

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS**  
ESCOLA POLITÉCNICA DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO  
Trabalho Final de Curso II

**Lucas Marques Noletto**  
**Matheus de Almeida Sousa Oliveira**

**ANÁLISE DE CAUSA RAIZ APLICADA EM UMA SUBESTAÇÃO  
TERMOELÉTRICA**

Trabalho Final de Curso como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

**BANCA EXAMINADORA:**

**Prof. Dr. Bruno Fagundes Ferreira – Orientador – PUC GOIÁS.**  
**Profa. Fabricia Neres Borges – Avaliadora – PUC GOIÁS.**  
**Prof. Dr. Bruno Quirino de Oliveira – Avaliador – PUC GOIÁS.**

Goiânia, 11 de dezembro de 2022.

# ANÁLISE DE CAUSA RAIZ APLICADA EM UMA SUBESTAÇÃO TERMOELÉTRICA

Lucas Marques Noleto, Matheus de Almeida Sousa Oliveira

**Resumo** — A rede de distribuição de energia possui um papel indispensável para os setores da sociedade brasileira; neste cenário deve-se considerar as falhas em ativos presentes nas subestações, tais com disjuntores e dentre outros sistemas, que podem desencadear consequências graves a empresa que a administra ou ao consumidor. Diante disso o estudo é norteado na garantia de segurança e qualidade na gestão de ativos para manter o equilíbrio econômico-financeiro. Seja realizado isso faz-se fundamental utilizar os ativos aos seus limites de vida útil e garantir a qualidade do funcionamento, que resulta na utilização de técnicas de manutenção, engenharia da confiabilidade, análise de falhas, análise de ativos de subestação, dados operacionais para mesma. Para atingir tais resultados proposto pelo estudo do método de revisão bibliográfica utilizando literaturas, dissertações, monografia, acerca do assunto proposto e trabalhos correlacionados. Para que seja efetuada a análise dos dados coletados no estudo. O resultado do estudo destaca a necessidade da utilização de mecanismos da engenharia da confiabilidade se mostraram efetivos para solucionar o problema do local do estudo, tendo em vista que falha ocorre por um conjunto de fatores. Como consequência disso comprova-se os aspectos de utilizar os mecanismos apresentados.

**Palavras-chave** — falhas, subestação, gestão de ativos, engenharia de confiabilidade, análise de falha.

**Abstract** — The Energy distribution network has an indispensable role in Brazilian society; in this scenario, one must consider failures in assets present in substations, such as circuit breakers and other systems, which can trigger serious consequences for the company that manages it or for the consumer. Therefore, the study is guided by the guarantee of security and quality in asset management to maintain the economic-financial balance. Be that accomplished it is essential to use the assets to their useful lifetime and ensure the quality of operation, which results in the use of maintenance techniques, reliability engineering, failure analysis, substation asset analysis, and operational data. To achieve these results proposed by the study of the literature review method using pieces of literature, dissertations, monographs, about the proposed subject, and related works. To analyze the data collected in the study. The result of the study highlights the need for the use of reliable engineering mechanisms has proven effective to solve the problem of the study site, given that failure by a set of factors. As a consequence, it is concluded that the use of the mechanisms presented in this study is proven.

**Keywords** — failures, substations, asset management, reliability engineering, failure analysis.

## I. INTRODUÇÃO

A rede de distribuição de energia possui um papel indispensável para vários setores da sociedade brasileira. Devido a esta importância, vários setores se tornaram dependentes deste, e uma falha dessa rede pode

desencadear a interrupção do fornecimento de energia. Essa interrupção pode gerar um maior custo repassado ao consumidor, ou mesmo desencadear acidentes na rede de distribuição.

Com a evolução da manutenção, tornou-se imprescindível abordar esse problema através da engenharia da confiabilidade; para impedir/minimizar os impactos gerados à imagem responsável pela rede e prejuízos aos mesmos, de modo que as empresas sejam intrínsecas aos seus ativos e aos seus estados de funcionamento/conservação. Dessa maneira é essencial evitar tal falha, com a realização da manutenção, tendo em vista que isso possui o caráter de manter disponibilidade de equipamentos, gerenciar recursos e eliminar defeitos de máquina para manter um padrão de qualidade do serviço.

A engenharia de confiabilidade possui o propósito do aumento da disponibilidade de equipamentos para sustentar a linha produtiva. De forma geral, isto é executado pelas recomendações de melhorias nos projetos, no desenvolvimento e otimização de métodos de inspeção, reparo da manutenção e na eliminação de falhas imprevistas. Também é responsável pelo desenvolvimento de uma sólida estratégia proativa de manutenção, bem como, da análise das causas das falhas (Ribeiro Sobrinho, 2019).

Assim sendo, este trabalho tem como objetivo analisar, descobrir e monitorar os parâmetros de falhas em uma subestação termoeletrica. Além disso, esse trabalho como o objetivo garantir a segurança e a qualidade de seus ativos de maneira a manter o equilíbrio financeiro. Faz-se necessário também, através da gestão de ativos, rentabilizar até o limite para que seus ativos atinjam seus objetivos, de maneira a desenvolver seus planos de gestão/operação, a fim de evitar falhas que comprometam a rede de distribuição, aumentando a produtividade, diminuindo os seus custos.

A metodologia para desenvolvimento do trabalho envolveu, inicialmente, um estudo sobre gestão de ativos e a análise de falhas, assim como análise dos principais ativos de uma subestação. Em seguida realizado o estudo de caso em uma subestação específica, através da identificação e reconhecimento da estrutura, funcionamento termoeletrica. Em seguida, uma completa análise de erro foi realizada, com objetivo de identificar as principais possíveis causa de falha e a causa raiz do problema.

## II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo do trabalho é responsável por estabelecer o referencial teórico relevante do aspecto do abordado no trabalho.

Para delimitar investigação bibliográfica ao longo desta fase do trabalho, em que evidencia os seguintes elementos:

### A. Principais Ativos de uma subestação

Ao Considerar as funções desempenhadas e suas dependências, foram identificados os seguintes equipamentos ao considerá-los como o principal ativo da subestação:

#### 1) Transformadores de Potência

Esses equipamentos são os ativos mais valiosos numa subestação, representando cerca de 60% do investimento total (Jahromi et al. 2009). Ao que se refere à função desempenhada, o equipamento é imprescindível, sendo medidas necessárias para a segurança ao alto risco num incidente de falha. Nesse aspecto é vital verificar sua condição para impedir que falhe e seja danificado. Para isso, deve-se executar o planejamento correto da manutenção, prolongando a vida útil e rentabilizando ao máximo o ativo.

O transformador de potência numa subestação é o responsável pela transformação da corrente de Alta Tensão (69kV) para Média Tensão (30,15 ou 10 kV), mantendo a potência do circuito, ao qual, seus enrolamentos são imersos em óleo com a responsabilidade de isolar e protegê-los de pressões térmicas, elétricas e mecânicas.

A caracterização do estado dos transformadores de potência e o tempo de vida útil e a degradação do ativo são afetados pelas seguintes propriedades (Hhlein et al. 2003):

- Dielétricas: o isolamento do transformador;
- Magnéticas: a situação do núcleo e da estrutura que o envolve;
- Comutador: mecanismo que possibilita a regulação da voltagem do transformador;
- Integridade mecânica: a degradação dos componentes dos transformadores sofre com a operação destes.

Na figura 1 é mostrado um transformador de potência para subestação.

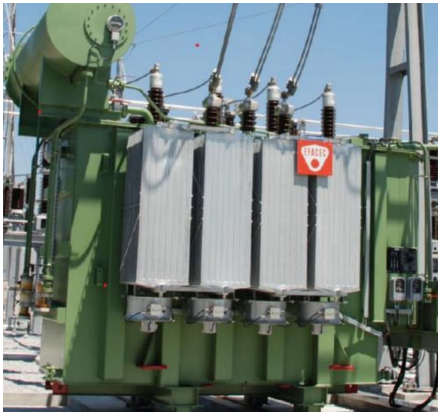


Figura 01: Transformador de Potência [2].

#### 2) Disjuntor

Disjuntores são dispositivos eletromecânicos que possibilitam manobras de cargas e executam a interrupção da energia quando ocorrem curtos-circuitos ou sobrecargas. Caso ocorra uma falha a interrupção de corrente é necessária para que ela não se propague para outros equipamentos e os danifique (Caldas,2019).

O tipo de disjuntor em questão trata-se do trifásico, que possui três polos (Figura 2). Cada polo possui dois pontos de contato que são separados quando é necessário efetuar a interrupção. Os polos têm que suportar pressões elevadas para realizar o corte, dado que é gerado um arco elétrico a ser

extinto. Tal processo terá de ser realizado em curta duração e para conseguir isso temos as seguintes tecnologias:

- Óleo: ao imergir os pontos de contato para suprimir o arco elétrico;
- Ar comprimido: ao extinguir o arco por meio de jatos de ar;
- Vácuo: com a ausência de matéria para o arco ionizar ausência de material isolante;
- SF6: ao utilizar o gás hexafluoreto de enxofre (SF6) como meio isolante de extinção de arco.



Figura 2. Disjuntor Trifásico [2].

Na subestação em questão os disjuntores de Média Tensão encontram-se numa Cella de Média tensão onde estão blindados e isolados do ar, como pode ser verificado na Figura 3.



Figura 3. Celas de Média Tensão. Fonte (Caldas, 2015).

#### 3) Sistemas de Automação

Sistemas de automação se refere a um conjunto de dispositivos que possui a função orientada a controlar equipamentos de uma subestação localmente e à distância, além de desenvolver o sistema a ponto de reduzir o máximo possível a ação humana no processo, como a apresentada na figura 4.



Figura 4. Interface Homem Máquina [2].

Nesse sistema são utilizados diversos dispositivos, mas

tem-se 3 dispositivos principais, sendo eles a Interface Homem Máquina (IHM), o Controlador Lógico Programável (CLP) e o Sistema de Supervisão e Aquisição de Dado (SCADA).

Ao que se refere ao tipo de comunicação, elas podem ser:

- Cabos de rede (ethernet), está por sua vez possui confiabilidade de entrega de dados e largura de banda elevada;
- Comunicação Power Line, o modo de transmissão desse é por meio da rede de energia;
- Via Rádio Frequência;

Os CLPs agem como o cérebro da operação a ser realizada, estes são programados de acordo com a função a qual serão inseridos, através da mesma será responsável por manter o processo de produção funcional e contínuo até segunda ordem. Para manter esse processo funcional também se torna necessário o uso de máquinas para monitorar o processo, afim de verificar se o processo está sendo executado corretamente, para isso temos as IHMs, que servem como telas interativas que permitem operadores executar, parar ou alterar funções ou processos da produção de forma rápida e segura, por outro lado temos os SCADAs que são instalados diretamente em um computador industrial e permite seu usuário interagir com todo o processo de produção de um mesmo local.

## B. Manutenção

A manutenção é uma das principais bases para gestão de ativos. O processo de manutenção almeja aumentar até o limite o tempo de vida útil de equipamentos, de modo a assegurar que este continue a cumprir seu papel nas melhores condições e no máximo tempo possível. Para que isso ocorra devem ser tomadas medidas para prevenir ocorrência de falhas e necessidade de restaurar ativo ou trocá-lo. As principais estratégias de manutenção são:

### 1) Análise de Falhas

Esse método é usualmente aplicado em processos que já está em operação, logo após a falha ocorrer, para identificar suas causas e realizar sua correção, seja depois ou antes da mesma surgir. Com o intuito de detectar as causas e desenvolver ou utilizar medidas corretivas na falha. Tal método também pode ser implementado no processo está na fase de projeto, ao qual possibilita detectar falhas antes da execução do mesmo, e propor correções e soluções para a falha seja implementada no projeto (Takayama, 2008).

O trabalho se desenvolve em torno da situação em que o processo está em operação e após sofrer com a falha. Dessa maneira a análise de falha inicia-se a partir do momento em que a falha do equipamento acontece, e com isso tudo deve ser cuidadosamente observado para que a análise obtenha sucesso. Esse processo tem a participação das pessoas envolvidas com equipamento, seja diretamente ou indiretamente, com a finalidade de prosseguir com a análise.

É evidente destacar que a finalidade desse método é resolver um problema que ocorre no processo e afeta seu desempenho, de modo que as pessoas envolvidas no incidente não adotem postura de autopreservação por entender que a finalidade do processo é encontrar o culpado, quando na realidade trata-se de melhorar o desempenho do processo produtivo.

### 2) Engenharia de Confiabilidade

De acordo com a associação de análise de riscos, segurança de processos e confiabilidade, a confiabilidade pode ser compreendida como capacidade de equipamentos ou de seres humanos desempenharem suas funções propriamente sob determinadas condições específicas durante determinado período.

Os métodos e aspectos apresentados pela engenharia da confiabilidade possuem o propósito de avaliar e otimizar a confiabilidade de sistemas, ao utilizar técnicas provenientes da probabilidade e estática. Portanto, o foco dessa técnica é otimização de produtos e processos para propiciar melhor desempenho e menor custo, sendo necessária bases sólidas e confiável dos dados estudados. Os dados fornecidos pela confiabilidade podem ser quantitativos para suporte a análise qualitativas de falha sendo definidas como:

Qualitativa: não possui a intenção de se obter números como resultado. Mas explorar para se obter aspectos subjetivos de maneira espontânea.

Quantitativa: possibilita medir e realizar hipóteses, tendo em vista que seus resultados são confiáveis e menos passíveis de erros.

De acordo com Pinto, 2009 as funções da confiabilidade consistem exatamente no tipo de distribuição estatística, que depende dos tempos de falha associados. Sendo essas funções utilizadas como métricas de confiabilidade sendo: Função Distribuição Acumulada, Função Densidade de Probabilidade, Taxa de falha, Tempo Médio até a Falha (MTTF) e Distribuição de Weibull.

Dentre as funções de confiabilidade supracitadas, a última é mais usualmente utilizada, pois descreve o tempo de vida dos produtos industriais na sua variedade de formas e em que sua taxa de falha pode ser crescente, decrescente ou constante. Deste modo, pode ser representado falhas típicas, falhas aleatórias e falhas devido ao desgaste, ao obter os parâmetros significativos das configurações das falhas, a partir de representação gráfica simples.

### 3) Causa Raiz

Assim como diz o nome, Causa Raiz refere-se a origem do problema a ser enfrentado, ou seja, o método possui o simples objetivo de identificar a causa original do problema e a razão dele ter ocorrido. Através desse método é possível identificar o erro inicial e a partir dele gerar a solução mais adequada para corrigi-lo.

A Análise de causa raiz, ou RCA consiste em inúmeras ferramentas, abordagens e técnicas para estudo de não conformidades, a serem eliminadas por meio da melhoria de processos, prevendo uma alta eficiência e eficácia na resolução e prevenção de problemas subjacentes.

Das ferramentas de RCA mais utilizadas, tem-se o Diagrama de Ishikawa e o método dos 5 porquês.

A estrutura de Ishikawa considera 5 fatores na atividade, sendo eles: o método na qual a atividade é realizada, a mão de obra responsável por sua execução, os materiais que compõem o processo, as medidas usuais da empresa, o meio ambiente onde a atividade é realizada, as máquinas necessárias para o processo.

### 4) Diagrama de Ishikawa

Criada em 1943 pelo químico japonês Kaoru Ishikawa, o Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama



Espinha de peixe, se trata de uma ferramenta para estruturar o funcionamento de uma determinada tarefa ao considerar todos os componentes essenciais nela presentes com o intuito de filtrar as possíveis causas de um determinado problema (Figura 5).

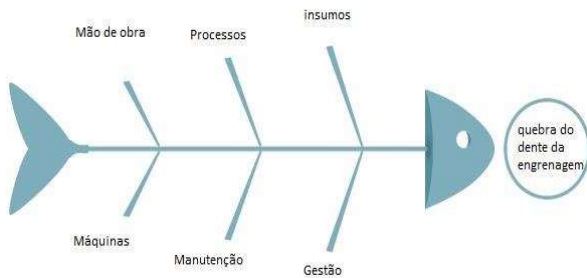


Figura 5. Diagrama de Ishikawa.

Essa estrutura considera 5 fatores na atividade, sendo eles:

- Método na qual a atividade é realizada;
- a mão de obra responsável por sua execução;
- os materiais que compõem o processo;
- as medidas usuais da empresa;
- o meio ambiente onde a atividade é realizada;
- as máquinas necessárias para o processo.

### C. Trabalhos correlatos

#### 1) Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão para a manutenção preditiva dos ativos de uma subestação elétrica

Tal trabalho trata-se de mestrado na área de utilização de ferramentas de inteligência artificial para auxiliar/prever quando ocorreram falhas. Tendo em vista que foi realizado em Portugal no ano de 2015, este estudo é relativamente recente.

Portanto, ele foi utilizado a fim se compreender melhor a estrutura de subestação para definir quais principais ativos dele, assim como definirmos alguns termos na área de manutenção. Vários pontos foram citados no trabalho, tais como manutenção preditiva, corretiva e preventiva, além de enumerar os principais ativos de subestações.

De acordo com Caldas (2015), as empresas de distribuição de energia elétrica possuem a função crítica de manter o fornecimento de energia para os consumidores. As empresas devem garantir dentro de suas limitações, sejam essas tecnológicas, financeiras ou contratadas manter o equilíbrio econômico-financeiro. Para que assim estabelecer seguridade e credibilidade no fornecimento de energia, com intuito de reduzir os custos associados ao mesmo.

#### 2) Análise de falhas em transformadores

Em 2020, um estudo realizado pelo estudante Harison Araujo Antunes da Universidade Federal de Itajubá, apresentou uma metodologia de acompanhamento e identificação de falhas em transformadores (MAIFT), com o objetivo de auxiliar nas buscas de causas raízes contribuindo para uma manutenção preditiva mais eficaz. Essa metodologia, desenvolvida para esse caso em específico, demonstrou possuir uma maior eficácia do que as técnicas convencionais.

O método se resume em 3 passos: a coleta dos dados, a

análise de dados e a solução do problema. Esse ciclo estuda todos os problemas já ocorridos na máquina, analisa suas causas e auxilia na determinação da melhor solução possível.

ANTARES (2020, p.90) conclui que o método se prova importante para a realização do diagnóstico preditivo, também ressaltando ser necessário complementar o diagnóstico até serem definidos os critérios a rigor da causa raiz do problema, observando também que esse método de avaliação acurada da causa raiz provém resultados antes de técnicas preditivas indicarem tal possibilidade.

#### 3) Análise de causa raiz em rolamentos de aerogeradores

Assim como Termoelétricas, geradores Eólicos também sofrem com uma série de problemas, um deles em específico localizado nos rolamentos de aerogeradores, caso estudado por José Daniel Ferreira Alves da Universidade de Coimbra em 2021.

Como se trata de um dos componentes principais da turbina, além de possuir um alto custo de substituição, o estudo realizado busca encontrar as causas e soluções de falhas associadas a esse componente com o objetivo de maximizar a vida útil do mecanismo, além de antecipar a falha com maior antecedência.

Nesse caso as falhas identificadas são resultadas de desgaste físico dos componentes devido a uso contínuo, as vezes visível a olho nu, o que os leva a utilizar dos 3 métodos também usados anteriormente: coleta de dados, a análise dos dados e a solução do problema.

Assim ALVES (2021, p.58) afirma que comparado com outros componentes o índice de falhas do rolamento seja reduzido, o alto custo para substituir o equipamento ainda pode ser amenizado pela implementação do método de estudo, assim garantindo uma maior vida útil do equipamento através de manutenções regularizadas de menor impacto financeiro e ecológico.

### III. ESTUDO DE CASO

Esse estudo fora realizado/focado na área do CCO (Centro de Controle Operacional) do setor responsável pelo controle dos geradores a Diesel de uma termoelétrica (Figura 6) em Goiânia, Goiás. O setor de Geração de energia é composto por 2 pontos de passagem de energia elétrica responsáveis por enviar e energia gerada para a subestações, 36 bases de geração, cada uma possui cerca de 5 geradores a Diesel controlados tanto manualmente como via controladores lógicos programáveis (CLP) via rede.



Figura 6. Setor de Geração da subestação. Fonte Elaborado pelo Autor.

O controle manual é feito através de Interfaces Homem-Máquina (IHMs) específicas, modelos DEIF® e EasyGen® para controle de motores, possuindo pontos de entrada e saída

próprios, o que permitia ao usuário controlar o motor através da IHM sem um intermediário, como um CLP. Por outro lado, o controle via rede da operação era feito através de 2 computadores presentes no CCO, utilizando o sistema supervisor da elipse E3 (Figura 7).



Figura 7. Tela do Supervisor com erro na detecção de potência. Fonte Elaborado pelo Autor.

A falha estudada foi reportada no dia 1 de fevereiro de 2022 quando, em uma das bases, as IHMs do modelo DEIF® foram substituídas pelas IHMs do modelo EasyGen® e a comunicação entre a Base e o sistema Supervisor foi perdida. No dia 8 foi feita uma visita a estação, de maneira a iniciar o estudo da possível causa raiz, sendo finalizado e resolvido em 17 de março de 2022.

#### A. Equipe Responsável

Sendo parte da equipe responsável pela integração do sistema de automação, cabe à empresa integradora estudar e resolver todos os problemas envolvidos na parte relacionada a automação do sistema, partido dos equipamentos instalados, meios de comunicação e até softwares de controle. A usina Termoelétrica é responsável apenas por manter os equipamentos seguros e fornecer apoio por meio de eletricitas caso seja necessário alterar ligações elétricas no sistema.

Como a termoelétrica funciona apenas em emergências, na maior parte do tempo ela se encontrava inoperacional, o que permitiu um estudo de forma mais cautelosa sem que a produção fosse prejudicada. A única exigência da indústria foi que o sistema em operação deve ser colocado online o mais rápido possível para iniciar a geração de energia, caso ele tenha sido desligado para testes.

#### B. Análise dos erros

A informação inicial dada pela empresa indicava que uma das bases havia perdido comunicação com o supervisor do CCO. Após a chegada da equipe em campo, o operário indica que outras duas bases também estavam sem comunicação, junto a um dos pontos de passagem de energia, o que leva a equipe a crer que o problema inicial se origina a partir de um conflito de endereços de IP. A base do problema original teve suas IHMs substituídas, da marca DEIF® para EasyGen®, assim podendo estar interferindo na comunicação do CLP com as bases novas e já existentes.

Utilizando do método de Ishikawa, foi possível filtrar ainda mais as razões da falha partindo do problema, e eliminado cada uma das possíveis causas, até ser possível chegar a uma conclusão do porquê o problema veio a ocorrer. Como representado na Figura 8, foram excluídas em as razões da mão de obra estar seguindo o procedimento, ter sido analisado, validado e aplicado. Além das medidas serem

exclusas devido a distância entre cabeamento, bases, e meio de comunicação foram projetados e calculados seguindo padrões da comunicação Modbus.



FIGURA 8. Diagrama de Ishikawa desenvolvido para o estudo. Fonte: Elaborado pelo Autor.

No desenvolvimento do trabalho, verificou-se que a equipe era limitada para explorar toda a usina de uma vez. Assim sendo, foi feito um fluxograma (Figura 9) de estudo para manter, tanto a equipe da usina quanto a equipe integradora, atualizados de como o processo de busca de erros estaria prosseguindo.

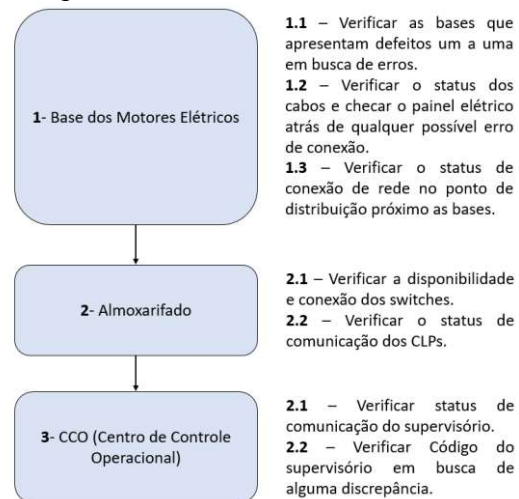


FIGURA 9. Fluxograma de processo organizacional. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Após uma verificação inicial, houve a confirmação de quais bases que apresentavam falhas no supervisor, sendo as bases 30 e 18, além de um dos pontos de passagem de energética, denominado ponto G2 na indústria. Então a equipe decidiu realizar uma verificação pelo método de Ishikawa. Assim, primeiramente foi escolhido o ambiente a ser verificado. Nesse ambiente verifica-se a máquina, os materiais da fiação, a mão de obra envolvida e por fim o método de comunicação dos dispositivos com a rede.

Iniciando pelo local da base 30 (Figura 10), verifica-se se os motores em si apresentam algum defeito ou se as IHMs possuem algum erro de coleção ou comunicação com os motores. O primeiro ponto de interesse foi que a nova base 30 estava se comunicando com a rede via um conversor de Modbus RTU para TCP/IP, que era diferente do modo anterior na qual a base interagiu com um CLP ALTUS FBs-14MAR2-AC® via ModBus RTU, e o CLP FBs mandava os dados para a rede via cabo RJ-45. Por outro lado, a análise da base 18 foi finalizada rapidamente pois o problema se encontrava no fato que a base foi desligada para locomoção



dos motores, mas alguns operários não estavam cientes disso, o que os fez acreditar que a base estava com problemas.



Figura 10. Base 30 de Geradores de Potência. Fonte Elaborado pelo Autor.

Em seguida, a análise foi realizada no almoxarifado da indústria, onde se encontravam os CLPs principais do controle de dados dos motores, pontos de passagem e tráfego de dados. Tem-se que os 2 CLPs responsáveis pelos motores, ALTUSNEXTO 3020®, não possuem entradas digitais, sendo responsáveis apenas por filtrar os dados da sub-rede dos motores e reenviados pela sub-rede do supervisório, assim evitando que o supervisório interfira diretamente no motor. Uma dificuldade encontrada nesse passo foi verificar qual dos CLPs era responsável pelo controle da base 30, já que esse modelo de CLP não possui função de upload, método para pegar o programa do CLP e carregá-lo no computador. Logo, a empresa integradora deveria procurar um programa de backup compatível com os programas presente no CLP.

A última etapa foi a análise do sistema supervisório, de onde ele buscava os dados demonstrados por ele, e quais dados ele enviava, como comandos para os CLPs, e os objetos e códigos envolvidos em sua lógica.

#### IV. RESULTADOS

Analisados os dados obtidos, considerados confidenciais para benefício das empresas, ambas empresas revisaram as origens da falha chegando à conclusão de que o problema se resumia a 3 pontos do sistema.

Esses pontos, filtrados pelo método de Ishikawa, se resumiram a uma máquina, o CLP NEXTO (Figura 11), e 2 métodos. O primeiro método sendo configuração do conversor Modbus, e o segundo o código do supervisório Elipse.

Graças às estratégias de engenharia de confiabilidade da empresa desenvolvidas em conjunto com a empresa integradora que a subestação possuía, equipamentos reservas presentes em seu estoque para o caso de erros não convencionais como estes encontrados ocorressem no decorrer de sua produção, o que permitiu uma maior facilidade na resolução dos problemas identificados previamente.

O conversor Modbus RTP para TCP/IP (Figura 11) tratava-se de um dispositivo com rede gerenciável. Logo, ele possuía um endereço de IP configurável, assim como a configuração que quais dados cada porta Serial (cabo R-232), sendo necessário configurar individualmente qual motor estaria ligado a determinada porta. As portas também apresentaram um limite de leitura de endereços o que fez a equipe ter que dividir os 5 motores entre 2 portas (3 motores ligados a porta

1 e 2 motores ligados a porta 3).



Figura 11. A esquerda representa IHM EasyGen® e a direita o conversor MODBUS RTU para TCP/IP. Fonte Elaborado pelo Autor.

Vale ressaltar que como o conversor possuía um IP antes da configuração, esse IP era a causa do erro do ponto de passagem de Energia pois possuía o mesmo IP que o conversor gerando um conflito na comunicação. Seguindo para o CLP, com a ideia de evitar a adulteração de qualquer dispositivo ativo já presente, a solução apresentada foi usar o CLP reserva da empresa e refazer o programa baseado no backup, presente na empresa de integração, adicionando endereços para todas as bases que atualmente possuem a IHM DEIF®(Figura 12), caso futuramente a empresas opte por substitui-las pelo modelo EasyGen® (Figura 13).



Figura 12. IHM DEIF. Fonte Elaborado pelo Autor.



Figura 13. CLP NEXTO na rede da subestação. Fonte Elaborado pelo Autor.

A partir disso, foi observado erro na configuração do supervisório Elipse E3 (Figura 14), e foi necessário configurar o Script de execução do aplicativo e os objetos de interação (como alarmes visuais, sonoros e botões), para reconhecer que a nova bases seriam consideradas EasyGen, além de incluir o drive de comunicação do novo CLP, e a

configuração para enviar os sinais para a base de número correto.



Figura 12. Base 30 Funcional. Fonte Elaborado pelo Autor.

Assim após a inclusão e configuração de ambos o supervisor e as bases foi feito um teste e efetividade calculando a energia gerada durante o período de ativação das bases, tanto manualmente como via supervisor (Tabela 1).

**TABELA 1.** Comparativo entre métodos de ativação.

	<b>Tempo total de ativação</b>	<b>Energia gerada (Kwh)</b>
<b>Manual</b>	<b>00:50</b>	<b>1723</b>
<b>Automática</b>	<b>00:10</b>	<b>3215</b>
<b>Diferença</b>	<b>00:40</b>	<b>1492</b>

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Baseados nos dados calculados na tabela 1, foi obtida uma redução de cerca de 80% no tempo de inicialização da base, evitando uma perda de 90% a mais de energia no mesmo.

## V. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma análise sobre o estudo de falhas e causa raiz aplicada em uma subestação termoeletrica. Um estudo de caso foi realizado, em centro de controle operacional, que trabalha com geradores a diesel.

A análise realizada se mostrou efetiva, tendo em vista que, depois da realizada a correção, foram realizados testes de eficiência para comparar a energia gerada antes e depois de ser realizada a correção do defeito, comprovando que o método automatizado beneficiou tanto a geração de energia da base quanto a velocidade de inicialização. Portanto, o método proposto para encontrar as falhas se mostrou eficaz, porque foi possível encontrar as falhas com maior facilidade. Além disso, ficou comprovado que a falha não era originada de apenas um problema, mas de um conjunto de fatores que, caso não fossem resolvidos por completo, não resultaria em uma correção completa da falha.

Após a análise utilizando como método o diagrama de Ishikawa, percebeu-se também que existem outros métodos para situações específicas. Em casos específicos inclusive, pode ser necessário criar uma metodologia própria de análise, de modo a auxiliar o profissional responsável pela manutenção, assim como todos os outros indivíduos participantes do processo produtivo, de modo a compreender a importância da análise da causa raiz do problema para todo o processo produtivo.

Diante do trabalho apresentado, a metodologia de análise da causa raiz possui a capacidade de auxiliar na identificação de problemas, além de diminuir o tempo do processo de

manutenção, quando direcionada aos casos que o problema ocorreu.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ANTUNES, Harison Araujo. Metodologia de acompanhamento e identificação de falha em transformadores (MAIFT): contribuição da identificação da causa raiz aliada à manutenção preditiva. 2020. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2020. Disponível em:

<https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/2216>. Acesso em: 25 maio 2022.

[2] CALDAS, Afonso Neves. Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão para a manutenção preditiva dos ativos de uma subestação elétrica. 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Informática e Computação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2015. Cap. 2-3. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/83105>. Acesso em: 23 fev. 2022.

[3] ALVES, José Daniel Ferreira. Análise de potenciais causas raiz de danos nos rolamentos principais de aerogeradores e análise da manutenção preventiva, corretiva e preditiva aplicável. 2021. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/98164>. Acesso em: 25 maio 2022.

[4] CAUSA raiz da falha: como fazer uma análise correta. 2020. Disponível em: <https://inovacaoindustrial.com.br/causa-raiz-da-falha/>. Acesso em: 25 maio 2022.

[5] COSTA, João Carlos de Oliveira; Notas de aula sobre equipamentos elétricos em subestações. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2011. 45 p. Disponível em: [https://capacitacao.ana.gov.br/conhecercer/bitstream/ana/214/1/Equipamentos Elétricos em Sub-estações.pdf](https://capacitacao.ana.gov.br/conhecercer/bitstream/ana/214/1/Equipamentos%20El%C3%A9tricos%20em%20Sub-esta%C3%A7%C3%B5es.pdf). Acesso em: 06 jun. 2022.

[6] ENGENHARIA de Confiabilidade. 2017. Associação brasileira de análise de risco, segurança de processos e confiabilidade. Disponível em:



<http://www.abrisco.com.br/novo/conceitos/9-engenharia-de-confiabilidade>. Acesso em: 25 maio 2022.

[7] Gulati, R., and R. Smith. 2009. Maintenance and Reliability Best Practices: Industrial Press.

[8] Hhlein, I., A. J. Kachler, S. Tenbohlen, and M. Stach. 2003. "Transformer Management German Experience with Condition Assessment." Contribution for CIGRE SC 12/A2.

[9] HOLANDA, Mariana de A.; PINTO, Ana Carla B. R. F. Utilização do Diagrama de Ishikawa e Brainstorming para Solução do Problema de Assertividade de Estoque em uma Indústria da Região Metropolitana de Recife. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, out. 2009. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009\\_tn\\_sto\\_103\\_685\\_13053.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_tn_sto_103_685_13053.pdf). Acesso em 16 jan. 2017.

[10] Jahromi, A., R. Piercy, S. Cress, J. Service, and W. Fan. 2009. "An approach to power transformer asset management using health index." Electrical Insulation Magazine, IEEE 25 (2):20-34. doi: 10.1109/MEI.2009.4802595.

[11] MENDES, Guilherme. Análise de Causa Raiz (RCA): As ferramentas mais utilizadas. 2021. Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/analise-de-causa-raiz/>. Acesso em: 25 maio 2022.

[12] RIBEIRO SOBRINHO, Quintino. APLICAÇÃO DA ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE PARA CONCEPÇÃO DE NOVO PROJETO E RECUPERAÇÃO DAS CORRENTES DE UM RESFRIADOR DE PLACAS. 2019. 54 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia da Confiabilidade, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Cap. 1. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18608/1/CT\\_CEECVIT\\_II\\_2019\\_28.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18608/1/CT_CEECVIT_II_2019_28.pdf). Acesso em: 25 maio 2022.

[13] TAKAYAMA, Mariana Amorim Silva. ANÁLISE DE FALHAS APLICADA AO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA MANUTENÇÃO. 2008. 47 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Produção, Coordenação de Curso de Engenharia de Produção da Universidade de Juiz de Fora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008. Cap. 3. Disponível em:

[https://www2.ufjf.br/engenhariadeproducao/files/2014/09/2008\\_3\\_Mariana-Amorim.pdf](https://www2.ufjf.br/engenhariadeproducao/files/2014/09/2008_3_Mariana-Amorim.pdf). Acesso em: 06 jun. 2022.



O trabalho intitulado **ANÁLISE DE CAUSA RAIZ APLICADA EM UMA SUBESTAÇÃO TERMOELÉTRICA**, de autoria de **Matheus De Almeida Sousa Oliveira**, **Lucas Marques Noieto** e **Bruno Fagundes Ferreira** foi aprovado na modalidade ARTIGO (TEMPLATE), para apresentação no evento XXII CONEMI a ser realizado 22/10/2022.

SÃO PAULO-SÃO PAULO-BRASIL

{assinatura.comissao}

Elias Bitencourt Teodoro - [conemi@conemi.org.br](mailto:conemi@conemi.org.br)