sua segurança, no que remete a um ciberataque, roubo, ou vazamento de algum arquivo sigiloso referente à empresa, aos clientes ou funcionários podem gerar crises para o negócio e desencadear diversos problemas como prejuízos financeiros, perda de confiabilidade  na marca além de processos judiciais.

> O número de ataques cibernéticos praticamente dobrou no Brasil em 2018. Segundo informações do dfndr lab, laboratório especializado em cibersegurança da *PSafe*, foram detectados 120,7 milhões de ataques cibernéticos no primeiro semestre de 2018. Este número representa um crescimento de 95,9%. (WAKKA, 2018)

Figura 3 – Avanços dos ataques em 2018




Fonte: DFNDR LAB, 2019

Para se ter uma ideia, a falta de investimento na segurança das informações leva à danos financeiros alarmantes. Somente em 2017, no Brasil, empresas e pessoas somaram um prejuízo de US$22 bilhões com ataques cibernéticos. O país é o segundo que mais perdeu com os ataques virtuais, ficando atrás apenas da China. Os dados são do *Norton Cyber Security Insights Report* 2017 e ainda apontaram que o prejuízo de 20 países chegou a US$172 bilhões. (INOVE DADOS, 2017)

## Principais benefícios ao se investir em segurança de TI:

**Proteção a ataques e vulnerabilidade:** os ataques cibernéticos estão em evidência e entre as principais preocupações das empresas. Portanto, não investir na segurança de sua infraestrutura de TI deixa o caminho livre para que hackers possam rastrear dados, instalar malwares e corromper arquivos sigilosos de sua organização. Se prevenir contra qualquer tipo de ataque cibernético é indispensável.

**Mecanismos e ferramentas de proteção:** investir em sistemas de backups, antivírus, analisadores de tráfego e detectores de malwares são algumas destas ferramentas capazes de preservar dados e assegurar a autenticidade de suas informações. Além de treinamentos de colaboradores e contratação de profissionais responsáveis pela gestão da infraestrutura de TI da sua empresa.

**Garantir o funcionamento dos recursos necessários:** manter todos os recursos importantes funcionando corretamente não é apenas garantir a proteção de dados e arquivos eletrônicos. Mas ir além, como criar um nível de segurança necessário através do investimento em data Centers para proteção contra incidentes como alagamentos ou incêndios, salas de acessos restrito a colaboradores da área de TI e outras pessoas autorizadas, e até mesmo na compra de equipamentos de segurança como nobreaks.

**Preservar as informações sigilosas:** não apenas proteger, mas preservar as informações de sua empresa, tornando possível consultá-las a qualquer momento e evitando o vazamento de informações sigilosas. Impede também que sejam acessadas por pessoas não autorizadas. Assim, todas as transações realizadas por sua empresa ficarão preservadas. (SUPORTI, 2019)

## 3.4 BARREIRAS PARA PLENA IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE SEGURANÇA

Cada vez mais, organizações e empresas têm se tornado alvos de ciberataques, seja ele vindo de indivíduos mal-intencionados ou de outras organizações, esses ataques buscam encontrar brechas e ou vulnerabilidades em seus sistemas ou softwares, já que é algo comum em certas empresas o costume de não realizar atualizações em softwares, utilizar sistemas legados como meio de “baratear” o custo de seus produtos ou serviços, não definir políticas de Controle de Acesso na orga-

nização. E com a utilização desses “meios” para baratear seu processo surgem as vulnerabilidades e consequentemente eventuais ataques.

A falta de atualização ou utilização de ferramentas de segurança como Antivírus e Firewalls mal configurados é um outro ponto no qual pode tornar uma rede corporativa suscetível a ataques seja eles externos ou internos como por exemplo:

**Ataques Internos:**

- A Utilização dispositivos infectados como: *Pen Drives* ou qualquer outro dispositivo portátil, que podem portar *Scripts* maliciosos, *Backdoors* e etc…
- Engenharia Social
- Fator Humano.

**Ataques Externos:**

- DDOS/DOS
- Spoofing
- Roubo de Identidade

Um dos principais fatores dos quais algumas empresas deixam de investir em segurança é o fato do alto custo de softwares de segurança, equipamentos, técnicas e profissionais capacitados, já que alguns gestores da organização podem optar em concentrar seu investimento em seu produto ou serviço visando a ideia de que nunca seriam afetadas por esses eventuais ataques.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista as pesquisas realizadas podemos concluir que na área de tecnologia da informação é vital investir em políticas de segurança e no treinamento de profissionais capacitados,

não tendo em vista somente o fator técnico e sim o fator ético sendo possível evitar falhas que possam ocasionar possíveis vazamentos de informações sigilosas ou até mesmo a interrupção das atividades da organização. Nada garante que um funcionário altamente capacitado que pode ou não estar ocupando um cargo importante, que tenha acesso a dados sigilosos, oportunidade ou motivo, pode por meio de uma ambição própria ou interesse monetário, resolver vender ou vazar tais dados a outros concorrentes do setor. Em que se remete ao uso da tecnologia, a capacidade de diferenciar o certo e o errado cabe apenas ao indivíduo, ou seja somente ele pode definir de qual perspectiva partir seja ela de grande importância ou não.

## REFERÊNCIAS


BERTELI, Hamilton. Ética digital: como equilibrar os riscos e recompensas da inovação digital. **Canaltech**, 15 mar. 2016. Disponível em: https://canaltech.com.br/mercado/etica-digital--como-equilibrar-os-riscos-e-recompensas-da-inovacao-digital/. Acesso em: 8 jul. 2019.

BRAGA, Daniel de Sousa Ramos. **Melhoria contínua em centro de operações logístico**: mapeamento e estruturação de processos. 2016.

BRASIL PAÍS DIGITAL. **Segurança e cidadania no mundo digital**. [21--]. Disponível em: https://brasilpaisdigital.com.br/seguranca-e-cidadania-no-mundo-digital/. Acesso em: 4 jun. 2019.

CARVALHO, Ana. **A importância da ética profissional no segmento de tecnologia da informação**. 9 out. 2014. Disponível em: https://administradores.com.br/artigos/a-importancia--da-etica-profissional-no-segmento-de-tecnologia-da-informacao. Acesso em: 6 jun. 2019.

DEVELLY, David Paolini; BRUSEGHINI, Pedro Alberto Busatto; SILVA, Marcelo Kapczinski da. **Computação e sociedade ética - a ética do profissional da informática**. Disponível em: http://www.inf.ufes.br/~fvarejao/cs/etica.htm. Acesso em: 8 fev. 2019.

DEVMEDIA. **Ética em informática**. 2009. Disponível em: https://www.devmedia.com.br/etica-em-informatica/14636. Acesso em: 6 fev. 2019.

FERREIRA, Fernando Nicolau Freitas; ARAÚJO, Márcio Tadeu de. **Política de segurança da informação**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

FERREIRA, F. N. F.; ARAÚJO, M. T. D. **Políticas de segurança da informação - guia prático para elaboração e implementação**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

LATTARO, Alex. **Uma breve viagem ao desenvolvimento da segurança da informação – passado, presente e futuro**. 21 out. 2016. Disponível em: https://imasters.com.br/devsecops/uma-breve-viagem-ao-desenvolvimento-da-seguranca-da-informacao-passado-presente-e-futuro. Acesso em: 8 jun. 2019.

LYRA, M. R. **Segurança e auditoria em sistemas de informação**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

MARCIANO, João Luiz Pereira. **Segurança da informação**: uma abordagem social. 2006.

MITNICK, K. D.; SIMON, W. L. **A Arte de Enganar**. São Paulo: Pearson Education, 2003.

RIBEIRO, Cristiano da Silva. **Segurança da Informação**: o desenvolvimento de uma política de segurança da informação em conformidade com a norma ABNT *ISO/IEC* 27002. Ano 2016. 35 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso de Sistema de Informação – FAIR Faculdades Integradas de Rondonópolis, 2016.

SÊMOLA, M. **Gestão da Segurança da Informação - uma visão executiva.** 2 ed. São Paulo: Elsevier, 2014.

SUPORTI. **Como investir para a segurança de TI de sua empresa?** [*S. l.*]: 31 jan. 2019. Disponível em: http://suporti.com/como-investir-para-a-seguranca-de-ti-de-sua-empresa/. Aces-

so em: 9 jun. 2019.

UNIDADE: **Ética na informática**. São Paulo: Cruzeiro do Sul, 23 ago. 2009. Disponível em: https://arquivos.cruzeirodosulvirtual.com.br/materiais/disc_2010/2sem_2010/mat_grad_asph-jogos/unidade1/texto_teorico_I.pdf. Acesso em: 22 ago. 2020.

WAKKA, Wagner**. Número de ataques cibernéticos no Brasil quase que dobrou em 2018**. **Canaltech**, 7 ago. 2018. Disponível em: https://canaltech.com.br/seguranca/numero-de-ataques-ciberneticos-no-brasil-quase-que-dobrou-em-2018-119600/. Acesso em: 8 jun. 2019.

# PROGRAMAÇÃO ESTRUTURADA X PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS

## STRUCTURED PROGRAMMING X OBJECT-ORIENTED PROGRAMMING

Aline Aparecida Rodrigues da Silva[1]
Carlos Eduardo Araújo Granadeiro[2]

**RESUMO:** A pesquisa realizada neste artigo possui o objetivo de trazer um pouco de conhecimento sobre dois paradigmas de programação de computadores, a programação estruturada com seu objetivo de construir programas claros, legíveis, eficientes e de fácil manutenção; e programação orientada a objetos, com o seu propósito de aproximar o manuseio das estruturas de um programa com objetos do mundo real. Foi abordado no desenvolvimento do artigo sobre o contexto e também sobre a história de como foram desenvolvidas e sobre seus objetivos, alguns exemplos de linguagens de programação que fazem da utilização dos paradigmas, vantagens na utilização e também sobre as desvantagens que acompanham a utilização.

**Palavras-chave:** Programação. Paradigmas. Programação orientação a objetos. Programação estruturada.

1 Discente do Curso de Sistemas de Informação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: alinne_th@hotmail.com

2 Discente do Curso de Sistemas de Informação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: carlosegranadeiro@gmail.com.

**ABSTRACT:** The research carried out in this article aims to bring knowledge about two computer programming paradigms, structured programming that aims to build clear, readable, efficient and easy to maintain programs; and object-oriented programming, with the purpose of bringing the handling of program structures closer together with real-world objects. It was covered in the development of the article on the context and also on the history of how they were developed and their objectives, some examples of programming languages that make use of the researched paradigms and also about advantages and disadvantages in using the paradigms.

**Keywords:** Programming. Paradigms. Object- oriented programming. Structured programming.

## 1 INTRODUÇÃO

Todo programa computacional é escrito em uma linguagem de programação, que é uma padronização de regras sintáticas e semânticas fazendo com que a máquina tenha instruções para que sejam executadas.

As linguagens de programação não tiveram seu início com advento dos computadores modernos entre as décadas de 30 e 40, porém, antes desse período eram consideradas apenas como códigos. Entre os anos de 1842 e 1843 durante nove meses, Ada Lovelace, uma matemática e escritora inglesa, trabalhou na tradução de memórias de um matemático italiano chamado Luigi Menabrea sobre a máquina analítica proposta por Charles Babbage. Junto as memórias, Ada realizou anotações especificando detalhadamente sobre um método para calcular números de Bernoulli com a máquina e com isso seu trabalho é considerado como a primeira descrição de um computador e um software.

O surgimento de linguagens de programação modernas veio na década de 50, quando foram desenvolvidas linguagens como FORTRAN, Assembly, COBOL, que eram linguagens puramen-

te imperativas. O paradigma imperativo foi criado com base na arquitetura de John Von Neumann e era baseado à simples ideia de que o "computador executava o que o ser humano ordenasse". Daí veio este nome. Essas linguagens usavam um recurso chamado GOTO, que permitiam que saltos que transferiam a execução do programa de uma linha para qualquer outra com utilização de marcadores. Apesar desse recurso possibilitar que uma ação desnecessária seja ignorada e eliminar a necessidade de repetição de linhas de código, ele também criava uma dificuldade de leitura do código-fonte aos programadores quando iam fazer a manutenção do mesmo, podendo induzi-los a cometer erros.

Neste contexto, ao final da década de 60, mediante à dificuldade dos programadores da época, houve o surgimento da programação estruturada, que simplificava a criação dos softwares, eliminando parcial ou completamente o uso de GOTO e reduzindo-os em apenas três estruturas: sequência, decisão e iteração. Desta forma, devido a sua boa legibilidade e simplicidade, os programadores detinham um entendimento melhor do fluxo de execução do programa e assim este paradigma foi o dominante no mercado por muitos anos.

Mas este domínio foi abalado, pois foi sucedido pela programação orientada a objetos, que além de herdar características da programação estruturada, traz como novidade alguns novos conceitos, como classes, atributos, métodos, entre vários outros. Uma classe seria uma abstração de um objeto da vida real, como um carro, um animal, uma pessoa. As características deste objeto seriam os atributos e o seu comportamento seriam os métodos como, por exemplo andar, caminhar, falar. Possivelmente a facilidade da reutilização e da organização do código são as melhorias responsáveis por tornar esse paradigma tão popular atualmente.

Este artigo irá aprofundar as características, vantagens, desvantagens e principais aplicações destes dois paradigmas de programação, que são considerados opostos, mas que são muito importantes nos dias atuais, tanto para estudantes iniciantes de programação quanto para os desenvolvedores experientes.

## 2 CONTEXTO HISTÓRICO

A programação estruturada tem o seu código formado em um bloco único e foi implementada através do teorema do programa estruturado, também chamado de teorema de Böhm-Jacopini que foi estabelecido no ano de 1966 pelos matemáticos italianos Corrado Böhm e Giuseppe Jacopini. Nele, é afirmado que os fluxogramas podem computar qualquer função computável realizando a combinação de subprogramas de três estruturas específicas, as quais são: sequência, decisão e iteração.

A programação orientada a objetos (abreviado como POO, ou OOP em inglês) teve seus primeiros conceitos idealizados na década de 60 com a linguagem de programação simula desenvolvida pelo cientista da computação norueguês Ole-Johan Dahl e pelo matemático norueguês Kristen Nygaard. O objetivo deste paradigma foi o de aproximar a manipulação da estrutura de um programa com objetos do mundo real, daí o nome orientada a objetos. Os dois conceitos principais da POO são as classes e os objetos, pois é em cima deste que os outros conceitos são construídos.

## 3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

### 3.1 PROGRAMAÇÃO ESTRUTURADA

No paradigma estruturado há três conceitos principais que compõem a estrutura de controle de qualquer software construído baseado neste paradigma: sequencia, decisão e iteração.

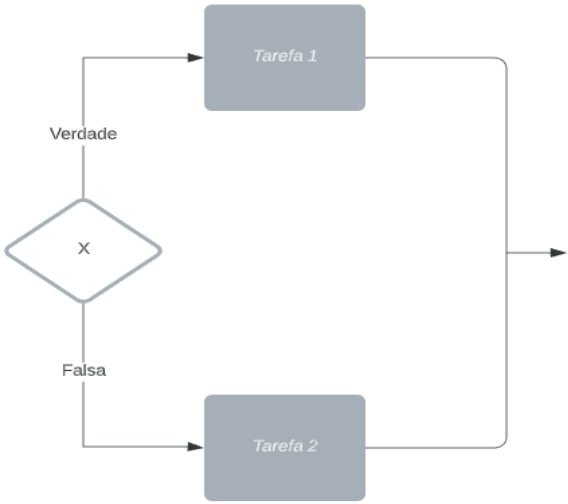
A sequência diz respeito as tarefas que serão executadas uma após a outra, onde seria executada uma tarefa A e logo em seguida seria uma outra tarefa B, como ilustrado na figura 1.

Figura 1: Fluxograma que representa o conceito de sequência.



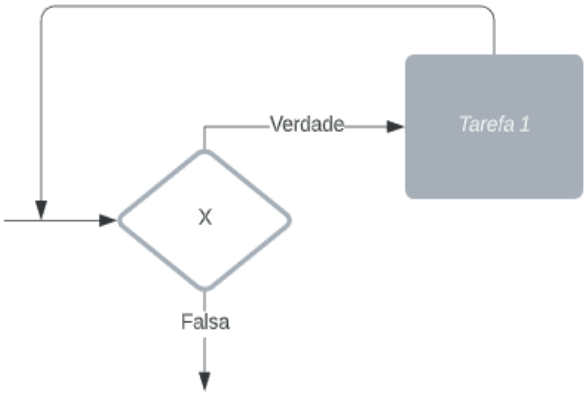

Na decisão, ou seleção, é especificado sobre o fluxo que será tomado, e é utilizado duas formas básicas de condição, comando *if-then* que funciona da seguinte forma: caso a condição lógica representada por X seja verdadeira, é executado a tarefa 1; caso a condição seja falsa é executada a tarefa 2.

Figura 2: Fluxograma que representa o conceito de decisão.




A iteração ou repetição permite que a tarefa seja repetida de acordo com a condição lógica que é realizada de entrada. A entrada sendo verdadeira o programa realizará a execução da tarefa 1 e voltará ao estado onde é verificado se a condição seja verdadeira ou falsa, o programa finaliza a execução quando a condição for falsa como representado na figura 3.

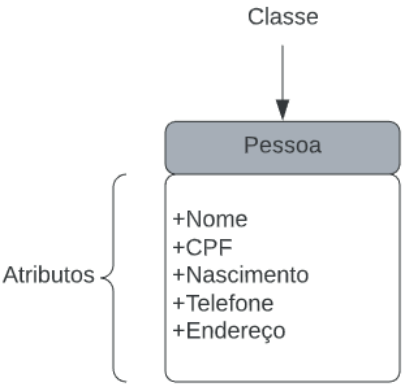
Figura 3: Fluxograma que representa o conceito de iteração.




## 3.2 PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS

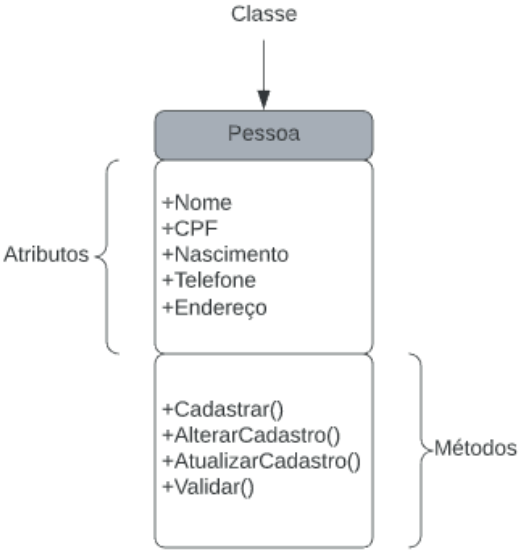
O objeto retrata a classe e passa a existir a partir da instância, pois desta forma ele passa a ter uma identidade. A classe da programação orientada a objetos é responsável por definir o comportamento e estado de um objeto realizando a implementação de atributos e métodos. Os atributos, também chamados de propriedades ou variáveis de classe, dizem respeito ao armazenamento de possíveis informações de um objeto pertencente a uma classe. Na figura 4 é exemplificado com uma classe chamada Pessoa e seus atributos seriam o nome, CPF, data de nascimento, telefone, endereço e podendo conter com mais atributos.

Figura 4: Exemplificação de uma classe e seus atributos.




Os métodos de uma classe apontam e definem o comportamento dos objetos de uma classe enquanto é realizada a execução do programa, pois possuem acesso aos dados armazenados em um objeto. A ligação entre uma classe e um método é chamada de *binding* e um método associado à uma classe é dito que o mesmo está ligado (*bound*) a esta classe.

Figura 5: Exemplificação da classe Pessoa, com seus atributos e métodos.



A programação orientada a objetos também possui os conceitos de Polimorfismo, Herança e Encapsulamento.

O polimorfismo trata do conceito em que duas classes que são derivadas de uma superclasse podem utilizar de um método que possui o mesmo nome, mas contendo o comportamento diferente. Um exemplo de polimorfismo seria a utilização de um método chamado Calcular Vendas sendo utilizado pelas classes Vendedor e Gerente que são derivadas da superclasse Pessoa. O método terá comportamento diferenciado nas chamadas feitas pelas duas classes derivadas.

Este conceito está bastante ligado ao conceito de Herança, onde é utilizado para criar um objeto que herda os atributos de um outro objeto, mas ainda assim possui seus próprios atributos. Utilizando um exemplo de dois objetos, Pessoa e Funcionário, seria realizar a criação do objeto Aluno com os atributos existentes em Pessoa como: nome, CPF, telefone, endereço e ainda assim adicionar novos atributos como matricula, curso, sala e entre outros.

Já o encapsulamento, está relacionado a segmentação do programa em partes isoladas com o objetivo de tornar o sistema o mais fácil e flexível possível para que qualquer usuário possa realizar a utilização sem ser necessário um conhecimento interno do software. Também realiza o controle de acesso aos métodos e atributos de uma classe, tornando os dados tratados mais protegidos e é dividido em dois níveis, o de classe, onde é determinado o acesso da classe inteira e também o nível de membro, no qual é determinado o acesso aos atributos e métodos de uma classe.

# 4 PRINCIPAIS LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

## 4.1 PROGRAMAÇÃO ESTRUTURADA

A evolução das linguagens de programação está ligada à evolução dos hardwares e softwares ao longo dos anos, com as descobertas de novas tecnologias e mais capacidade para os computadores, possibilitando a resolução de problemas mais complexos. Entre a década de 40 e 50 começaram a surgir

as linguagens com o paradigma estruturado e algumas dessas linguagens são: Basic, Fortran, PL/I (também pode ser descrita como PL/1), C, Pascal, dentre outras.

A linguagem BASIC, acrônimo para *Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code* que em português seria traduzido como Código de Instruções Simbólicas de Uso Geral para Principiantes, foi idealizada pelos professores John George Kemeny, Thomas Eugene Kurtz e Mary Kenneth Keller em 1964 com fins didáticos

A família de linguagens Fortran foi criada pelo cientista John Backus junto a IBM na década de 50. O desenvolvimento da linguagem foi para o IBM 704, um computador desenvolvido para cálculos de grande escala. Passou por várias revisões e foram lançadas outras versões da linguagem, e ainda é utilizada nos dias atuais.

A PL/1 teve sua criação pela IBM na década de 60, chegou a ser a principal linguagem ensinada na universidade de Michigan Deadborn, porém teve o declínio com o surgimento de outras linguagens mais modernas.

A linguagem de programação C surgiu em 1972 e foi criada por Dennis Ritchie. O objetivo da linguagem era o desenvolvimento de sistemas operacionais e compiladores, e teve êxito neste objetivo na elaboração do sistema operacional UNIX. É considerada uma das linguagens mais populares.

Pascal foi desenvolvida em 1970 pelo professor Niklaus Wirth, o objetivo da criação foi para o ensinamento de programação estruturada e também para que Niklaus utilizasse em sua fábrica de software. O nome da linguagem é uma homenagem ao matemático Blaise Pascal.

## 4.2 PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS

Na programação orientada a objetos há uma grande variedade de linguagens, porém, as que são mais populares são as baseadas em classes. Os conceitos deste paradigma têm sua origem do Simula 67, o qual foi a primeira linguagem a introduzir a programação orientada a objetos no ano de 1966 e foi criada pelos Kristen Nygaard e Ole-Johan Dahl. Outras lingua-

gens que utilizam deste paradigma são: Smalltalk, C++, Ada, Eiffel, JAVA.

Smalltalk, ou também Smalltak-80, surgiu em 1969 e tornou se pública no ano de 1980. Nesta linguagem, os números, métodos, classes, bloco de código e etc., são todos considerados como objeto, e por este motivo a linguagem é considerada especificamente orientada a objetos.

A linguagem C++, inicialmente era chamada de C com classes, foi desenvolvida como um adicional a linguagem já existente C no Bell Labs em 1983 por Bjarne Stroustrup. É uma das linguagens com paradigma de programação orientada a objetos mais popular comercialmente desde a década de 90 pois possui um grande desempenho e uma grande base de utilizadores.

Ada foi desenvolvida por uma equipe liderada por Jean Ichbiah na década de 70, o propósito da linguagem era o de substituir as linguagens então utilizadas pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos. O nome da linguagem faz referência a Ada Lovelace, que é conhecida por ter desenvolvido o primeiro algoritmo para processamento em máquina.

Eiffel foi desenvolvida em 1985 pelo teórico francês Bertrand Meyer e é uma linguagem de programação puramente orientada a objetos. A sua criação deu se com a necessidade dos engenheiros de software da Eiffel Software de um ambiente para a integração de conceitos da engenharia de software e orientação a objetos. O nome da linguagem faz referência à torre Eiffel, um monumento situado em Paris.

A linguagem JAVA foi desenvolvida por uma equipe dirigida por James Gosling na empresa Sun Microsystems. Esta linguagem possui um diferencial das demais, pois ela é compilada para um *bytecode*[3], que então é interpretado por uma máquina virtual (no caso do Java, JVM ou *Java Virtual Machine*), enquanto outras linguagens são compiladas para código nativo. No ano de 2008, a empresa Oracle Corporation adquiriu a linguagem.

3 Bytecode é um código binário intermediário que atua entre o código fonte e a linguagem de máquina, permitindo que a aplicação possa ser executada em qualquer plataforma, como Windows, Linux ou MAC, por exemplo.

# 5 VANTAGENS

## 5.1 VANTAGENS DA PROGRAMAÇÃO ESTRUTURADA

"Dividir para conquistar". Resumidamente, esse seria o conceito de modularidade ou subprogramação. Quando há um problema computacional demasiadamente complexo, faz-se necessário dividi-lo em partes menores, conhecido como subprogramas. Na programação estruturada é comum usar os termos procedimento ou função, e método para orientação a objetos. Os subprogramas seriam os blocos de código que são escritos de forma lógica a fim de obter a solução de um problema computacional menor. Se este problema menor ainda não tiver atingido a solução mais imediata possível, significa que é necessário subdividi-lo em mais um subprograma, até que se obtenha sua solução. Cada um destes subprogramas está ligado a um subprograma maior, e reunidos irá ajudar a compor a solução do problema computacional original.

A subprogramação utilizada na programação estruturada, quando aplicada de forma eficiente, provê algumas vantagens aos programadores:

- Como cada subprograma possui uma codificação mais simples por se tratar de um problema menor, torna-se mais fácil entendê-lo e analisá-lo separadamente. Este é o princípio da legibilidade.

- Tanto a detecção e a correção de erros quando as modificações e as expansões no código se tornam mais fáceis. É o princípio da manutenibilidade.

- Documentação de sistemas de forma mais limpa.

- Torna-se praticável o desenvolvimento de um software por uma equipe, já que a dificuldade de entendimento do código será minimizada. Assim, o desempenho dos programadores é otimizado.

• É possível a reutilização de software, atingindo assim uma economia de tempo e de trabalho, reduzindo gastos. Para isso, basta que seja criado uma biblioteca que reunirá um conjunto de subprogramas ou sub-rotinas para trazer a solução para uma série de problemas cotidianos. Então, com o aproveitamento destas bibliotecas ao desenvolver um novo software, a quantidade de código a ser escrito passa ser reduzido.

Outra vantagem do paradigma estruturado seria oferecer um controle mais efetivo sobre o fluxo de execução do programa se comparado a outros paradigmas, já que o código é escrito seguindo uma sequência lógica e sem saltos (GOTO).

A simplicidade dos conceitos de sua estrutura também o torna o ideal para introduzir o aprendizado de programação para aqueles que desejam ingressar nesta área. Um software baseado na programação leva menos tempo para ser desenvolvido, testado e depurado. Esse paradigma é ideal para hardwares mais modestos.

Além disso, oferece suporte a tipos abstratos de dados[4], sendo bastante útil para rotinas matemáticas, e ainda ser reaproveitado em diferentes softwares.

## 5.2 VANTAGENS DA PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS

A programação orientada a objetos busca representar ao máximo os objetos do mundo real através de classes, inclusive, observando suas características (atributos) e comportamentos (métodos). Sendo assim, graças as essas estruturas, este paradigma apresenta outra vantagem, que seria possibilitar a reutilização de código, abreviando a quantidade de linhas e o tempo de desenvolvimento do sistema. O conceito de herança seria um dos principais responsáveis por essa vantagem,

4 Tipo abstrato de dados (TAD) é um modelo matemático formado por conjunto de dados e operadores que irão manipular diretamente esses dados, e que tem como objetivo encapsular esse modelo de dados e os procedimentos que irão operar sobre os valores armazenados.

já que uma subclasse ganha todos os métodos e atributos da superclasse, o que evita o risco de duplicar trechos de código. Além disso, a criação de bibliotecas se torna muito mais fácil na programação orientada a objetos, já que nelas estão guardadas as representações das classes, incluindo seus métodos e atributos, que são mais compreensíveis, enquanto o paradigma estruturado foca em trazer as funções e procedimentos, que demanda um pouco mais esforço para entender.

Apesar de possuir uma estrutura completamente diferente da programação estruturada, a orientação a objetos também demonstra ser muito eficiente no que diz respeito à legibilidade e manutenibilidade dos códigos. Isso se deve à forma de estruturação desses códigos, que é feito por classes, que torna o todo o projeto organizado e facilmente entendível. Assim, em vez de buscar por uma função, basta localizar a classe que deseja corrigir ou aprimorar. O polimorfismo também beneficia a manutenção e a legibilidade do software, porque permite que um método pode manter o mesmo nome e ser escrito de formas diferentes, de acordo com a necessidade do objeto, enquanto na programação estruturada seria necessário escrever diferentes funções, mas com uma execução parecida. Lembrando que poupar tempo e dinheiro será primordial em determinados projetos de desenvolvimento de software.

No aspecto à segurança, a programação orientada a objetos possui uma importante vantagem, que seria o conceito de encapsulamento, que evita o acesso direto às propriedades dos objetos. Para ter acesso e manipular a essas propriedades, deve-se utilizar métodos específicos, os chamados *getters* e *setters*. Ou seja, toda manipulação não feita diretamente na classe, mas sim em uma instância[5] da classe ou objeto. Há também a possibilidade de restringir ou não o acesso a métodos e atributos fora da classe usando os modificadores de acesso, como *public*, *private* ou *protected*.

A orientação a objetos lida bem com desenvolvimento de sistemas complexos, que podem ser facilmente expandidos, que

5 Instanciar uma classe é o ato de criar um novo objeto de uma determinada classe usando o operador new. Esse objeto terá os mesmos métodos e os mesmos atributos disponíveis na classe.

não precisarão ser substituídos rapidamente e que são adaptados à arquitetura cliente/servidor[6].

# 6 DESVANTAGENS

## 6.1 DESVANTAGENS DA PROGRAMAÇÃO ESTRUTURADA

O programador que desenvolve com o paradigma estruturado deve ter cuidado para não criar um código desordenado quando fizer o tratamento dos dados juntamente com as funções. Se o entendimento do código for prejudicado, torna-se muito trabalhoso tanto para realizar manutenções e aprimoramentos do mesmo quanto para reutilizar as sub-rotinas. Outro ponto em que é necessário ter atenção seria quanto às modificações do nas estruturas dos dados. Qualquer alteração que não for pensada adequadamente pode ocasionar *bugs* no sistema. Entender plenamente o funcionamento o sistema é de suma importância em um momento tão crítico como a manutenção do código.

Ao contrário que ocorre com a programação orientada a objetos, no paradigma estruturado, não existe o conceito de polimorfismo, portanto, é imperativo criar uma nova função com um nome diferente, mesmo que seja necessário fazer uma pequena mudança. Também não existe o conceito de herança para beneficiar o reaproveitamento de código.

Nos dias atuais, para desenvolver um sistema demasiadamente complexo, mesmo utilizando o princípio da modularidade, pois a programação estruturada foi desenvolvida numa época em que os problemas computacionais eram mais básicos, em que bastava apenas um fluxo sequencial de execução. Outro ponto negativo importante é que este paradigma não foi pensado para realizar integrações entre vários sistemas naquela época.

---

6 Arquitetura cliente/servidor é definido por uma estrutura em que os servidores realizam maior parte do processamento da informação e envia os dados para as máquinas clientes que, por sua vez, são responsáveis por realizar requisições ao servidor e por obter os dados enviados por ele. Para isso, é necessário que essas máquinas estejam conectadas em rede através de um mesmo protocolo de acesso, como TCP/IP.

## 6.2 DESVANTAGENS DA PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS

Apesar de ser raro, nem todos os problemas computacionais poderão ser abstraídos para uma estrutura de orientação a objetos. Isso ocorre quando os objetos não podem ser classificados de forma similar ou quando o relacionamento entre as classes muda de tempos em tempos. Também pode ocorrer de programadores de uma mesma equipe não concordem plenamente com a análise de abstração de um objeto.

Embora para os computadores modernos essa diferença é quase imperceptível, compilar ou executar uma aplicação baseada em orientação a objetos requere maior desempenho computacional, com relação a programação estruturada. Isso se deve a utilização de estrutura de classes que irão solicitar vários desvios durante a execução.

As documentações dos sistemas desenvolvidos com o paradigma orientado a objetos tendem a ser complexas e extensas. Essa mesma complexidade mencionada também torna esse paradigma mais desafiador para aprender se comparada ao paradigma estruturado, principalmente nos casos em que o indivíduo está se iniciando na programação, assim como demanda maior esforço para que seja a análise e modelagem adequada de um software orientado a objetos. Não é difícil cometer um erro ou se confundir em alguns conceitos ou até mesmo refazer a hierarquia de classes e repensar o relacionamento entre elas, mesmo sendo um profissional experiente. Não dominar corretamente os conceitos da orientação a objetos pode acarretar numa análise mal projetada e no desenvolvimento de um sistema problemático, ineficaz e com performance reduzida.

Na obra *Coders at Work – Reflections on the Craft of Programming*, algums programadores renomados criticam duramente a complexidade do paradigma orientado a objetos:

> Acho que agora temos pessoas tão inteligentes quanto as pessoas que tínhamos há 30 anos e que estão sendo levadas ao limite de suas habilidades como as pessoas eram há 30 anos. Mas a diferença

é que não dá mais para entender tudo o que está acontecendo. — GUY STEELE[7]

O problema com as linguagens orientadas a objetos é que elas têm todo esse ambiente implícito que carregam consigo. Você queria uma banana, mas o que você conseguiu foi um gorila segurando a banana e toda a selva.” —JOE ARMSTRONG[8]

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, a maioria das linguagens e dos sistemas desenvolvidos para os mais variados tipos de negócios utilizam o paradigma orientado a objetos, pois este paradigma foi criado com o intuito da aproximação das estruturas de um programa para o manuseio de estruturas do mundo real, e com o nome “objeto” traz a representação de qualquer coisa que seja do mundo real.

Por outro lado, as linguagens de paradigma estruturado são mais utilizadas no ensino, como uma introdução para aqueles que estão começando a jornada no mundo da programação. É comumente utilizada a linguagem C, que faz da utilização do paradigma estruturado, para o desenvolvimento de softwares para sistemas embarcados, empresas aeroespaciais e também no desenvolvimento de softwares voltados para a área de telecomunicações. Isso demonstra que ainda nos dias atuais a programação estruturada é muito importante e relevante ao setor da tecnologia, e que sem ela vários produtos poderiam talvez não ser desenvolvidos.

Baseado neste estudo, conclui-se que um paradigma não é mais importante que o outro. Infelizmente, entre os programadores mais jovens, existe uma aversão ao paradigma estruturado, enquanto os mais experientes têm uma resistência para se aprofundar na programação orientada a objetos. É importante ressaltar que ambos paradigmas são muito necessários para o

7 SEIBEL, Peter. Coders at Work – Reflections on the Craft of Programming. Disponível em: <http://www.codersatwork.com/>. Acesso em 24 de agosto de 2020.

8 SEIBEL, Peter. Coders at Work – Reflections on the Craft of Programming. Disponível em: <http://www.codersatwork.com/>. Acesso em 24 de agosto de 2020.

mundo moderno, ambos são excelentes no que se propõem a fazer. Por isso, em vez de culpar qualquer um deles, deve-se fazer um estudo minucioso de qual seria o mais adequado ao projeto a ser desenvolvido. E deve-se valorizar as inovações tecnológicas que ocorreram ao longo dos anos graças as evoluções da programação.

## REFERÊNCIAS


BERNARDI, Ricardo. **Vantagens de programar com orientação a objetos (OOP)**. Disponível em: http://dev.rbtech.info/vantagens-de-programar-com-orientacao-a-objetos-oop/. Acesso em: 26 ago. 2020.

BERTOL, Omero Francisco. **Introdução à programação estruturada**. Disponível em: https://www.devmedia.com.br/introducao-a-programacao-estruturada/24951. Acesso em: 24 ago. 2020.

CARVALHO, Erick. **Programação procedural vs. programação orientada a objetos**. Disponível em: https://bar8.com.br/abap-oo-versus-procedural-50474ff371a5. Acesso em: 26 ago. 2020.

DAVY, Rodrigo. **Programação estruturada**. Disponível em: https://platzi.com.br/blog/programacao-estruturada/. Acesso em: 21 ago. 2020.

GASPAROTTO, Henrique Machado. **Os 4 pilares da programação orientada a objetos**. Disponível em: https://www.devmedia.com.br/os-4-pilares-da-programacao-orientada-a-objetos/9264. Acesso em: 25 ago. 2020.

LEMOS, Hailton David. **Encapsulamento, polimorfismo, herança em java**. Disponível em: https://www.devmedia.com.br/encapsulamento-polimorfismo-heranca-em-java/12991. Acesso em: 27 ago. 2020.

MACORATTI, José Carlos. **Uma revisão sobre a programação orientada a objetos (POO)**. Disponível em: http://www.macoratti.net/11/08/net_oop1.htm. Acesso em: 27 ago. 2020.

MORIMOTO, Carlos E. **Bytecode**. Disponível em: https://www.hardware.com.br/termos/bytecode. Acesso em: 27 ago. 2020.

PACIEVITCH, Yuri. **História da programação**. Disponível em: https://www.infoescola.com/informatica/historia-da-programacao. Acesso em: 20 ago. 2020.

PESSOA, Julie. **Tipos de dados abstratos**. Disponível em: http://www.dsc.ufcg.edu.br/~pet/jornal/maio2014/materias/recapitulando.html. Acesso em: 25 ago. 2020.

PIRES JUNIOR, Waldir R. **Orientação por objetos:** vantagens e desvantagens. Disponível em: https://wpjr2.wordpress.com/2008/04/23/orientacao-por-objetos-vantagens-e-desvantagens/. Acesso em: 26 ago. 2020.

SANTANA, Eduardo Felipe Zambom. **Principais conceitos da programação orientada a objetos**. Disponível em: https://www.devmedia.com.br/principais-conceitos-da-programacao-orientada-a-objetos/32285. Acesso em: 24 ago. 2020.

SANTOS, Igor Abílio Santana. **Programação orientada a objetos versus programação estruturada**. Disponível em: https://www.devmedia.com.br/programacao-orientada-a-objetos-versus-programacao-estruturada/32813. Acesso em: 20 ago. 2020.

SOARES, Paulo Ricardo. **Paradigmas de programação – parte 2 – paradigma estruturado**. Disponível em: https://industria4-0.com/paradigmas-de-programacao-parte-2-paradigma-estruturado/. Acesso em: 21 ago. 2020.

# DESENVOLVIMENTO WEB MODERNO

## MODERN WEB DEVELOPMENT

Reginaldo Campos Ataíde[1]
Thiago Dias[2]
Deivid Amadeus da Silva Almeida[3]
Ivan Vianna[4]

**RESUMO:** Este artigo visa apresentar o estudo de algumas técnicas de desenvolvimento para aplicações web disponíveis. São apresentadas suas características, aspectos positivos e negativos. O objetivo não é definir qual é a melhor ou pior tecnologia, mas sim, definir, com maior objetividade, quais tecnologias para desenvolvimento web moderno atualmente é mais favorável ao desenvolvimento web, dando um ponta pé inicial de quais tecnologias devem ser estudadas, visando o melhor desempenho e melhor ambiente para o desenvolvedor.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento web. Tecnologias web. Processo web.

1 Discente do Curso de Sistema de Informação. E-mail: llt.dias@outlook.com
2 Discente do Curso de Sistema da Informação. E-mail: reginaldobm12@gmail.com
3 Discente do Curso de Sistema de Informação. E-mail: deividamadeus1997@gmail.com
4 Docente do Curso de Sistema de Informação. E-mail:Ivan.vianna@ubm.br

**ABSTRACT:** This article aims to present the study of some development techniques for available web applications. Its characteristics, positive and negative aspects are presented. The objective is not to define what is the best or worst technology, but rather to define, with greater objectivity, which technologies for modern web development is currently more favorable to web development, giving an initial kick-start of which technologies should be studied, aiming at the better performance and better environment for the developer.

**Keywords:** Web development. Web technologies. Web process.

## 1 INTRODUÇÃO

O objetivo dessa pesquisa é mostrar parte das ferramentas necessárias atualmente para desenvolvimento web moderno, muitos acham que desenvolvimento web é somente HTML, CSS e um pouco de conhecimento em JavaScript, porém não é bem assim, esses são apenas alguns pilares básicos do desenvolvimento web.

Para explorar o máximo dos recursos de cada aplicação web, se faz necessário que o desenvolvedor conheça bem as características de cada aplicação e estude cada uma delas, isso demanda tempo e para ajudar daremos um ponta pé inicial para estudos, mostrando algumas tecnologias que se fazem extremamente necessárias para o desenvolvimento web moderno.

Nesse artigo mostraremos alguns dos pilares fundamentais no desenvolvimento web moderno, apresentaremos de forma concisa e objetiva as seguintes tecnologias: HTTPS, SPA, Frameworks, CSS Frameworks, Module Bundler e Application State.

## 2 HTTPS

O protocolo HTTPS foi criado em 1994 pela Netscape Communications, para ser usado no seu navegador Netscape e hoje é sinônimo de segurança na rede, sendo bastante utilizado na internet.

Mas o que ele significa? Simples! HTTPS é a sigla para Hyper Text Transfer Protocol Secure (ou “Protocolo de Transferência de Hipertexto Seguro”, em português). Sua função é criar um canal seguro de transferência de informações entre o navegador do usuário e o servidor. Assim, ele evita que pessoas mal-intencionadas efetuem escutas ilegais dos dados transferidos na rede.

Com essa explicação, você deve imaginar que essa tecnologia é bastante utilizada em sites que lidam com informações sigilosas, né? O protocolo HTTPS é utilizado para melhorar a segurança de sites com trocas de informações delicadas, como cartões de créditos e senhas.

Já a tecnologia HTTP é um pouquinho diferente. Afinal, quando um site utiliza somente esse protocolo, é possível que suas informações sejam interceptadas e facilmente visualizadas por hackers, os famosos *Eavesdroppers*.

Podemos fazer uma analogia das técnicas de interceptação de dados sobre o protocolo HTTP com as escutas de telefone, nas quais uma pessoa se conecta à linha telefônica e passa a ouvir tudo que é falado nas ligações. Nada agradável, né?

O exemplo também poderia se estender para outra pessoa lendo tudo o que você falou no messenger com alguém, por exemplo. Já imaginou se um desconhecido pudesse ouvir ou ler todas as suas conversas?

O uso do HTTPS veio como uma solução para proteger os sites e usuários contra este tipo de escuta ilegal. E o melhor: a adoção do HTTPS não traz nenhum problema ao usuário final porque a única mudança que ele irá perceber é a modificação de uma letra no início da url do seu site.

Na prática, o que a instalação do HTTPS proporciona ao usuário final é que as URLs do seu site vão iniciar com “https://” ao invés do padrão “http://”. E o navegador do usuário mostrará um cadeado verde sinalizando que o seu site é seguro e confiável! Maravilha, né?

Ter o cadeado *verdinho* e essa sinalização de “Seguro”, além de proteger as informações dos seus usuários, passa uma imagem de muito mais credibilidade e segurança. Assim, eles fica-

rão mais confiantes em realizar uma compra no seu site, por exemplo. Assim, se você é dono de um *ecommerce* ou então de um site em que há registro de usuários, é essencial utilizar o protocolo HTTPS.

## 2.1 SPA

Um SPA é uma aplicação web que roda em uma única página, se assemelhando a um aplicativo desktop ou um mobile, são leigamente chamadas de “páginas ajax”, um bom exemplo que gosto de usar é o Gmail do Google, ele é um SPA, a navegação na aplicação rola toda em uma única página e todo o conteúdo é carregado de uma vez ou obtido dinamicamente

A aplicação SPA pode ser construída de diversas formas, a mais comum é ser auxiliado por um framework Javascript como angular ou Vue.js, ambos possuem sistemas de rotas e clientes HTTP para fazer requisições a recursos externos (uma API, por exemplo).

As aplicações e os sites SPA, fazem uma transição entre os templates carregados, sem reload de página e sem que o usuário viaje de uma página para outra. Eu até sabia o que era e como diferenciar, mas eu particularmente sempre disse que não gostava desse tipo de aplicação. Um dos motivos era com relação a indexação no Google. Eu não tinha ideia de como a indexação era feita, já que navegamos pelo sistema através de requisições AJAX. Até um tempo atrás o Google não indexava JavaScript. O outro motivo era o mesmo de muitos: eu não tinha motivo e não queria sair da minha zona de conforto. (se tem algo que aprendi nos últimos meses é que nunca devemos estacionar na zona de conforto então se você está na zona de conforto, saia dela).

Antes de prosseguir vale a pena entender e diferenciar e entender outros conceitos que confundem com SPA.

**Parallax:** O efeito parallax utilizando em alguns sites one page não é Single Page Application, por quê? Porque no parallax todo o conteúdo é estático em uma única página e você acessa ele apenas “scrollando”, pode usar âncoras também, mas não muda o fato da âncora apenas descer a página.

**Infinite Scroll:** Infinite scroll (Scroll infinito), não necessariamente é SPA, pode até ser, mas não necessariamente. O Infinite Scroll é uma técnica usada para reduzir o tempo de carregamento de uma página a fracionado o conteúdo dela e conforme você vai "scrollando" Ele vai carregando o conteúdo, você pode ver isso em lojas virtuais que não tem SPA.

### 2.1.1- As vantagens de usar o SPA são:

**Melhor experiência do usuário:**

O usuário tem uma experiência melhor navegando no sistema, dando a impressão até de que é um sistema desktop, já que não possui refreshs na página. Dependendo do sistema ele é capaz de funcionar mesmo se o usuário perder a conexão com a Internet. Aqui podemos também fazer uma comparação com apps mobile, já que os apps híbridos são SPA. O que faz com que o usuário que acessa uma SPA pelo celular tem a impressão de estar usando um app e não acessando um site no navegador.

**Performance:** O sistema fica muito mais performático, por que ele carrega o sistema completo na primeira requisição de forma assíncrona que permite o usuário já consumir o conteúdo sem esperar que tudo seja carregado por completo e as requisições seguintes são responsáveis por trafegar apenas os dados brutos entre o cliente e o servidor, normalmente no formato JSON.

**Responsabilidade do client-side:** Nas SPA o lado cliente ganha mais responsabilidade, já que delegamos lógica ao seu lado e isso acaba ajudando a performance também, dado que o tempo de requisição diminui bastante.

**Facilidade de manutenção:** Quando trabalhamos com SPA deixamos muito bem separado as partes do que é front-end e o que é back-end, já que todo o back costuma estar em uma API, assim podemos fazer mudanças em back sem precisar mexer em nada de front e vice versa.

## 2.2 FRAMEWORKS

Os frameworks são considerados como caixas de ferramentas que auxiliam, agilizam e facilitam o desenvolvimento de softwares. A World Wide Web Consortium5 (W3C) definiu padrões para a criação e desenvolvimento de web sites que facilita e normaliza a sua utilização. Quando um projeto web é definido e segue esses padrões ele é capaz de beneficiar não só o usuário que o utiliza mas também todos que acompanha este software, o mesmo sendo compatível com as diversas versões e tipos de navegadores web e dispositivos (computadores pessoais, dispositivos móveis, etc.) provendo também recursos para que pessoas com necessidades visuais ou físicas tenham condições de utilizar e interagir com o mesmo

### 2.2.1 Como um Framework funciona?

As funções do framework têm uma grande variedade de parâmetros, garantindo ao desenvolvedor a possibilidade de fazer personalizações, de acordo com as necessidades do projeto. Para isso, são usados princípios de orientação a objeto, como a abstração, o polimorfismo e a herança.

Aliás, vale ressaltar que a integração entre as diferentes funções dessa ferramenta é uma de suas principais características. Isso significa que as ferramentas são feitas de forma aberta, para que se adaptem a uma grande quantidade de situações. Os pontos providos pelo framework são chamados de frozen spots ou hook points. Já a instanciação e a personalização criadas pelo desenvolvedor são denominadas de host spots.

### 2.2.2 Principais Frameworks

Existem diversos frameworks disponíveis no mercado e é comum que grandes projetos utilizem mais de um deles no desenvolvimento de software. Isso porque cada uma dessas estruturas pode ser usada em uma parte distinta da programação. Conheça alguns deles a seguir!

**Bootstrap**

O Bootstrap é a alternativa mais conhecida para o desenvolvimento de código de folhas de estilo (Cascading Style Sheets — CSS). Ele é responsável pelo estilo visual das páginas e pela criação de um resultado incrível. Uma das principais vantagens de utilizá-lo em um projeto está ligada à responsividade. É ela que dá às telas e aos elementos que as formam, a capacidade de se adequar ao tamanho do dispositivo do usuário — seja um desktop, seja um smartphone.

**Ionic**

Framework de desenvolvimento de aplicações híbridas, o Ionic utiliza linguagens não nativas para criar aplicativos que possam ser executados em dispositivos móveis. Ele fornece diversas ferramentas que facilitam a criação de aplicações híbridas, possíveis de serem instaladas a partir das principais lojas de aplicativos do mercado. Além disso, essa ferramenta suporta linguagens web, como linguagem de marcação de hipertexto (HyperText Markup Language — HTML), CSS e JavaScript.

**Angular**

O Angular é um framework criado especialmente para auxiliar na interação entre o front e o back end. É muito utilizado em projetos de página única para possibilitar a comunicação entre o computador local e o servidor. Esse recurso permite que muitas interações e tarefas sejam realizadas diretamente na máquina do usuário. Isso poupa processamento e desafoga o link de internet.

## 2.3 CSS FRAMEWORKS

O framework é um facilitador no desenvolvimento de diversas aplicações, e sem dúvida, sua utilização poupa tempo e custos para quem utiliza, pois de forma mais básica, são templates que provém diversas funções que podem ser utilizadas em qualquer projeto e com um resultado bem positivo. No mercado diversas são as opções disponíveis de frameworks, e ver sobre

cada um deles é uma excelente forma de encontrar aquele que poderá se adequar ao projeto desejado. Abaixo mostraremos alguns desses frameworks CSS e suas características.

**Bootstrap**

O Bootstrap é um framework desenvolvido pelo Twitter, que traz consigo características bem definidas de inicialização rápida, ou seja, possuem estilos predefinidos (prontos). Com a utilização do Bootstrap é possível a criação de sites responsivos, que são aqueles que se adaptam ao tamanho da tela que estará sendo utilizada pelo usuário.

As características dos componentes também podem ser levadas em consideração, já que seus modelos utilizam de uma mesma característica onde, além da harmonia na criação de projetos, possui um design padrão de arredondamento de bordas.

É uma ferramenta de código-fonte aberto que auxilia no desenvolvimento HTML, CSS e JavaScript, criando experiências mais amigáveis aos que utilizam e facilitando a vida dos desenvolvedores.

**Materialize CSS**

A utilização do MaterializeCSS facilita a criação de interfaces dentro do padrão do material design feito pela Google, que tem como intuito de unificar a experiência do usuário na usabilidade dos seus softwares seja em smartphones, desktops ou tablets.

Outra característica do Material Design incorporado no MaterializeCSS são seus ícone e formatos, assim como a boa inspiração de cores. Uma ferramenta que possui bastante recursos visuais e muito mais leve, se comparado a outros frameworks. Com design mais quadrados, se comparado ao Bootstrap, seus componentes não deixam a desejar quando o quesito é beleza.

**Foundation**

Completamente personalizável, o Foundation é um framework que possui como forte característica sua responsividade, sem a necessidade de adicionar classes, facilitando assim a criação

de sites, aplicativos e muito mais. Conta com uma equipe bastante empenhada no fornecimento de serviços e cursos como forma de suporte.

Possui design mais profissional, com cores bem definidas e formatos de componentes mais quadrados, que difere bastante dos componentes já apresentados acima. Diversas são as empresas que utilizam o framework Foundation, como: Adobe, ebay, HP, Amazon, Samsung, dentre outras.

## 2.4 MODULE BUNDLERS

Module Bundlers são ferramentas que processam seus aplicativos JavaScript modernos, constroem internamente gráficos de dependência que mapeiam todos os módulos de que seus projetos precisam e geram um ou mais pacotes de módulos.

Eles são normalmente diferentes em termos de quantos tipos de arquivos não JavaScript (css, json, png, jpeg, xml, etc.) eles podem processar, se eles vão gerar pacotes npm ou aplicativos completos, e quantas configurações personalizadas eles apoiam.

Eles não são task runners de uso geral ou construídos, mas podem ser usados como aqueles com comportamento suportado muito limitado (como webpack com foco na automação de tarefas de front-end e na geração de um site).

Eles são frequentemente lançados como uma ferramenta CLI na qual você pode usar para rodar servidores de desenvolvimento, observar mudança de arquivos, gerar build de produção e servir arquivos estáticos. Eles também podem oferecer suporte a pacotes npm que você pode integrar em outros fluxos de trabalho.

## 2.5 STATE MANAGEMENT

Em um aplicativo, o estado é a interface entre seus dados de qualquer tipo de back-end ou alteração local e a representação desses dados com elementos de IU no front-end. O estado é capaz de manter os dados de diferentes componentes sincronizados porque cada atualização de estado irá renderizar

novamente todos os componentes relevantes. O estado pode ser um meio de comunicação entre diferentes componentes também. Em bibliotecas como React em que cada componente pode ter seu próprio estado se torna necessário uma solução para se gerenciar o estado da aplicação. Quando um usuário executa uma ação e altera o estado de um componente, isso pode ter um impacto no estado de vários outros componentes. Em aplicações pequenas isso pode não ser um problema. No entanto, quanto mais complexo a aplicação se torna, mais difícil se torna manter o controle de todas as dependências.

**Redux**

Redux foi criado para solucionar o problema de gerenciamento de estado em aplicações complexas. Redux é uma ferramenta de gerenciamento de estado leve para aplicações JavaScript.

Redux é uma das mais populares soluções de gerenciamento de estado, ajudando no desenvolvimento de aplicações que se comportam da mesma maneira, que são fácil de testar e que podem rodar em diferentes ambientes. Uma das principais maneiras pelas quais o Redux faz isso é usando um redux store, de forma que toda a aplicação seja tratada por um objeto de estado.

Com todo o estado do seu aplicativo centralizado em um local, cada componente tem acesso direto ao estado

**Conceitos principais do Redux**

Redux traz consigo alguns conceitos novos para o gerenciamento do estado tais como actions, action creators, reducers e stores. Em última análise, esses conceitos são usados para criar uma arquitetura de gerenciamento de estado simples.

**Action**

Action (Ação) é uma informação estática sobre um evento que inicia uma mudança de estado. A ação de atualizar um estado da aplicação sempre se inicia com uma Action. Ações são objetos JavaScript, contendo um type and um payload.

### Action Creators

Action Creators são funções que ajudam na criação das actions. São funções que retornam objetos action que são retornados para vários reducers na aplicação.

### Reducer

Reducer é uma função pura que toma conta de colocar as mudanças no estado retornando um novo estado. O reducer vai receber o estado anterior e a action como parâmetros e retornara o application state. Conforme o aplicativo cresce, o seu único reducer será divido em vários reducers menores que gerenciam certas partes da árvore do estado.

### Redux Store

O Redux Store é o estado do aplicativo armazenado como objetos. Sempre que o store for atualizado, ele atualizará os componentes React inscritos nele. Os stores deverão ser criados com Redux. O store tem a responsabilidade de armazenar, ler e atualizar o estado.

## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse artigo vimos algumas das principais tecnologias para desenvolvimento web moderno disponíveis atualmente além de suas características e funcionalidades. Desta forma, a escolha cabe a partir da necessidade de cada projeto e do seu desenvolvedor.

Desta forma, pode-se concluir que a utilização dessas tecnologias é adequada para o processo de desenvolvimento web por manter uma transparência em sua usabilidade, essas ferramentas direcionarão o programador com certa eficácia no processo de construção de um site ou portal web garantindo agilidade e padrão de código que proporcionarão a facilidade na manutenção do mesmo.

## REFERÊNCIAS


AMARAL, Tiago. **Página Tiago Amaral**. Disponível em: https://blog.configr.com/author/tiago-amaral/. Acesso em: 30 jun. 2020.

ANDRADE, Ana Paula de. Os principais frameworks CSS. **Treinaweb**, 2 Disponível em: https://www.treinaweb.com.br/blog/os-principais-frameworks-css/. Acesso em: 30 jun. 2020.

ENTENDA o que é Framework. **Gaea**. Disponível em: https://gaea.com.br/entenda-o-que-e-framework/. Acesso em: 30 jun. 2020.

FREECODECAMP. Disponível em: https://www.freecodecamp.org/news/. Acesso em: 30 jun. 2020. Acesso em: 30 jun. 2020.

IGHODARO, Neo. **Por que usar Redux?** Um tutorial com exemplos. Disponível em: https://blog.logrocket.com/why-use-redux-reasons-with-clear-examples-d21bffd5835/. Acesso em: 20 out. 2020.

REDUX. Disponível em: https://redux.js.org/. Acesso em: 30 jun. 2020.

VITÓRIA, Maria. O que é single page application? **Locweb**, 08 jun. 2016.Disponível em: https://blog.locaweb.com.br/artigos/desenvolvimento-artigos/o-que-e-single-page-application/. Acesso em: 30 jun. 2020.

# DISPONIBILIDADE DE SISTEMAS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM AMBIENTES DE MISSÃO CRÍTICA

## AVAILABILITY OF CONTROL AND AUTOMATION SYSTEMS IN CRITICAL MISSION ENVIRONMENTS

José Maurício dos Santos Pinheiro[1]

**RESUMO:** São inegáveis os benefícios que os sistemas de controle e automação trazem para as empresas em uma economia em constante transformação e fortemente dependente de meios capazes de suportar modelos de negócio cada vez mais competitivos. As redes de automação e controle estão disponíveis, com sistemas maduros e capazes de atender as necessidades particulares de cada negócio. As empresas necessitam dessas sofisticadas estruturas, a fim de manter disponíveis os sistemas industriais, otimizar o acesso dos usuários às informações e atender aos requisitos dos processos operacionais e gerenciais, em prol de maior eficiência e da maior qualidade nos seus produtos e serviços. A disponibilidade dos serviços e a integridade das informações nesses ambientes são aspectos que interferem diretamente no atendimento dos usuários e nos custos do negócio. Todavia, projetos dessa natureza, destinados aos sistemas de missão crítica e de alta disponibilidade, exigem conhecimento técnico, manutenção permanente, atendimento a rígidos requisitos de segurança, o que demanda investimentos financeiros normalmente elevados.

**Palavras-chave:** Disponibilidade. Integridade. Missão crítica. Automação. Controle

1 Discente do Curso de Sistemas de Informação do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM), RJ. E-mail: jm.pinheiro@uol.com.br

**ABSTRACT:** The benefits that control and automation systems bring to companies in an economy in constant transformation and heavily dependent on means capable of supporting increasingly competitive business models are undeniable. Automation and control networks are available, with mature systems capable of meeting the particular needs of each business. Companies need these sophisticated structures in order to keep industrial systems available, optimize users' access to information and meet the requirements of operational and managerial processes, in favor of greater efficiency and higher quality in their products and services. The availability of services and the integrity of the information in these environments are aspects that directly interfere in the service to users and business costs. However, projects of this nature, intended for mission critical and high availability systems, require technical knowledge, permanent maintenance, compliance with strict security requirements, which requires normally high financial investments.

**Keywords:** Availability. Integrity. Critical mission. Automation. Control.

## 1 INTRODUÇÃO

A "missão" de um sistema de controle e automação corresponde ao período de tempo no qual este sistema deve desempenhar corretamente suas funcionalidades, sem interrupções. Por exemplo, uma empresa que utilize uma a rede de dados no horário de 8h às 20h, não pode ter seu sistema fora do ar durante este tempo. Se o sistema vier a apresentar paradas fora deste período, estas não prejudicam sua utilização quando ele é necessário. Já um processo que utilize uma rede de comunicação 24h por dia obviamente apresenta uma missão contínua, de forma que qualquer tipo de parada não planejada deve ser evitado. Neste caso específico, as paradas planejadas também não devem acontecer dentro do período de missão, ou seja, uso pleno de sua capacidade.

Em sistemas computacionais, missão crítica é descrito como um ambiente tecnológico construído para evitar a paralisação dos serviços de rede e a indisponibilidade ou perda de dados importantes para o negócio, principalmente por paradas não planejadas (decorrentes de defeitos) e até mesmo por paradas planejadas (para atualizações, manutenção preventiva e atividades correlatas). Dessa forma, toda parada dentro do período de missão pode ser considerada uma falha na disponibilidade dos sistemas.

Pode-se resumir "missão crítica" como a operação 24 x 7 (24 horas por dia, 7 dias por semana) dos sistemas envolvidos, já considerando a possível falha de algum dispositivo da rede. Conforme Ribeiro (2003), "Mudanças dos parâmetros do processo tendem a reduzir a eficiência da sintonia do controlador e podem tornar o processo mais difícil de ser controlado". Para que isso não ocorra, uma série de equipamentos e tecnologias são aplicados ao ambiente visando a proteção dos ativos computacionais. Nessa categoria são enquadrados os servidores, roteadores, *firewalls* e todos os equipamentos que tenham uma atuação sistêmica sobre a rede de computadores.

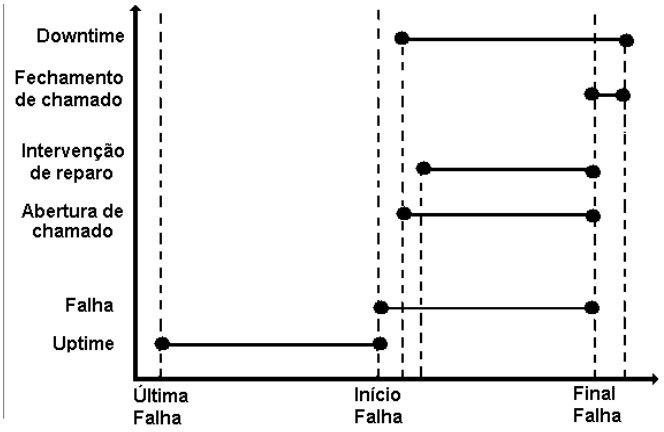
Do ponto de vista da segurança computacional, os usuários dos sistemas de informação são as maiores ameaças para a perda de confiabilidade e pela indisponibilidade da infraestrutura de uma rede de computadores. Por esse motivo, é necessário avaliar a importância das aplicações e como esses usuários acessam os sistemas para determinar onde e quanto investir em um ambiente de missão crítica. O que determina qual tecnologia e os equipamentos que serão usados nesse ambiente é o nível de importância dos sistemas para os usuários e para a operação do negócio. Os equipamentos e serviços devem estar sempre disponíveis a todos os usuários, pois sua parada pode resultar em prejuízos para o negócio, mas devem ser gerenciados e o seu uso controlado. Se esses aspectos não forem bem avaliados, uma empresa pode investir mais do que precisa nessa área, ou, na pior das hipóteses, investir menos, o que pode significar a perda dos recursos investidos.

## 2 DISPONIBILIDADE

A configuração e manutenção, o controle e a gestão do *hardware* e do *software* nos sistemas de informação para os ambientes de missão crítica são atividades dotadas de graus de complexidade variáveis e diferentes, onde podem ocorrer erros de operação, inconsistências, interrupções inesperadas, problemas de instabilidade e falhas de segurança, que afetam o funcionamento da rede de computadores. Neste caso, é importante considerar dois aspectos: o tempo de disponibilidade do sistema (*uptime*) e o tempo em que o sistema está fora de uso (*downtime*).

O período de *uptime* é o intervalo de tempo entre o fechamento de chamado anterior e o início da próxima falha. Já o período de downtime se inicia com a abertura do chamado de reparo (*trouble-ticket*), que marca o reconhecimento da indisponibilidade do sistema, e termina com o reparo concluído e o fechamento do chamado, após o reconhecimento da estabilização do sistema conforme mostra a Figura 1. Dessa forma, o período de *downtime* serve de base para o cálculo da disponibilidade do sistema.

Figura 1 - Delimitação do *Uptime e Downtime*




Fonte: José Maurício Pinheiro

A disponibilidade de um sistema pode, então, ser definida como a probabilidade de que este sistema esteja funcionando e pronto para uso em um determinado instante de tempo. Podemos considerar a Disponibilidade Total, ou seja, o tempo que corresponde ao período de operação regular do sistema e a Disponibilidade Percebida, que corresponde à disponibilidade dos serviços, percebida pelos usuários dos sistemas, medida a partir dos registros de chamados abertos junto ao *helpdesk.*

A disponibilidade de um sistema normalmente pode ser enquadrada em três classes, de acordo com uma faixa de valores percentuais: Disponibilidade Básica, Disponibilidade Contínua e Alta Disponibilidade.

## 2.1 DISPONIBILIDADE BÁSICA

A Disponibilidade Básica é aquela encontrada em sistemas comuns, sem nenhum mecanismo especial para redundância ou contingência de *software* ou *hardware*, que vise de alguma forma para mascarar as eventuais falhas da rede. Sistemas nesta classe apresentam disponibilidade de 99% a 99,9%. Isto equivale a dizer que em um ano de operação a rede pode ficar indisponível por um período aproximado de 3,65 dias a 8,76 horas, respectivamente.

Convém ressaltar que esses tempos não levam em consideração a possibilidade de paradas planejadas. Os valores também podem variar segundo o sistema utilizado, porém são aceitos como o senso comum na literatura técnica da área.

## 2.2 DISPONIBILIDADE CONTÍNUA

Com uma disponibilidade cada vez mais próxima de 100%, diminui o tempo de inatividade do sistema, de forma que os valores percentuais de indisponibilidade sejam desprezíveis ou mesmo inexistentes. Chega-se então nos sistemas com Disponibilidade Contínua, o que significa que todas as paradas planejadas e não planejadas são mascaradas e o sistema está sempre disponível.

Se um sistema apresenta um nível de operação muito crítico, o ideal é fazer uso de sistemas conhecidos como tolerantes a

falhas "*fault tolerance*", já que o *uptime* destes sistemas corresponde a 99,9999%, ou seja, esses sistemas funcionam, no mínimo, por aproximadamente 8759 horas (de 8760) por ano. Em sistemas desse tipo, sempre há redundância de recursos, ou seja, se um dispositivo de rede crítico deixa de funcionar, um segundo assume imediatamente a sua função.

Sistemas com disponibilidade contínua e tolerantes a falhas praticamente não param. Entretanto, é importante deixar claro que, quando se lida com alta disponibilidade e tolerância a falhas, a abordagem de disponibilidade contínua não considera o tempo de paralisações programadas, para os casos em que servidores entram em manutenção, por exemplo.

## 2.3 ALTA DISPONIBILIDADE

Um outro conceito importante é o de alta disponibilidade ou "*high availability*". Entende-se por sistema de alta disponibilidade aquele resistente a falhas de *software*, de *hardware* e de energia.

Segundo Tanenbaum (2005), "A capacidade de um sistema manter-se em funcionamento mesmo após a ocorrência de graves defeitos é o que o torna seguro e confiável". Em sistemas desse tipo, geralmente não há máquinas na retaguarda, no entanto, os equipamentos são desenvolvidos para oferecer o menor risco de falhas possível. Adicionando-se mecanismos especializados de detecção, recuperação e mascaramento de falhas, pode-se aumentar a disponibilidade do sistema, de modo que este venha a se enquadrar como de alta disponibilidade.

Na classe de alta disponibilidade encontram-se equipamentos que apresentam uma disponibilidade tipicamente na ordem de 99,99% a 99,9999%. Uma aplicação de alta disponibilidade pode ser projetada para suportar paradas planejadas, o que pode ser importante, por exemplo, para permitir a atualização de programas por problemas de segurança (atualização de *patches* e sistemas operacionais, por exemplo), sem que o serviço

deixe de ser prestado. Aqui se encaixam grande parte das aplicações dos ambientes de missão crítica.

A Tabela 1 apresenta as três classes de disponibilidade e relaciona os valores de disponibilidade anual, indisponibilidade anual e indisponibilidade mensal.

Tabela 1 - Valores da disponibilidade anual em função da indisponibilidade anual e mensal

| | Disponibilidade Anual (%) | Indisponibilidade Anual | Indisponibilidade Mensal |
|---|---|---|---|
| Disponibilidade Contínua | 99,9999999 | 0,03 segundos | 0,003 segundos |
| | 99,999999 | 0,32 segundos | 0,026 segundos |
| | 99,99999 | 3,15 segundos | 0,259 segundos |
| Alta Disponibilidade | 99,9999 | 31,54 segundos | 2,592 segundos |
| | 99,999 | 5,26 minutos | 25,92 segundos |
| | 99,99 | 52,56 minutos | 4,32 minutos |
| Disponibilidade Básica | 99,9 | 8,76 horas | 43,20 minutos |
| | 99,5 | 43,80 horas | 3,60 horas |
| | 99,0 | 3,65 dias | 7,20 horas |
| 1 ano = 365 dias = 8.760 horas = 525.600 minutos = 31.536.000 segundos; | | | |
| 1 mês = 30 dias = 720 horas = 43.200 minutos = 2.592.000 segundos. | | | |

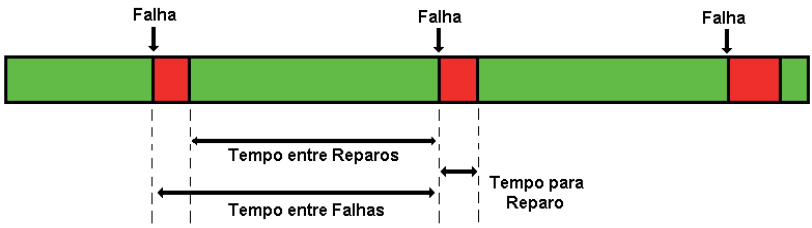
Fonte: José Maurício Pinheiro

## 3 CONFIABILIDADE

A confiabilidade de um sistema é tanto melhor quanto maior for o tempo de operação livre de falhas ou tempo médio entre falhas - MTBF (*Mean Time Between Failures*) em relação ao tempo de disponibilidade total, assim como quanto menor for o tempo de paralisação da rede decorrente de falhas, definido como tempo médio para reparo – MTTR (*Mean Time To Repair*).

O MTBF é designado para expressar o tempo médio entre interrupções de serviço (tempo entre falhas), considerando que uma rede é um serviço e não um componente. Já o MTTR se refere ao tempo transcorrido para o reparo de um serviço (tempo para reparo), conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 - MTBF e MTTR




Fonte: José Mauricio Pinheiro

Os valores de disponibilidade (A) de um sistema podem ser obtidos de maneira simplificada a partir da fórmula:

$$A = MTBF \,(\, MTBF + MTTR)$$

O MTTR, associado ao MTBF, medem a confiabilidade do sistema. Como nos sistemas de alta disponibilidade o MTBF é muito maior que o MTTR, a confiabilidade (N) pode ser definida percentualmente, de forma simplificada, por:

$$N \approx 100 - (MTTR / MTBF)$$

## 4 ESCALABILIDADE

Escalabilidade é a possibilidade de um sistema expandir sua capacidade de transmissão conforme as necessidades. Antes de tudo, é necessário avaliar quais as tendências de aumento no uso dos recursos do sistema computacional e, a partir daí, deve-se criar condições para que essa capacidade seja aumentada conforme a real necessidade das aplicações.

Quando a capacidade de tráfego do sistema aproxima-se da sua utilização máxima (a capacidade da rede em uso é chamada de "utilização"), podem ocorrer atrasos na transmissão da informação ocasionando o que conhecemos por "congestionamento" e, consequentemente, a vazão de dados diminui. Embora atraso e congestionamento sejam tópicos diferentes, existe uma relação entre eles que permite estimar a quantidade do atraso a partir do percentual da capacidade da rede que está sendo usada. O atraso efetivo em um sistema pode ser determinado pela seguinte relação:

$$D = I / (1 - U)$$

Onde:

D = atraso efetivo;

I = atraso da rede quando o meio de transmissão está vazio;

U = utilização.

Quando não há tráfego, o valor de U é zero, assim o atraso efetivo é equivalente ao atraso da rede. Com o aumento do tráfego, a utilização aumenta e o atraso efetivo fica maior. Uma utilização aceitável depende da finalidade do projeto e das necessidades relacionadas. Entretanto, um sistema de missão

crítica não deve operar com nível de utilização igual ou superior a 90%. Assim, em ambientes dessa classe, é importante prever soluções para que os sistemas não parem de funcionar apenas por falhas e erros, mas também que não sejam paralisados por sobrecarga. Se, por exemplo, um servidor estiver apto a receber mil solicitações por hora, é necessário observar se esse limite não está sendo atingido. Se isso ocorrer, deve-se aumentar sua capacidade, do contrário, o servidor ficará sobrecarregado e poderá ficar indisponível para os usuários. Por outro lado, é necessário cuidado para não dimensionar os sistemas dotando-os de uma alta capacidade que não será usada.

## 5 TOLERÂNCIA A FALHAS

Para se entender exatamente o que é uma solução de alta disponibilidade, deve-se conhecer os três conceitos básicos envolvidos: falha, erro e defeito, muitas vezes utilizados tecnicamente de forma errônea. São palavras que parecem sinônimas, mas que na verdade designam a ocorrência de algo anormal em três universos diferentes de um sistema computacional, a saber:

- **Falha** - acontece no universo físico, ou seja, no nível mais baixo do *hardware*. Uma flutuação de energia da fonte de alimentação ou interferência eletromagnética são exemplos de falhas. Estes são dois eventos indesejados que afetam o funcionamento de um sistema ou partes dele;
- **Erro** - A ocorrência de uma falha pode acarretar um erro, que é a representação da falha no universo do sistema. Um computador trabalha com *bits*, e cada *bit* representa 0 ou 1. Uma falha pode fazer com que um (ou mais de um) *bit* troque de valor inesperadamente, o que afetará o funcionamento do sistema;
- **Defeito** - a informação errônea, se não for percebida e tratada, poderá gerar o que se conhece por defeito. O sis-

tema simplesmente apresenta mau funcionamento, trava ou mostra mensagens de erro, ou ainda perde os dados do usuário sem maiores avisos.

Segundo Alger (2005), “Observa-se que uma falha no universo físico pode causar um erro no universo do sistema, que por sua vez pode causar um defeito percebido no universo do usuário”. O princípio de tolerância a falhas visa exatamente acabar com as falhas ou tratá-las enquanto ainda são erros. Já o princípio da alta disponibilidade admite que as máquinas falhem ou apresentem defeito, contanto que exista outro equipamento para assumir sua funcionalidade no sistema. Entretanto, para que um equipamento assuma as funcionalidades de outro é necessário que existam meios que permitam a localização da falha. Isso pode ser conseguido através de testes periódicos, com períodos de tempo configurável, nos quais os sistemas redundantes verificam não apenas se os sistemas principais estão ativos, mas também se estão fornecendo respostas adequadas às requisições de serviço dos usuários.

Neste ponto, é importante observar que mecanismos de detecção mal configurados podem causar instabilidades no sistema com a entrada e saída de funcionamento dos equipamentos devido a “falsos positivos”, quer dizer, detecta-se um mau funcionamento no sistema que não ocorreu de fato. Por outro lado, notar também que, pelos testes serem periódicos, existe um intervalo de tempo durante o qual o sistema principal pode estar indisponível sem que o sistema redundante reconheça essa falha ocasionando um “falso negativo”.

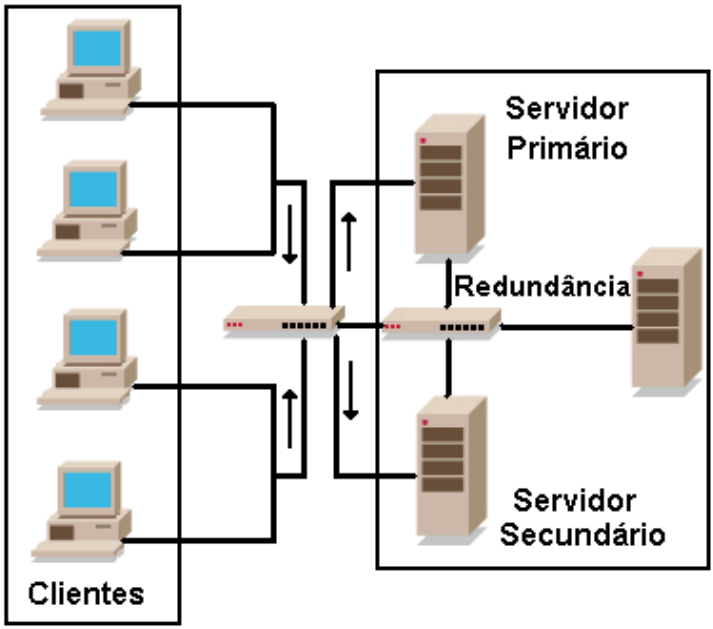
## 6 DISPONIBILIDADE EM AMBIENTES INDUSTRIAIS DE MISSÃO CRÍTICA

Segundo Preston (2006), “Há várias formas de se implementar um sistema com alta disponibilidade, variando de acordo as necessidades das aplicações, infraestrutura, recursos financeiros disponíveis etc.” As alternativas podem ser combinadas para aumentar a disponibilidade do sistema, entre elas destacam-se:

## 6.1 REDUNDÂNCIA

Inclui a redundância de interfaces de rede, de fontes de alimentação, de processadores, de *links* de comunicação e de servidores. A redundância é um recurso primordial para sistemas de missão crítica, pois no caso de falha de algum dispositivo, o sistema continua funcionando normalmente. Na Figura 3, temos o exemplo da redundância de servidores de rede.

Figura 3 – Redundância de servidores




Fonte: José Maurício Pinheiro

## 6.2 FAILOVER

Trata-se do processo no qual uma máquina assume os serviços de outra, quando esta última apresenta falha; pode ser automático (normalmente utilizado por soluções de alta disponibilidade) ou manual (algumas aplicações não críticas podem suportar um tempo maior até a recuperação do serviço). De-

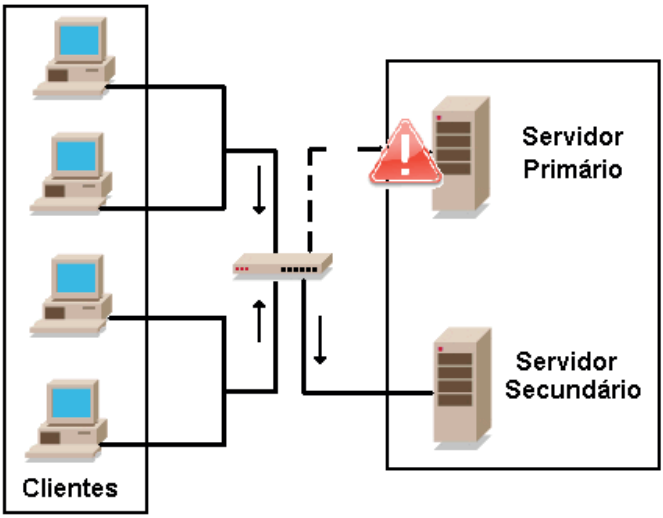
pendendo da natureza do serviço, executar um *failover* significa interromper as transações em andamento, perdendo-as, sendo necessário reiniciá-las após o processo. Em outros casos, significa apenas um retardo até que o serviço esteja novamente disponível.

Nota-se que o *failover* pode ou não ser um processo transparente, dependendo da aplicação envolvida.

## 6.3 FAILBACK

É o processo de retorno de um determinado serviço de uma outra máquina para sua máquina de origem após um *failover*. Também pode ser automático, manual ou até mesmo não desejado (em alguns casos, em função da possível nova interrupção na prestação no sistema, o *failback* pode não ser atraente). Na Figura 4, temos um exemplo de *failover*, quando o servidor primário apresenta problemas e a funcionalidade do sistema é mantida pelo servidor secundário até seu reparo.

**Figura 4 - *Failover* e *Failback***

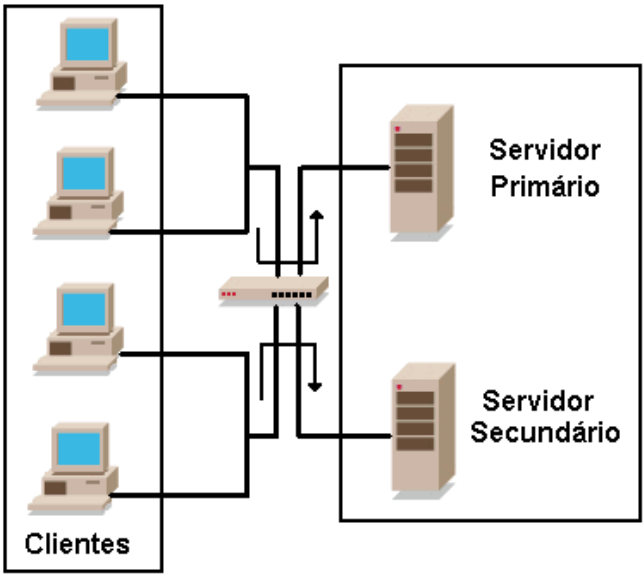



Fonte: José Mauricio Pinheiro

## 6.4 LOAD BALANCE

O *Load Balance* (balanceamento de carga) é usado para evitar "gargalos" de CPU, de acesso aos sistemas ou mesmo à rede, pode-se lançar mão dessa tecnologia para distribuir a carga de acesso às aplicações de rede de maneira uniforme entre seus componentes, conforme exemplifica a Figura 5.

**Figura 5 - *Load Balance***




Fonte: José Maurício Pinheiro

## 7 IMPLANTANDO ALTA DISPONIBILIDADE NA PLANTA INDUSTRIAL

A real necessidade de implantar um sistema com alta disponibilidade depende das respostas a algumas perguntas. Se as respostas forem positivas e o tempo de parada aceitável for de apenas alguns minutos, é altamente indicado providenciar a implementação de alta disponibilidade no ambiente da rede:

• Qual é o prejuízo de uma parada não programada de um sistema importante para os usuários devido a um incidente de segurança?

• O investimento para projetar, instalar e manter uma infraestrutura paralela de redundância justifica os custos operacionais?

• Qual o tempo de interrupção dos sistemas considerado aceitável pelos usuários?

• Os serviços disponibilizados pela rede corporativa são essenciais ao negócio?

Diagnosticada a necessidade de alta disponibilidade, o próximo desafio é como implementar este ambiente. Conforme aborda Jayaswal (2006), “Escolher a estratégia que irá nortear o processo é crucial para o sucesso do projeto”. Mapear a infraestrutura envolvida nos processos de negócio, aqueles sem os quais a empresa poderia parar, detalhando cada componente da solução a fim de entender qual a importância de cada um no conjunto é fundamental.

Atender os níveis de disponibilidade exigidos pelas áreas gestoras dos processos de negócio e o gerenciamento e acompanhamento da carga de acesso aplicada neste ambiente também ajudam no planejamento dos próximos passos, caso a demanda venha a aumentar.

## 7.1 SEGURANÇA DOS SISTEMAS COMPUTACIONAIS

Para construir um ambiente de missão crítica de alta disponibilidade não basta apenas cuidar dos recursos computacionais que farão parte do sistema, mas também de toda a infraestrutura necessária (instalações prediais, energia elétrica, controle de acesso, climatização, sistemas de incêndio, entre outros).

O projeto deve obedecer a uma política de segurança na qual devem ser abordados todos os aspectos que dizem respeito à integridade dos equipamentos e pessoas envolvidas na operação do sistema. A disposição dos equipamentos e do cabea-

mento deve ser bem planejada e deve-se considerar a possibilidade de retirar ou acrescentar equipamentos sem afetar o funcionamento dos demais.

Outra questão fundamental é a energia elétrica. Roth et. al. (2002) afirmam que "Contar com uma alimentação elétrica confiável em processos críticos é um desafio permanente para os sistemas atuais, os quais necessitam de energia limpa e contínua para maximizar sua disponibilidade e eficiência". Para aplicações críticas, o fornecimento de energia ininterrupta é uma necessidade. Redes de computadores são aplicações que necessitam de energia elétrica com alta disponibilidade e livre de distúrbios. No atendimento dessas aplicações, no complemento ou substituição da eletricidade fornecida pela concessionária de energia elétrica, é possível utilizar fontes de energia de reserva, capazes de suprir a demanda da rede de computadores com total confiabilidade.

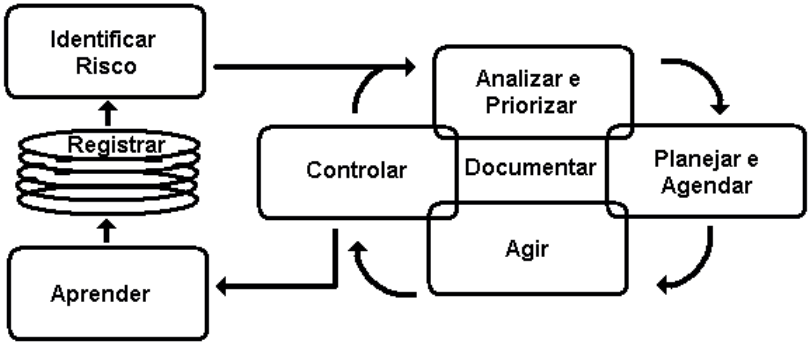
Pinheiro (2008) descreve:

> Um sistema de missão crítica deve contar com redundância no fornecimento de energia elétrica, seja através de UPS (*Uninterruptible Power Supply*) ou de GMG (Grupo Motor Gerador), bem como sistemas de comunicação redundantes e integrados, garantindo a operação da rede mesmo na ocorrência de situações adversas. Entretanto, antes de investir nestes recursos, é importante executar um levantamento da situação atual a fim de identificar e definir as prioridades de ação, algo fundamental no processo de conquista da alta disponibilidade em sistemas de missão crítica.

Para Silva *et al* (2003), "Os riscos de segurança são identificados através de uma metodologia apropriada para a avaliação dos processos, das pessoas e da própria tecnologia envolvida". Os custos do projeto precisam ser analisados e confrontados com prováveis prejuízos resultantes de falhas na segurança. Neste caso, técnicas de avaliação de riscos podem ser aplica-

das a toda a organização ou apenas a partes dela, bem como a sistemas de informação individuais, componentes de sistemas específicos ou serviços onde isto for praticável, realístico e útil, conforme exemplifica a Figura 6.

**Figura 6 - Metodologia de análise de riscos**




Fonte: José Maurício Pinheiro

Dentre os diversos pontos que requerem análise de segurança destacam-se:

- Identificar, analisar e classificar os riscos relacionados à segurança da informação e ao negócio segundo as prioridades definidas;
- Planejar e agendar as atividades necessárias;
- Agir estrategicamente na solução dos problemas relacionados aos sistemas e processos vulneráveis;
- Minimizar os riscos de parada nos serviços de TI e as perdas em casos de incidentes de segurança através de um controle efetivo;
- Registrar o aprendizado com as ações anteriores e manter uma documentação atualizada de todos os procedimentos.

Toda vulnerabilidade ocorre como uma falha no projeto ou implementação de um software, sistema operacional ou até a falha física do ativo de rede que, uma vez explorada, resulta na violação da segurança de uma corporação. Os resultados desta avaliação ajudarão a guiar e determinar as ações adequadas, as prioridades para gerir os riscos de segurança e implementar controles para a proteção contra esses riscos.

O processo de avaliar riscos e selecionar controles deve ser executado tantas vezes quanto necessário para cobrir diferentes os sistemas corporativos ou sistemas individuais. As revisões devem ser feitas em diferentes níveis de profundidade, dependendo dos resultados das avaliações anteriores e das mudanças nos níveis de riscos que a administração da rede está preparada para aceitar.

## 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As tecnologias e recursos relacionados aos conceitos de alta disponibilidade e missão crítica não se limitam aos citados neste trabalho. O tema é bem mais complexo, ao ponto de praticamente não existirem especialistas em alta disponibilidade ou em sistemas de missão crítica, mas em alguma das tecnologias relacionadas. Como o funcionamento adequado dos sistemas computacionais é dependente da infraestrutura disponível, torna-se necessário identificar claramente quais os segmentos operacionais que podem ser considerados críticos para o sistema e, então, desenvolver as soluções mais adequadas. Certamente, um sistema de alta disponibilidade estará presente nesse cenário.

O planejamento de sistemas de missão crítica de alta disponibilidade é estratégico para uma corporação quando o faturamento e o relacionamento com seus clientes e fornecedores dependem desse recurso. Neste aspecto, os prejuízos financeiros oriundos da indisponibilidade dos sistemas podem não ser o único efeito colateral. Mais do que a perda financeira, muitas vezes a imagem da empresa é prejudicada por conta da instabilidade ou indisponibilidade dos recursos perante seus

colaboradores e clientes. Portanto, acompanhar o desempenho e a performance da infraestrutura envolvida é essencial ao sucesso do negócio.

## REFERÊNCIAS


ALGER, Douglas. **Build the best data center facility for your business**. Cisco Press: Indianapolis, 2005.

JAYASWAL, Kailash. **Administering data centers:** servers, storage, and voice over IP. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 2006.

PINHEIRO, J. M. S. **Infra-estrutura elétrica para redes de computadores**. Rio de Janeiro: Livraria Ciência Moderna, 2008.

PRESTON, W. **Backup & recovery**. Sebastopol: O'Reilly, 2006.

RIBEIRO, Marco Antonio. **Fundamentos da automação**. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 2003.

ROTH, Kurt W.; GOLDSTEIN, Fred; KLEINMAN, Jonathan. **Energy consumption by office and telecommunications equipment in commercial buildings**: energy consumption baseline. Cambridge: Arthur D. Little, Inc., 2002. v.1

SILVA, Pedro Tavares; CARVALHO, Hugo; TORRES, Catarina Botelho. **Segurança dos sistemas de informação**. Lisboa: Centro Atlântico, 2003.

TANENBAUM, Andrew. **Redes de computadores**, 4 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

# PRODUÇÃO DE CRISTAIS PIEZOELÉTRICOS EM LABORATÓRIO E TESTAGEM DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

## PRODUCTION OF PIEZOELECTRIC CRYSTALS IN LABORATORY AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY TESTING

Lucas de Jesus de Silva[1]
Pedro Henrique Santos de Souza[2]
Rafael Pedro Santos e Silva[3]
Dener Martins dos Santos[4]
Cíntia Corrêa de Souza[5]

**RESUMO:** Este trabalho apresenta um projeto que desenvolve um sistema baseado em geração de energia limpa e sustentável, utilizando-se de materiais eficientes e baratos capazes de transformar a pressão exercida através do peso e da velocidade sob determinada superfície em energia elétrica, através de materiais piezoelétricos. A metodologia de fabricação de cristais piezoelétricos em escala de laboratório e a sua respectiva testagem da capacidade de condução de eletricidade, segundo as normas técnicas existentes. Os resultados indicaram que a energia produzida produziu um potencial se comparado com outros processos ainda pequenos e em termos de custo projeto ainda a torna inviável.

**Palavras-chave:** Piezoeletricidade. Cristal. Energia Elétrica.

1 Discente do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
2 Discente do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
3 Discente do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
4 Docente Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).
5 Docente Especialista do Centro Universitário de Barra Mansa (UBM).

**ABSTRACT:** This work presents a project that develops a system based on clean and sustainable energy generation, using efficient and inexpensive materials capable of transforming the pressure exerted by weight and speed on a given surface into electrical energy, through piezoelectrical materials. The methodology for manufacturing piezoelectric crystals on a laboratory scale and their respective testing of the ability to conduct electricity, according to existing technical standards. The results indicated that the energy produced a potential compared to other processes that are still small and in terms of project cost it still makes it unfeasible.

**Keywords:** Piezoelectricity. Crystal. Electricity

## 1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais o estado do meio ambiente é cada vez mais preocupante a nível mundial, tornando-se cada vez mais necessária uma consciência comum de preservação e cuidado com o planeta. A geração de energia elétrica provoca diversos efeitos negativos no meio ambiente, e cada tipo de geração carrega consigo suas particularidades. O conceito de energia limpa não é a que está isenta de impactos negativos, e sim a que busca não lançar poluentes na atmosfera e a energia renovável provem de recursos naturalmente abastecidos. Uma das formas limpas e renováveis de se produzir energia é a piezoeletricidade, capaz de gerar tensão a ser coletada.

Ela está presente em muitos materiais cristalinos, de forma que esse efeito corresponde à aplicação de um esforço mecânico sobre o material provocando uma modificação na polarização elétrica do mesmo. De acordo com Callister (2002) “a piezoeletricidade é o fenômeno segundo o qual a polarização é induzida em um material pela imposição de forças externas”.

## 1.1 OBJETIVOS

Projetar um dispositivo capaz de gerar energia elétrica através de transdutores piezoelétricos com o intuito de armazena-la e utiliza-la em sistemas de iluminação. Descrever as características de funcionamento dos transdutores piezoelétricos por meio de testes laboratoriais em busca da melhor configuração entre eles extraindo o melhor rendimento possível do sistema para o êxito do projeto

# 2 REVISÃO DA BIBLIOGRÁFICA

Muitas pessoas utilizam da piezoeletricidade sem saberem que ela está presente em sua rotina. Possivelmente em um relógio de quartzo, ou no uso de microfones para escrever cartas de acordo com o que é dito com o auxílio de um software de computador ou até mesmo para pessoas que gostam de música em disco de vinil. “O efeito piezoelétrico consiste da capacidade que alguns materiais possuem de se deformarem através da presença de campos elétricos” (FRANKLIN, 2014 apud PAULINI, 2018). É valido dizer que esse efeito também funciona da forma inversa, criando campo elétrico a partir da variação das dimensões físicas desses materiais. Por meio da pressão exercida neles, é possível manipular essa sua propriedade particular. “A piezoeletricidade é o fenômeno segundo o qual a polarização é induzida em um material pela imposição de forças externas” (CALLISTER, 2002). Esta propriedade encontrada por alguns poucos materiais cerâmicos, que também é conhecida como eletricidade pela pressão quando traduzida, é uma característica de materiais que tem estruturas cristalinas com um baixo grau de simetria.

“A história da piezoeletricidade começou no ano de 1880, com sua descoberta pelos irmãos Pierre e Jacques Curie, sendo que sua primeira utilização prática foi feita por Paul Langevin no desenvolvimento de sonares durante a primeira guerra mundial” (ARMENDANI, 2016). Cristais piezoelétricos têm átomos que não são simetricamente arranjados e são eletricamente neutros em seu interior, as cargas elétricas são balanceadas,

uma carga positiva cancela uma negativa ao seu arredor, assim os momentos de dipolos elétricos se cancelam.

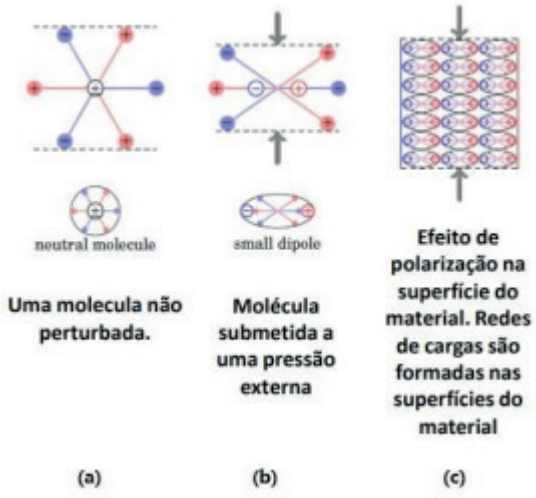
> Se uma pressão mecânica for feita em um cristal piezoelétrico, incidirá uma alteração na sua estrutura, fazendo com que alguns átomos fiquem mais distantes e outros átomos mais próximos, perturbando o balanço entre as cargas positivas e negativas, criando uma diferença de potencial, com cargas negativas e positivas em lados opostos das faces do cristal. (PERLINGEIRO; PIMENTA; SILVA, 2016).

A palavra piezoeletricidade tem origem grega, da palavra piezein que significa apertar, pressionar. Dessa forma, ela é decifrada como a produção de energia elétrica proveniente da pressão aplicada sobre determinados materiais. “O nome piezoeletricidade foi dado por Hankel após um ano de descobrimento do fenômeno” (ARNAU, 2004 *apud* ROSANELLI, 2016).

Está foi uma grande descoberta, porem pouco útil na época, dado o fato de que produzia sinais muito pequenos ao se fazer a medição. De acordo com Leo (2007) “sua utilidade também foi limitada pela falta de instrumentos de precisão para medir a saída elétrica do material e levaria vários anos até que houvesse instrumentos precisos o suficiente para medir estes sinais”.

A figura 1 mostra a estrutura molecular dos materiais que possuem essa propriedade. Inicialmente observa-se a molécula antes de ser submetida a um esforço mecânico. As cargas positivas e negativas coincidem de forma a se alinhar, até que haja alguma pressão sobre ela, e através de sua deformação são provocados dipolos elétricos. Então, com o material polarizado, existe a presença de um campo elétrico que pode ser aproveitado. Esse efeito pode ser classificado como direto e inverso, em que direto corresponde à geração e carregamento de cargas elétricas pela pressão feita no material, e o inverso em que o campo elétrico aplicado é resultante de uma tensão.

**Figura 1: Estrutura molecular dos materiais piezoelétricos. (a) Molécula não submetida a esforço. (b) Molécula submetida a uma pressão do meio externo. (c) Polarização do material.F**




Fonte: USP (2020).

## 2.1 REAÇÕES QUÍMICAS

Os estudos das reações químicas são regidos por leis. As Leis Ponderais correspondem aos estudos sobre as massas das substancias que envolvem as reações. “A Lei de Lavoisier, também conhecida como Lei da Conversação das Massas diz que a soma das massas antes da reação é igual a soma das massas após a reação” (NOGUEIRA, 2016). Como exemplo disso pode-se observar a reação do metano na reação 01. Assim observa-se que a massa do produto corresponde à soma das massas dos reagentes.

Hidrogênio + Carbono = metano **(01)**

2g + 6g = 8g

"Através do químico Svante Arrhenius em sua teoria da dissociação eletrolítica, ácido é toda substância que em água produz íons H+ e base é a que produz OH-, sua neutralização seria a reação entre essas duas espécies iônicas" diz Chagas (1999). Na neutralização há a produção de água, conforme a reação 02:

$$H+(aq) + OH– (aq) = H_2O (l) \quad \textbf{(02)}$$

"Esta teoria foi muito importante para o desenvolvimento de várias linhas de pesquisa como também envolvendo muitos fenômenos já conhecidos, inclusive contribuindo para estabelecer as bases científicas da química analítica" (CHAGAS, 1999).

Para o tratamento de reações ácido-base, especialmente de neutralização, muitas vezes é conveniente definir ácido como espécie que aumenta a concentração do cátion característico do solvente e base como a espécie que aumenta a concentração de ânion característico. (AYALA, 2018).

## 3 METODOLOGIA

Para a criação dos cristais piezoelétricos foi necessário entender todos os processos necessários, que de forma prática pode ser bem simples quando se têm disponíveis os materiais e equipamentos ideais. Primeiramente foram definidas quais as substâncias seriam necessárias para a formação desses cristais, para então ser definida qual a quantidade de cada uma para realizar as soluções. Foram utilizados três tipos diferentes de soluções para a formação dos cristais.

Receita 01: Taratato Ácido de Potássio + Carbonato Ácido Anidro

$$C_6H_5O_6 + Na_2CO_3$$

Receita 02: Tartarato de Sódio e Potássio

$$KNaC_4H_4O_6.4H_2O$$

Receita 03: Cremor de Tártaro de Potássio + Carbonato de Sódio Anidro

$$KC_4H_5O_6) + Na_2CO_3$$

Para saber a quantidade ideal para cada componente foi necessário realizar o cálculo de balanceamento das equações químicas através do Cálculo Estequiométrico. “Derivado da palavra grega stoicheion a qual corresponde à junção de elemento e medida, [...] a Estequiometria é considerada o estudo das relações entre as quantidades dos reagentes e produtos de uma reação química” (ROBERTO, 2008). Para que fosse possível realizar a neutralização entre os componentes na Receita 01 foi feito o cálculo estequiométrico:

Equação química original:

$$Na_2CO_3 + C_4H_5KO_6 \rightarrow KNaC_4H_4O_6 + CO_2 + H_2O \quad \textbf{(03)}$$

Equação química balanceada:

$$Na_2CO_3 + 2C_4H_5KO_6 \rightarrow 2KNaC_4H_4O_6 + CO_2 + H_2O \quad \textbf{(04)}$$

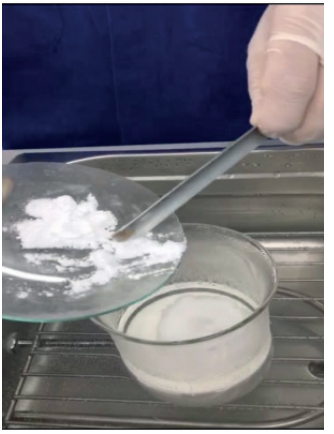
Após balancear a equação foi calculada a massa molar de todos os elementos, segundo a lei de Lavoisier nada se cria e nem se perde, então a massa do produto será a soma das massas do reagente.

> Soluções são misturas homogêneas, de dois ou mais componentes, nas quais as substâncias que as constituem encontram-se distribuídas de forma uniforme pelo sistema. Os componentes de uma solução são

chamados de soluto e solvente, sendo o soluto a espécie que é dissolvida pelo solvente (CARMO, 2005 *apud* RIBAS, 2017).

A figura 2 mostra o preparo dos reagentes. Com o auxílio de uma balança de precisão foram medidas as quantidades exatas de 124 gramas de tartarato de potássio e 32 gramas de carbonato de sódio, com 300 ml de água. Para realizar o procedimento foi utilizado um Becker de 600 ml para a água destilada, e assim aquece-la em até 80°C. Aos poucos, o Tartarato Ácido de Potássio, também conhecido como creme de tártaro ou cremor tártaro foi sendo inserido à água destilada aquecida para então ser introduzido o Carbonato Ácido Anidro que é um sal branco. Foi necessário que a introdução desse segundo reagente na solução fosse feita aos poucos, até porque se tratava de uma reação química realizada em uma temperatura mais elevada, e através da movimentação utilizando uma vareta de vidro essa solução pode ser neutralizada. Enquanto o segundo reagente era introduzido ela borbulhou e efervesceu, indicando que a reação química ocorreu liberando gás carbônico e calor. Esse processo demorava por volta de 40 minutos até que a ela se tornasse neutra. Para o fim dessa etapa foram utilizadas as fitas universais de pH para saber se a solução já estava neutralizada ou se ainda precisaria mais reagente básico.

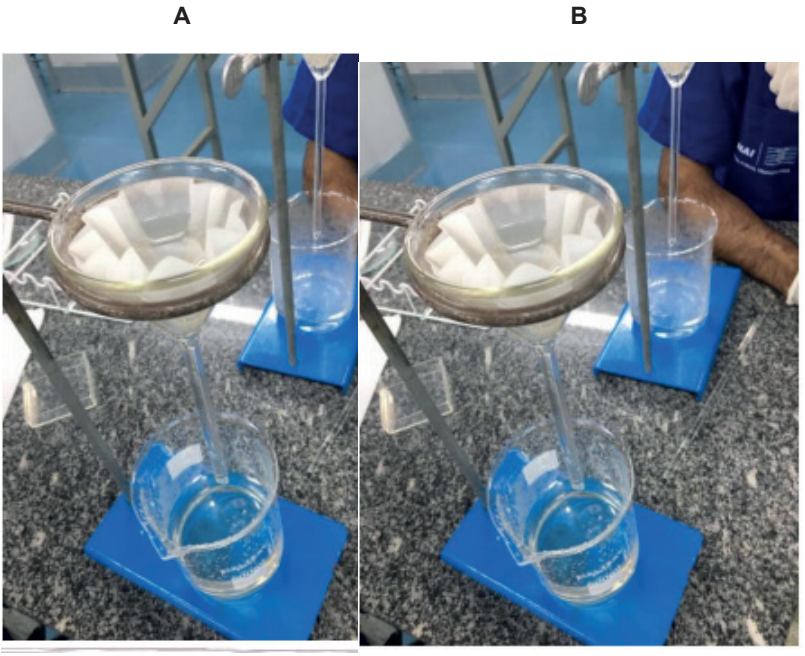
Figura 2: Preparo dos reagentes



. Fonte: Autores.

A figura 3A mostra o processo de neutralização dos reagentes. A figura 3B o processo com a solução neutralizada que foi necessário que ela passasse por um filtro de papel impedindo a passagem de qualquer impureza ou corpo de fundo que pudessem ter sido incluídos durante a etapa anterior como pode ser observado.

Figura 3: Processo Experimental. 3A: Solução em Processo de Neutralização. 3B: Solução Filtrada Impedindo a Passagem de Impurezas e Corpo de Fundo.




Fonte: Autores.

Depois dessa etapa o Becker contendo a Receita 01 foi colocado em uma estufa para que a solução permanecesse em repouso e então fosse possível verificar quais seriam os resultados. Já para a Receita 02 as etapas foram um pouco diferentes e também mais simples, isso porque não foi necessário realizar a mistura entre dois reagentes, já que o Tartarato de Sódio e Potássio já corresponde à junção dos dois componentes da Receita 01 – figura 4. Foi possível notar a diferença em sua estrutura em relação aos outros dois sais visivelmente. Os dois primeiros eram semelhantes aos próprios sais de cozinha, já o reagente da segunda receita era semelhante a uma estrutura arenosa cristalizada. Assim foi necessário apenas mistura-la

à água destilada a 80°C por alguns minutos e então passa-la pelo filtro de papel como na primeira receita e então serem armazenadas juntas.

Figura 4: Tartarato de Sódio e Potássio sendo introduzido



. Fonte: Autores.

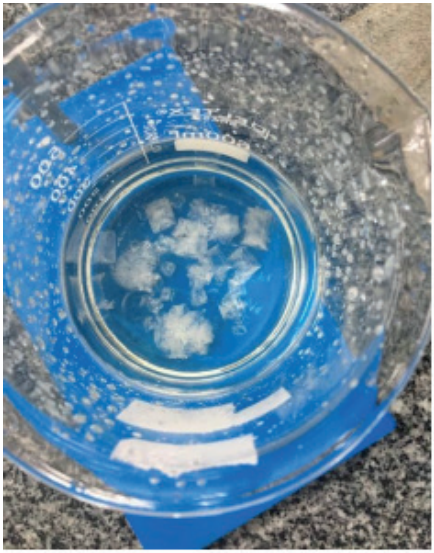
Para a Receita 03 foi utilizado exatamente o mesmo processo da Receita 01, já que se tratava da mesma composição química, divergindo somente o fabricante. Dessa forma, depois de neutralizadas todas as soluções foram passadas pelo filtro de papel com a utilização de um sifão e assim colocadas em outro becker para permanecerem em repouso em uma estufa para a cristalização.

# 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

## 4.1 CRISTALIZAÇÃO

Os beckers com as três diferentes soluções foram mantidos em uma estufa por 24 horas para que então fosse feita a análise. Cada um deles demonstrou resultados bem diferentes. Na receita 01 houve um resultado inicial satisfatório, pois, formou-se um cristal ao fundo do becker com suas formas bem desenvolvidas. Foram tirados alguns pedaços de cristal para testes de tensão. Tendo o melhor dos resultados na etapa da cristalização, essa receita foi repetida mais uma vez para a obtenção de mais cristais. Uma curiosidade interessante para essa receita foi a cristalização imediata, conforme mostrado na figura 5. Enquanto a solução ainda estava a passar pelo filtro já era possível perceber a olho nu os cristais sendo formados no becker.

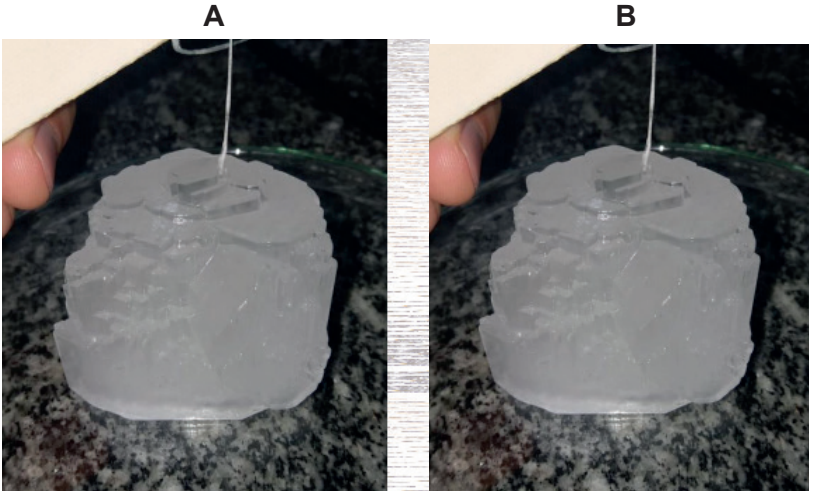
Figura 5: Demonstração da Cristalização Imediata.



Fonte: Autores.

A figura 6 apresenta os cristais formados. A cristalização ocorre de forma desordenada, se solidificando ao fundo do Becker (figura 6A), porém, ao colocar um pedaço de cristal como referência suspenso na solução, todo o processo de cristalização se forma envolto a esse pedaço, facilitando a retirada dele no Becker e também permitindo que possua uma forma mais desenvolvida (figura 6B).

Figura 6: Cristalização. 6A: Primeira Solução da Receita 01. 6B: Primeira Solução da Receita 01 com o Cristal de Referência

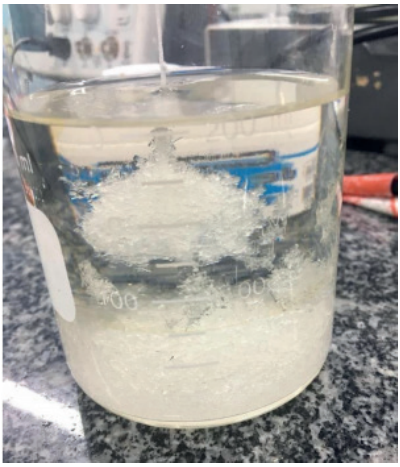



Fonte: Autores.

A receita 02 não trouxe resultados satisfatórios como a primeira, pois não ocorreu nada com a solução, ela permaneceu intacta, sem nenhuma alteração. Dessa forma foi mantida na estufa por mais algum tempo. A solução da Receita 02 permaneceu sem nenhuma alteração por alguns dias. Por certo tempo foi considerada como uma solução descartável por não apresentar nenhuma alteração, porém, depois de 10 dias a solução cristalizou ao fundo do Becker, apresentando cristais semelhantes aos da Receita 01, com estrutura sólida e bem definida.

Já a Receita 03 em sua solução formou-se um tipo de cristal com aparência arenosa ao fundo do Becker, não sendo possível que se retirasse um pedaço como na primeira receita – figura 7. Ainda que não tenha trago um resultado tão satisfatório, trouxe para a pesquisa uma análise interessante, pois se tratava da mesma composição química da primeira apresentado um resultado bem diferente. Assim foi colocada novamente em banho-maria para uma segunda tentativa de cristalização, e acrescentada mais uma quantidade de Carbonato de Sódio Anidro em pequenas quantidades por volta de 5 gramas até que a solução se neutralizasse outra vez.

Figura 7: Segunda Solução da Receita 03



. Fonte: Autores.

## 4.2 TESTES DE TENSÃO

A cristalização da Receita 01 e a Receita 02 se desenvolveram de uma forma melhor, sendo possível a utilização de seus derivados cristais para os testes de tensão. Já a Receita 03 permaneceu apresentando um tipo de cristalização com característica arenosa, não sendo uma estrutura ideal para os testes, pois cor-

respondia à uma estrutura frágil, se rompendo com muita facilidade. Para o teste de tensão os cristais foram suspensos e presos às pontas de prova do osciloscópio. Dessa forma, ao golpear os cristais com ferramentas de plástico e metal eles apresentavam pequenos sinais de tensão na tela do osciloscópio. Outro teste realizado foi através do multímetro para tentar constatar valores de tensão gerada através dos cristais – figura 8. Dessa forma foi possível perceber valores em até 5 mili Volt. Os valores mais altos eram exibidos quando se aplicava maior força sobre os cristais, sendo que ao golpear o cristal esse gerava uma tensão positiva, e logo após o multímetro exibir essa tensão o valor diminuía gradualmente constatando valores negativos.

**Figura 8: Testes dos Níveis de Tensão dos Cristais através do Multímetro**




Fonte: Autores.

## 5. CONCLUSÕES

Através das diferentes receitas foi possível perceber a diferença de cristalização entre cada uma delas. Uma particularidade dos cristais que pode ser percebida é que cada um era constituído por diferentes formas geométricas. Também foi possível perceber que alguns acabaram possuindo estruturas mais rígidas do que outros.

Outra conclusão obtida é que o período de cristalização divergia para cada cristal, uma vez que foram preparados através dos mesmos métodos, utilizando quantidades semelhantes de reagentes e colocados no mesmo ambiente em descanso sobre as mesmas condições.

Através dos testes de tensão foi possível comprovar que certos tipos de cristais podem sim gerar uma diferença de potencial, e quanto maior a força aplicada sobre eles, maior a tensão, além de comprovar que os sinais gerados eram sinais alternados, sendo positivos no período inicial, e negativo para a diminuição gradual da tensão.

## REFERÊNCIAS


ARMENDANI, Willian Alves; et. al. Conhecendo a Piezoeletricidade, uma nova forma de geração de energia elétrica. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 9, p. 314-320, 2016.

AYALA, J.D. Definições de ácidos e bases: química inorgânica. **Química Nova,** v. 40, n 4, 2018.

CALLISTER Jr, W.D. Materials science and engineering: an introduction. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CHAGAS, A.P. Teoria ácido-base do século XX. Química nova na escola. **Teorias Ácido-Base**, n.9, maio 1999.

LEO; D.J; Engineering Analysis of Smart Material Systems. Ed. John Wiley & Sons, Department of Mechanical Engineering, Virginia, 2007.

NOGUEIRA, V.S. **Química**. Rio de Janeiro: Federação de Escolas SIMONSEN 2016.

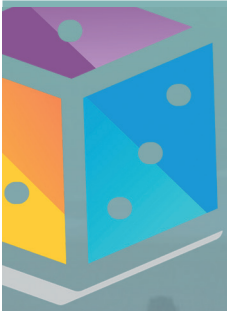
PAULINI, Pablo Oliveira. Geração de energia elétrica em pavimentos através de dispositivos piezoeléctricos. 2018. Engenharia Civil - Universidade Católica, Vitória/ ES.

PERLIGEIRO, A.R; PIMENTA, G.M; SILVA, S.E. **Geração de energia através de materiais piezoeléctricos**. 2016. 62 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow, Rio de Janeiro, 2016.

RIBAS, J.F. *et al*. Soluções saturada, insaturada e supersaturada e suas representações por licenciados em química. **ACTIO: Docência em Ciências**, Curitiba/PR, v.2, n.2, 2017.

ROBERTO, A. **Cálculo estequiométrico**. Disponível em: http://www.agamenonquimica.com/docs/teoria/geral/calculo_estequiometrico.pdf. Acesso em: 20 jul. 2020.

ROSANELLI, Felipe Barriquello. **Aplicação da piezeletricidade na compensação energética de console de jogos eletrônicos**. 2016. Engenharia Elétrica - UNIJUÍ. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Ijuí RS.



**ASSOCIAÇÃO BARRAMANSENSE DE ENSINO SUPERIOR - SOBEU**

**LEANDRO ÁLVARO CHAVES**
REITOR

**HAROLDO DE CARVALHO CRUZ JÚNIOR**
PRÓ-REITOR ACADÊMICO

**CARLOS FREDERICO THEODORO NADER**
PRÓ-REITOR ADMINISTRATIVO

**MARIA APPARECIDA DE ATHAYDE CRUZ**
PRÓ-REITORA COMUNITÁRIA

**SHEILA RODRIGUES DIAS FILGUEIRAS**
DIRETORA ACADÊMICA

**ROSALI GOMES ARAÚJO MACIEL**
COORDENADORA DE GRADUAÇÃO

**ROSA MARIA MAIA GOUVÊA ESTEVES**
COORDENADORA DE PESQUISA

**SUZYLENE JACOT SANTIAGO**
COORDENADORA DO SISTEMA DE BIBLIOTECAS UBM