

Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica



CECÍLIA RODRIGUES DE MORAES

**Aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade em Ativos de
Média e Alta Tensão em uma Planta Industrial**

Uberlândia
2021

CECÍLIA RODRIGUES DE MORAES

**Aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade em Ativos de
Média e Alta Tensão em uma Planta Industrial**

Trabalho apresentado como requisito parcial de avaliação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Giordanni da Silva Troncha

Assinatura do Orientador

Uberlândia
2021

**Aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade em Ativos de
Média e Alta Tensão em uma Planta Industrial**

Prof. Ivan Nunes Santos, Dr. (UFU)

Eng. Celso Rosa de Azevedo Jr, Me. (UFU)

Uberlândia, 10 de junho de 2021

Dedico este trabalho aos meus pais, Sirlei e Saulo, e à minha irmã Letícia, por acreditarem em mim, me fortalecerem e me apoiarem em meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Giordanni da Silva Troncha, cuja valiosa orientação e paciência permitiram a elaboração deste trabalho. Desejo-lhe uma jornada docente feliz e próspera, com muitos “dias de glória”.

À Sirlei Rodrigues Rosa, minha mãe, professora, conselheira e amiga. Espero poder sempre honrar seu orgulho e seus cuidados. À Letícia Rodrigues de Moraes, irmã em seu mais genuíno significado. Ao meu pai Saulo de Moraes Junior, por confiar e me apoiar em minhas decisões. A distância só nos une e torna ainda mais precioso todo apoio e carinho que deles recebo.

A todos os colegas de estágio, operadores, supervisores e eletricitas da Cargill Agrícola em Uberlândia, por proporcionar condições e prover recursos necessários ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos de Budapeste, que são minha família “do lado de cá”, especialmente à Caroline Marques Ramos, cuja amizade e companheirismo tornaram mais leves as incertezas destes tempos difíceis.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso prático realizado em uma planta industrial na cidade de Uberlândia-MG, que teve como foco principal realizar uma avaliação primária da manutenção aplicada para equipamentos de média e alta tensão das subestações, prevendo possíveis ocorrências de falhas e oportunidades que contribuam para a gestão de manutenção. Esta verificação baseou-se nas diretrizes da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), que consiste em uma estratégia integrada com objetivo de otimizar a instalação, a operacionalidade e a eficiência dos equipamentos. A metodologia empregada para a execução desse estudo de caso consistiu em: uma pesquisa nos bancos de dados da empresa sobre o atual controle dos ativos, levantamento da criticidade e dos modos de falha dos equipamentos e, por fim, a elaboração de um guia descritivo das manutenções programadas para ativos elétricos. Este estudo aponta os desafios para o acompanhamento dos equipamentos de alta e média tensão avaliados e gerou, como resultado, materiais de apoio para a construção de um plano de manutenção atualizado e mais eficiente.

ABSTRACT

This work presents a practical case study carried out in an industrial plant in the city of Uberlândia-MG, which main focus was to perform a primary assessment of applied maintenance for medium and high voltage equipment in substations, predicting possible occurrences of failures and reporting opportunities that contribute to maintenance management. This verification was based on the Reliability Centered Maintenance (RCM) guidelines, which consists of an integrated strategy aimed at optimizing the installation, operability and efficiency of equipment. The methodology used to implement this study consisted of a research in the company's databases on the current control of assets, survey of criticality and failure modes of equipment and, finally, the preparation of a guide of scheduled maintenance for electrical assets. This study points out the challenges for monitoring the high and medium voltage equipment and, as a result, developed some support materials for the structure of an updated and more efficient maintenance plan.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Evolução das Técnicas de Manutenção	16
Figura 2: Diagrama de Tipos de Manutenção Industrial	17
Figura 3: 7 Perguntas para guiar a análise da MCC	22
Figura 4: Diagrama unifilar da subestação 138 kV	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Plano Operacional da Aplicação da MCC nos ativos elétricos.....	30
Tabela 2: Lista de <i>Stakeholders</i> da Aplicação da MCC.....	33
Tabela 3: Comparativo entre as relações de equipamentos encontradas sob posse da fábrica para Subestação 138 – Área Externa.....	38
Tabela 4: Comparativo entre as relações de equipamentos encontradas sob posse da fábrica para Subestação 138 – Área Interna.....	39
Tabela 5: Quantificação dos equipamentos presentes da subestação SE SOJA 01	40
Tabela 6: Quantificação dos equipamentos presentes da subestação SE SOJA 02	41
Tabela 7: Quantificação dos equipamentos presentes da subestação SE SOJA 03	41
Tabela 8: Quantificação dos equipamentos presentes da subestação SE SOJA 04	42
Tabela 9: Relação dos equipamentos presentes nas subestações da Fábrica de Acidulantes sobre posse da fábrica.....	44
Tabela 10: Análise dos Modos de Falha dos ativos das subestações.....	46
Tabela 11: Guia Descritivo das Manutenções Programadas para Ativos Elétricos.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

FEELT – Faculdade de Engenharia Elétrica

MCC – Manutenção Centrada na Confiabilidade

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Técnica Brasileira

NASA – National Aeronautics and Space Administration

FMEA – Failure Mode and Effects Analysis

CERON – Centrais Elétricas de Rondônia S.A

CELPA – Centrais Elétricas do Pará S.A

COPEL – Companhia Paranaense de Energia

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

IAEA – Agência Internacional de Energia Atômica

SE 138 – Subestação Abaixadora de 138 kV/13,8 kV

SE SOJA 1 – Subestação abaixadora de média tensão da fábrica de Soja 1

SE SOJA 2 – Subestação abaixadora de média tensão da fábrica de Soja 2

SE SOJA 3 – Subestação abaixadora de média tensão da fábrica de Soja 3

SE SOJA 4 – Subestação abaixadora de média tensão da fábrica de Soja 4

SE ACIDO 1 – Subestação abaixadora de média tensão da fábrica de Acidulantes 1

SE ACIDO 2 – Subestação abaixadora de média tensão da fábrica de Acidulantes 2

SE ACIDO 3 – Subestação abaixadora de média tensão da fábrica de Acidulantes 3

EAP – Estrutura Analítica de Projeto

PCM – Planejamento e Controle de Manutenção

EDM – Electrical Distribution Maintenance

DGA – Dissolved Gas Analysis

VLF – Very low frequency

EMT – Empresa de Manutenção Terceirizada

TC – Transformador de Corrente

MEM – Manutenção Elétrica do Milho

SUMÁRIO

1. Introdução	12
1.1 Considerações Iniciais	12
1.2 Objetivos	13
1.3 Organização do Texto	13
2. Revisão Bibliográfica	15
2.1 Definição e Histórico da Manutenção	15
2.2 Classificação dos tipos de Manutenção	17
2.3 Ferramentas e Conceitos complementares à MCC	22
2.4 Aplicações da MCC.....	25
2.5 Considerações Finais.....	26
3. Estudo de Caso.....	27
3.1 Considerações Iniciais	27
3.2 Escolha das Instalações para Emprego da MCC	27
3.3 Análise e Planejamento Preliminar.....	29
3.4 Metodologia.....	33
3.4.1 Gestão dos Ativos	34
3.4.2 Análise Crítica dos Ativos das Instalações	34
3.4.3 Guia Descritivo das Manutenções Programadas para os Ativos Elétricos	35
3.5 Resultados e Discussões	37
3.5.1 Gestão dos Ativos	37
3.5.2 Análise Crítica dos Ativos da Média Tensão	46
3.5.3 Guia Descritivo das Manutenções Programadas para Ativos Elétricos.....	49
3.6 Considerações Finais.....	58
4. Conclusões.....	59
Referências.....	61
Anexo 1.....	64

1. Introdução

Este capítulo inicial traz uma introdução ao trabalho desenvolvido, levando em consideração tópicos correlatos ao tema e um breve histórico sobre a metodologia de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). Além disso, expõe aspectos gerais que enfatizam a motivação e os objetivos para os estudos aqui documentados.

1.1 Considerações Iniciais

Na economia globalizada, a sobrevivência das organizações depende de sua habilidade e rapidez em inovar e efetuar melhorias contínuas. Como resultado, as indústrias vêm buscando incessantemente novas ferramentas de gerenciamento, que as direcionem para uma maior competitividade através da qualidade e produtividade de seus produtos, processos e serviços (KARDEC, 2004).

O setor de manutenção é parte fundamental e tem função estratégica na organização de uma indústria. A manutenção é responsável direta pela disponibilidade e performance dos ativos. Por isso, esse setor tem importância concreta na eficiência e nos resultados de uma empresa.

Na busca de estratégias de manutenção tecnicamente viáveis e de melhor custo-benefício, foi da indústria que se originou uma das metodologias de manutenção mais utilizadas em termos globais, a qual é conhecida por Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).

De modo abrangente, a MCC tem o propósito de preservar as funções do sistema, identificar os modos de falha que afetam essas funções, determinar a importância das falhas funcionais e selecionar as tarefas aplicáveis e efetivas na prevenção de falhas (SMITH, 1992). Como resultado, obtém-se um aumento da disponibilidade, o que permite, conseqüentemente, o aumento da produção e da rentabilidade. (NASCIF, 2000).

As ferramentas e técnicas que compreendem a MCC podem ser aplicadas em diversos processos fabris e sistemas, tais como cadeias de produção, usinas, armazéns, redes de transportes e sistemas de distribuição de energia elétrica.

1.2 Objetivos

Este trabalho propõe um estudo de caso prático, fundamentado na implantação da MCC em uma indústria alimentícia da cidade de Uberlândia em Minas Gerais. O estudo tem como finalidade o conhecimento do escopo de ativos elétricos de alta e média tensão para melhor investir em sua manutenção, haja vista a alta criticidade destes ativos, cuja disponibilidade é essencial para a performance de uma indústria que opera 24 horas por dia.

A indústria na qual o estudo foi proposto já contava com uma equipe de confiabilidade, e muitas práticas trabalhadas nessa metodologia já eram aplicadas. Entretanto, os responsáveis pela MCC ainda enfrentavam muitas adversidades no conjunto de equipamentos elétricos, em especial, os instrumentos de transformação e de manobra das subestações. Pois devido à dificuldade de substituição e por demandarem serviços de manutenção com alto custo, trata-se de equipamentos que não podem ser interrompidos sem afetar a operação. Sobremaneira, ficou evidente para os envolvidos na área de confiabilidade que havia expressivas oportunidades para a implementação de uma manutenção mais estratégica.

A metodologia empregada para a execução desse estudo de caso consistiu em uma pesquisa nos bancos de dados da empresa sobre o atual controle dos ativos, levantamento da criticidade e dos modos de falha dos equipamentos e, por fim, a elaboração de um guia descritivo das manutenções programadas para ativos elétricos.

Esta verificação teve como foco principal realizar uma investigação inicial nas diretrizes da MCC para equipamentos de média e alta tensão das subestações avaliadas, prevendo possíveis ocorrências de falhas e oportunidades que contribuam para a gestão ótima de manutenção.

1.3 Organização do Texto

Este trabalho de conclusão de curso encontra-se estruturado em 04 (quatro) capítulos, sendo o **Capítulo 1** uma parte introdutória do mesmo, no qual são abordados aspectos gerais do trabalho com a contextualização da temática estudada. O **Capítulo 2** consiste na revisão bibliográfica acerca da metodologia implementada e dos sistemas que foram foco desse estudo. O **Capítulo 3** descreve todo o estudo de caso realizado, os procedimentos

utilizados, bem como os resultados alcançados. Os desafios e análises gerais que surgiram ao longo do trabalho, também são discutidos aqui. Por fim, no **Capítulo 4** são sintetizadas as conclusões obtidas nesse trabalho, ressaltando os principais resultados e contribuições além de serem apresentadas algumas sugestões de trabalhos futuros, no que tange à confiabilidade e manutenção de sistemas industriais da unidade fabril sob avaliação.

2. Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta os conceitos e as definições no âmbito do conhecimento da manutenção que serão recorrentes no desenvolvimento do referido trabalho. Traz também uma síntese da visão sobre a função da manutenção nas organizações ao longo dos anos. Deste modo, é feita uma introdução à visão da manutenção como função estratégica e às ferramentas utilizadas pela MCC.

2.1 Definição e Histórico da Manutenção

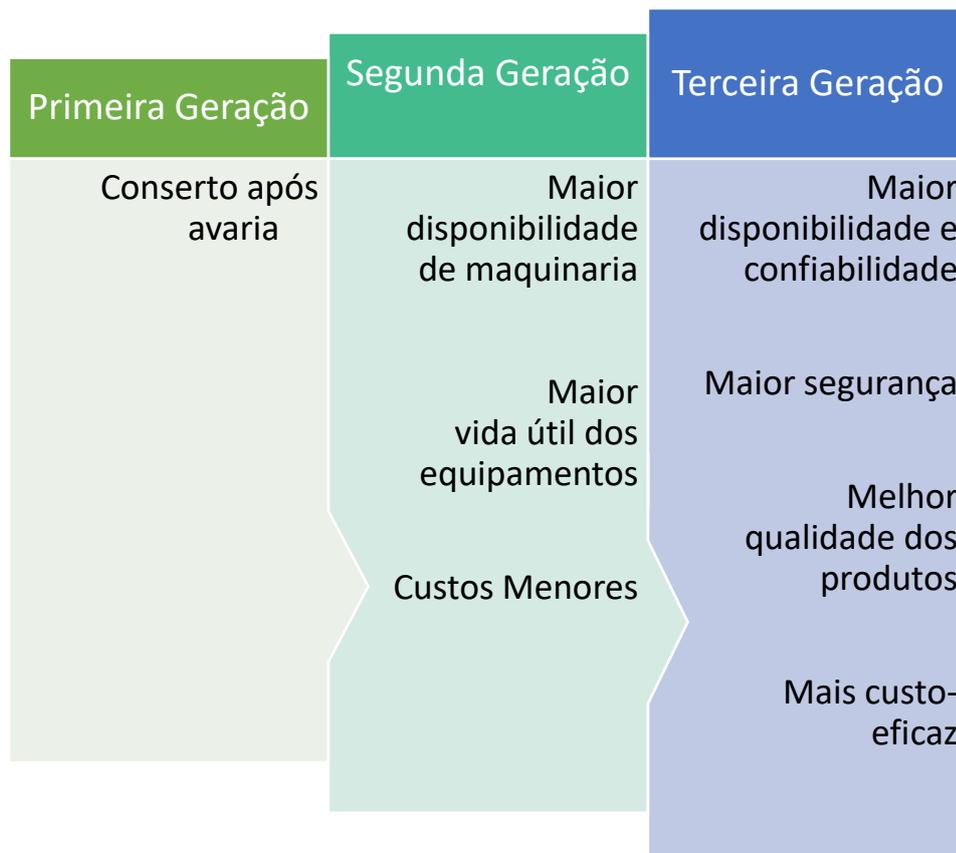
A manutenção é definida, conforme a ABNT da seguinte forma:

NBR-5462 (ABNT, 1994): “A manutenção é indicada como a combinação de todas as 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.”

A manutenção é o conjunto de técnicas que assegura que os ativos físicos (equipamentos, sistemas, instalações) continuem a fazer o que os usuários querem que eles façam. É necessário ressaltar que os usuários devem ser operadores que tenham conhecimento para operar o equipamento ou ativo, de forma que consiga extrair desses o máximo em produtividade, dentro de seus limites operacionais, sem diminuir a vida útil. (MOUBRAY, 1997)

O autor referenciado anteriormente apresenta ainda apresenta algumas definições que expõem a manutenção como um conjunto de ações e recursos aplicados aos ativos, para mantê-los nas condições de desempenho de fábrica e de projeto, visando garantir a consecução de suas funções dentro dos parâmetros de disponibilidade, qualidade, prazos, custos, vida útil. A evolução da manutenção pode ser investigada através de três gerações conforme Figura 1:

Figura 1: Evolução das Técnicas de Manutenção



Fonte: Adaptado de Moubray (1997)

A primeira geração representou a ênfase no conserto após a falha. A segunda geração, por sua vez, esteve associada ao surgimento de maiores exigências com relação à disponibilidade operativa e a vida útil dos equipamentos a custos menores. Já a terceira geração, que se refere à atualidade, diz respeito a requisitos característicos, como: maior disponibilidade, confiabilidade, segurança e vida útil, com ausência de danos ao meio ambiente e às pessoas, prezando ainda para ações de manutenção eficazes em função dos custos envolvidos. Além disso, tem-se uma preocupação pelo monitoramento das

condições e projetos de equipamentos além das ferramentas de suporte às decisões, tais como os estudos sobre riscos, modos de falha e análise dos seus possíveis efeitos.

Nesse contexto, observa-se sobremaneira na terceira geração, o desenvolvimento da chamada MCC, a qual enfatiza, em sua análise e aplicação, as funções dos equipamentos e sistemas e realiza uma criteriosa avaliação das consequências das falhas para a segurança da operação dos sistemas e para o meio ambiente, visando obter o máximo de benefícios, reduzindo os custos operacionais. (SALMAZO, 2012).

Literaturas mais recentes como apresentado por Mortelari (2011), discutem acerca da quarta geração da manutenção, a qual prima por uma visão mais holística da manutenção, mostrando que a engenharia da confiabilidade com seus monitoramentos e aliada à inteligência artificial, proverão o aprimoramento das técnicas preditivas e a melhor gestão dos ativos.

2.2 Classificação dos tipos de Manutenção

As atividades de manutenção podem ainda ser analisadas e classificadas de acordo com a atitude dos manutentores em relação às falhas. De acordo com Kardec e Nascif (2009), pode-se dividir os tipos de manutenção de acordo com o diagrama da Figura 2 abaixo:

Figura 2: Diagrama de Tipos de Manutenção Industrial



A manutenção corretiva ou reativa destina-se a corrigir falhas que já tenham ocorrido, enquanto a manutenção preventiva tem o propósito de prevenir e evitar as consequências das falhas. Já a manutenção preditiva busca a antecipação da falha por meio do mapeamento dos parâmetros que indiquem a evolução de uma falha a tempo de ser corrigida. Similarmente, a manutenção detectiva procura identificar falhas que já tenham ocorrido, mas que não foram percebidas até o momento pelo supervisor (SIQUEIRA,2005 apud. SOUZA,2008). Para maior detalhamento no que tange aos tipos de manutenção, uma síntese é feita nos subitens a seguir.

2.2.1 Manutenção Corretiva:

Para a manutenção corretiva não-planejada, a correção da falha ou do desempenho abaixo do esperado é realizada sempre após a ocorrência do fato, sem acompanhamento ou planejamento anterior. Isso implica em altos custos e baixa confiabilidade de produção, já que gera ociosidade e danos maiores aos equipamentos, muitas vezes irreversíveis (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009; OTANI; MACHADO, 2008).

2.2.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva corresponde à ação tomada para manter um item físico em condições operantes por meio de inspeções, reformas, troca de peças e está em um nível superior se comparada à manutenção corretiva, pois a máquina (ou equipamento, ou o sistema) encontra-se em estado operacional, mas seu desempenho está reduzido, a ponto de entrar em estado de falha (BRITTO, 2006).

Segundo Gaio (2016), para a aplicação deste tipo de manutenção, é muito comum alinhar a ferramentas da manutenção centrada em confiabilidade. A partir destas ferramentas, pode ser decidido o nível de risco para cada possível falha e se vale a pena trocar o equipamento preventivamente ou esperar até a falha e ainda (caso admita-se a substituição preventiva), qual deverá ser o prazo para substituição de forma otimizada.

2.2.3 Manutenção Preditiva

Segundo a NBR 5462 (ABNT, 1994), a manutenção preditiva pode ser definida como um tipo de manutenção que garante a qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de medições e análises. Para tanto, utiliza-se de meios de supervisão ou de amostragem para reduzir ao mínimo a manutenção corretiva.

Manutenção preditiva é o conceito moderno de manutenção não-invasiva em que se acompanha o comportamento de determinados elementos do equipamento ou identifica-se um componente com desempenho diferente do esperado e, uma vez constatada a anomalia, realiza-se a intervenção. Os parâmetros ou variáveis que podem ser monitorados em um esquema de manutenção preditiva são, por exemplo: a temperatura, níveis de lubrificação, ruídos, pressão, ensaios não destrutivos e vibrações. A manutenção preditiva será tanto mais eficiente quanto mais rapidamente for detectada a variação dos parâmetros (ZAIONS, 2003 apud. BRITTO 2006).

Segundo Santos (2009), a manutenção preditiva pode fazer o acompanhamento de diversos parâmetros por meio das seguintes técnicas:

- Ensaios elétricos: corrente, tensão e isolamento.
- Análise de vibrações: nível global, espectro de vibrações e pulsos de choque.
- Análise de óleos: viscosidade, teor de água e contagem de partículas.
- Análise de temperatura: termometria convencional e indicadores de temperatura.
- Energia acústica: ultrassom e emissão acústica.

2.2.4 Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva pode ser definida como a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis aos encarregados da operação e manutenção (KARDEC; NASCIF, 2009).

A manutenção detectiva é focada especialmente em sistemas de proteção, que não podem falhar quando solicitados, visando o aumento da confiabilidade de sua atuação. São sistemas que, via de regra, se falharem, colocam em risco a segurança ou a continuidade do processo, causando perda de eficiência e/ou danos ainda maiores. Um exemplo simples e objetivo de aplicação da manutenção detectiva é o teste de lâmpadas de sinalização e alarme em painéis (SENAI, 2008).

2.2.5 Manutenção Centrada em Confiabilidade

De acordo com a NASA (2000), a Manutenção Centrada em Confiabilidade é um processo alternativo de manutenção utilizado para definir a abordagem mais efetiva para a manutenção. Esta, tem por objetivo aumentar a operacionalidade dos equipamentos, melhorar a segurança e reduzir os custos relacionados. A MCC tem como cerne identificar as ações a serem tomadas para reduzir a probabilidade de falha dos equipamentos e proporcionar custos mais atrativos. Além disso, essa técnica procura estabelecer uma sintonia ótima entre as ações de manutenção a serem desenvolvidas com base na condição, no tempo ou ciclo de operação e na operação até a falha dos equipamentos. Essa abordagem é considerada uma estratégia integrada com objetivo de otimizar a instalação, a operacionalidade e a eficiência dos equipamentos, ao mesmo tempo, minimizar o custo do ciclo de vida dos equipamentos. Sendo assim, não se trata de uma aplicação isolada, e sim de um processo contínuo que reúne dados do desempenho operacional do sistema e utiliza estes dados para aprimorar e reduzir as intervenções futuras.

Segundo Slack (2000), a abordagem da MCC pode ser resumida como: “se não podemos evitar que as falhas aconteçam, é melhor evitar que elas tenham importância”. Em outras palavras, se a manutenção não pode prever ou mesmo prevenir as falhas, então os esforços deveriam ser dirigidos a reduzir o impacto de tais falhas.

2.2.6 Metodologia de Implementação da MCC

A metodologia MCC, segundo Siqueira (2005), adota uma sequência estruturada, composta de sete etapas, a saber:

- Seleção do Sistema e Coleta de Informações;
- Análise de Modos de Falha e Efeitos;
- Seleção de Funções Significantes;
- Seleção de Atividades Aplicáveis;
- Avaliação da Efetividade das Atividades;
- Seleção das Tarefas Aplicáveis e Efetivas;
- Definição da Periodicidade das Atividades.

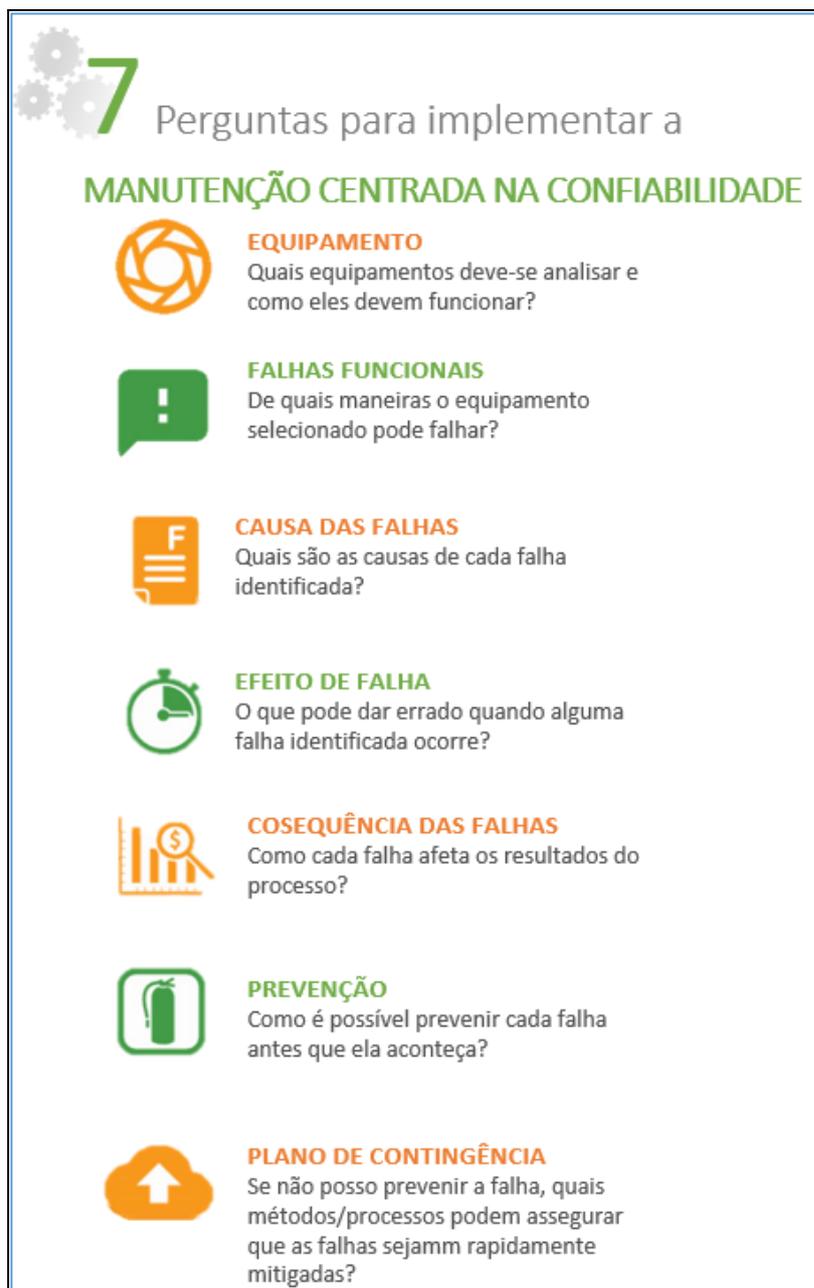
A primeira etapa, “Seleção do Sistema e Coleta de Informações”, objetiva identificar e documentar o sistema ou processo que será submetido à análise. O sistema escolhido deve ser relevante do ponto de vista operacional e financeiro, justificando a aplicação da MCC e o envolvimento da alta gerência. As funções padrões de desempenho determinam requisitos que atendam satisfatoriamente às necessidades dos processos, sendo a base do estudo (SOUZA, 2008).

Siqueira (2005) e Souza (2008) descrevem tal sequência da seguinte maneira:

1. Análise de Modos de Falha e seus Efeitos: são identificadas e documentadas todas as funções e seus modos de falha, assim como os efeitos adversos produzidos por elas.
2. Seleção de Funções Significantes: utiliza um processo estruturado para analisar cada função identificada na etapa anterior, e determinar se uma falha tem efeito significativo.
3. Seleção de Atividades Aplicáveis: determinam-se as tarefas de manutenção preventiva que sejam tecnicamente aplicáveis para prevenir ou corrigir cada modo de falha.
4. Avaliação da Efetividade das Atividades: constitui-se em um processo estruturado para determinar se uma tarefa de manutenção preventiva é efetiva para reduzir, a um nível aceitável, as consequências previstas para uma falha.
5. Seleção das Tarefas Aplicáveis e Efetivas: utiliza-se um processo estruturado para determinar a melhor tarefa. Por fim, a sétima etapa estabelece os métodos e critérios para definição da periodicidade de execução das atividades selecionadas.

A Figura 3 ilustra sete perguntas que padronizam a análise da MCC e podem guiar a lógica de implementação da técnica em um sistema.

Figura 3: 7 Perguntas para guiar a análise da MCC



Fonte: Adaptado de Limble-CMMS (2021)

2.3 Ferramentas e Conceitos complementares à MCC

2.3.1 Análise de Modos e Efeitos de Falhas

A Análise de Modos e Efeitos de Falhas, traduzido do inglês *FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)*, é utilizada na MCC com o propósito de avaliar, documentar, e priorizar o

impacto potencial de cada falha funcional, visando definir formas de prevenção ou correção. Segundo Siqueira (2005) apud. Souza (2008), um estudo de FMEA envolve a identificação sistemática dos seguintes aspectos, para cada segmento/componente de uma instalação:

- Função: objetivo, com o nível desejado de performance;
- Falha funcional: perda ou desvio da função;
- Modo de falha: o que pode falhar;
- Causa da falha: por que ocorre a falha;
- Efeito da falha: impacto resultante na função principal;
- Criticidade: severidade do efeito

Além disso, é comum incluir no estudo os sintomas das falhas, o roteiro de localização, o mecanismo de falha, as taxas de falha e as recomendações.

Como descrito por Fidalgo (2007), em linhas gerais, a FMEA constitui uma abordagem simples, sistemática e direta para a identificação das fontes básicas de falhas, suas causas e consequências, verificando os métodos existentes para a detecção ou controle dessas falhas e definindo as ações necessárias para eliminar as causas ou reduzir seus efeitos.

O uso consistente da FMEA geralmente leva à identificação de problemas que não haviam sido antecipados e ao estabelecimento de prioridades para a sua correção.

2.3.2 Gestão da Manutenção

Segundo Osada (1993), o gerenciamento da manutenção deve considerar os seguintes pontos:

- 1) restringir os investimentos em equipamentos desnecessários;
- 2) utilizar ao máximo os equipamentos existentes;
- 3) melhorar a taxa de utilização do equipamento para a produção;
- 4) garantir a qualidade do produto, através do uso do equipamento;
- 5) reduzir a mão-de-obra, através da melhoria dos equipamentos;
- 6) reduzir os custos de energia e materiais adquiridos, através de inovações no equipamento e melhorias dos métodos de sua utilização.

A partir dessas considerações, é possível construir um plano de manutenção eficiente que abranja a capacidade da equipe de manutenção e a necessidade da produção para

com os equipamentos. As vantagens de um plano de manutenção podem ser resumidas da seguinte forma:

- O número de etapas pode ser identificado, o que facilita o trabalho do manutentor e cria uma rotina.
- As exigências de recursos humanos podem ser planejadas, de modo a otimizar a disponibilidade de pessoal necessária.
- Os erros na aquisição de materiais, peças sobressalentes e subcontratação de serviços podem ser evitados.
- A qualidade, em termos gerais, pode ser verificada.
- Através da criação de planos de trabalho detalhados, os cronogramas podem ser sincronizados com os planos da produção.
- Os ciclos de reparo podem ser identificados e medidas em tempo hábil podem ser tomadas.
- Os padrões para o trabalho de reparo podem ser identificados, permitindo que o trabalho seja executado de forma eficiente.
- Planos de reparo simultâneos podem ser criados.
- O senso de responsabilidade das pessoas pode ser estimulado.
- Através de atividades de trabalho planejadas, um grande volume de atividades pode ser realizado de forma mais eficiente.

2.3.3 Gestão de Ativos e Cadastro de Equipamentos

De acordo com Souza (2008), para a execução do gerenciamento da manutenção é necessário possuir um cadastro único que abranja todos os equipamentos que serão inspecionados.

Além disso, deve-se ter o histórico de falhas, as manutenções realizadas, as peças trocadas, entre outras informações, as quais facilitam a tomada de decisão por parte do gestor aprimorando o planejamento da manutenção.

Ainda de acordo com Marques (2003), neste contexto, o cadastro de equipamentos deve ser feito por família de equipamentos que possam ser recondicionáveis, devendo conter as seguintes informações básicas:

- Endereço (Localização) da aplicação atual;
- Dados de identificação geral, de cada família de equipamentos, tais como número patrimonial, fabricante, marca, modelo, número de série, etc.;

- Dados técnicos nominais, construtivos e de montagem, tais como diâmetro do eixo, velocidade, tensão, corrente, temperatura, frequência, etc.;
- Dados complementares sobre o equipamento, dados administrativos, etc.

É importante observar que o cadastro de equipamentos é a ficha ou registro onde serão anotadas todas as ocorrências envolvendo este determinado equipamento na localização específica, devendo ser direta e automaticamente atualizada a cada Ordem de Serviço e Folha de Inspeção emitida, pois é neste cadastro que se formarão os históricos deste equipamento (SOUZA, 2008).

2.4 Aplicações da MCC

A metodologia de Manutenção Centrada na Confiabilidade tem sido empregada na indústria aeronáutica há mais de 25 anos. Esta estratégia era um conceito novo no cenário industrial brasileiro até então, entretanto, nos últimos anos tem havido uma crescente aplicação desse procedimento com algumas adaptações para uso em outros setores, tais como, farmacêutico, siderúrgico, em plataformas *offshore* e no setor petroquímico. (FLEMING *et al.*, 1999).

No setor elétrico brasileiro, também existem diversas instalações que lançam mão da MCC, como por exemplo, na área de subestações destaca-se Furnas Centrais Elétricas S.A., a Eletrosul Centrais Elétricas S.A., as Centrais Elétricas de Rondônia S.A. (CERON) e as Centrais Elétricas do Pará S.A. (CELPA). Na área de geração hidrelétrica e transmissão de energia, salienta-se a Companhia Paranaense de Energia (COPEL) e a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) (NUNES, 2001).

Salmazo (2012) apresentou uma proposta de implementação dessa ferramenta nos ativos das redes subterrâneas de Curitiba, sob concessão das COPEL. O estudo resultou na formulação de um plano de manutenção com tarefas combinadas, proporcionando uma melhora significativa na eliminação de modos de falha, ou na minimização de seus efeitos.

Souza (2008) analisa em seu trabalho a aplicação da MCC em uma empresa de logística, demonstrando a necessidade de mudança na disponibilização de ativos da empresa sob análise. Como conclusão de seu trabalho, o autor afirma que a manutenção preventiva (baseada no tempo) provoca perdas de produtividade e indisponibilidade de ativos, validando assim a real necessidade de implantar um modelo de gestão de manutenção mais eficiente.

A Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) publicou em 2007 um guia de aplicação da MCC em usinas nucleares. Este guia tem por objetivo compilar as melhores práticas de implementação deste recurso, apresentando os resultados esperados e exemplos práticos de seus benefícios ao setor. O guia ainda conclui que a MCC permite focar em componentes críticos para a segurança e disponibilidade de usinas nucleares, reduzindo inclusive o trabalho aplicado a equipamentos não tão críticos para o sistema.

O conceito de MCC tem sido cada vez mais propagado no ambiente acadêmico e se mostrado essencial na formação do profissional do setor tecnológico/industrial. A disciplina de “Confiabilidade de Sistemas” por exemplo, está presente na ementa do curso de graduação de diversas universidades de referência no Brasil, tendo como objetivo capacitar o aluno a planejar e coordenar a implantação de um programa de manutenção centrada em confiabilidade.

2.5 Considerações Finais

Este capítulo buscou apresentar as características dos métodos de manutenção, com foco na Manutenção Centrada em Confiabilidade.

Destacou-se a importância desse procedimento ao descrever os benefícios conquistados após sua utilização. A origem da estratégia foi relatada, assim como seus objetivos de aprimorar os procedimentos de manutenção, almejando sistemas mais confiáveis e que operem com eficiência e custos reduzidos. Alguns aspectos importantes para a implementação da MCC foram registrados e os mesmos serão utilizados como base para a aplicação no estudo de caso proposto neste trabalho.

Por fim, alguns exemplos de aplicação da MCC foram relacionados baseados nas diversas referências bibliográficas encontradas na literatura. De posse desse embasamento teórico e exemplos práticos, é possível concluir que a estratégia adotada na MCC pode ser aplicada com eficiência em uma série de sistemas, com notáveis oportunidades de se expandir, principalmente na área de sistemas elétricos de potência.

3. Estudo de Caso

3.1 Considerações Iniciais

Este capítulo descreve o estudo de caso realizado em uma planta industrial na cidade de Uberlândia-MG, bem como sua estruturação, os procedimentos utilizados para a aplicação da estratégia de manutenção além das análises e discussões acerca dos resultados obtidos.

Nesse contexto, primeiramente será apresentada a **estrutura das instalações** às quais foram aplicadas a estratégia da MCC. Feito isto, é apresentada a metodologia empregada para o desenvolvimento da estratégia, salientando o **planejamento inicial** e o **desenvolvimento**, em que é descrito os resultados alcançados no trabalho. Nesse sentido, análises e discussões acerca dos resultados alcançados, bem como dos possíveis benefícios a serem obtidos são destacados. Por fim, são apresentadas as considerações finais que sumarizam o capítulo em pauta.

3.2 Escolha das Instalações para Emprego da MCC

Na etapa inicial do desenvolvimento deste estudo, fez-se a determinação do que seria analisado e em qual nível. Para tanto, selecionou-se como sistema para objeto da aplicação da MCC, o conjunto de equipamentos das subestações de alta e média tensão de um complexo fabril.

A planta industrial é composta por três fábricas: a fábrica de processamento de soja, a fábrica produtora de amidos e adoçantes pelo processamento de milho (que será referida neste estudo como fábrica do milho) e pela fábrica de extração de ácido cítrico (referida como fábrica de acidulantes).

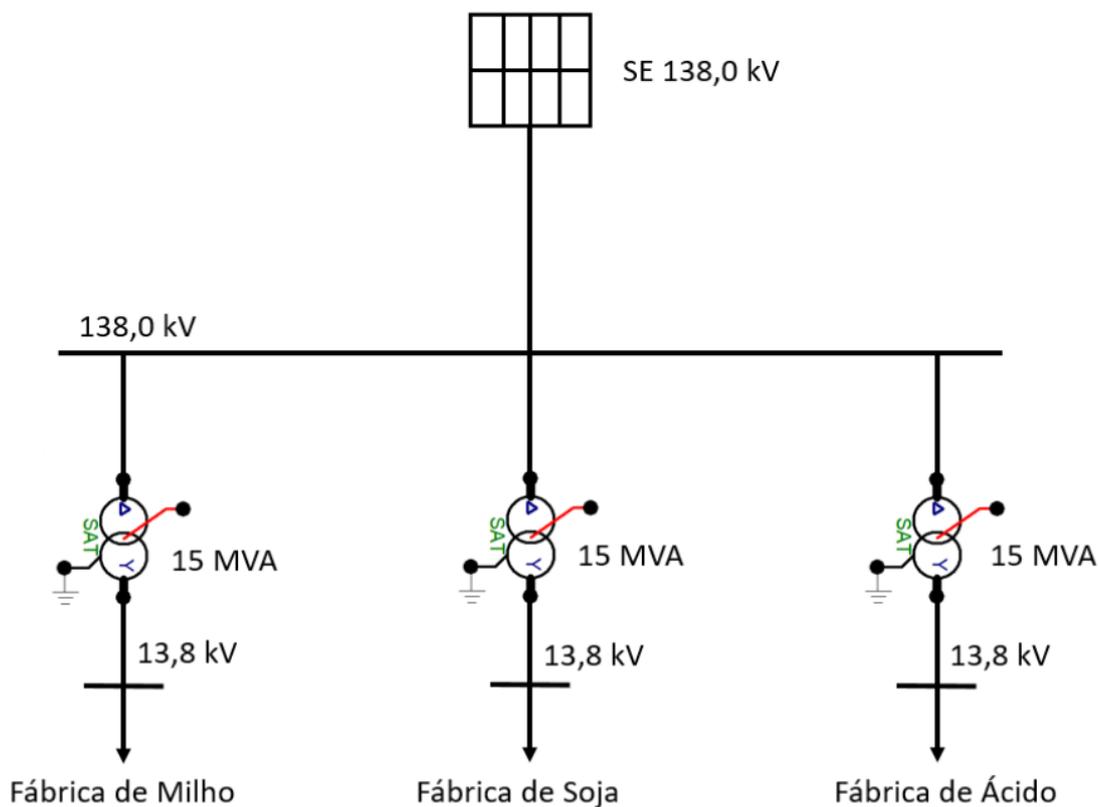
As subestações são um conjunto de equipamentos de manobra e/ou transformação e ainda eventualmente de compensação de reativos, utilizadas para dirigir o fluxo de energia em sistema de potência e possibilitar a sua diversificação através de rotas alternativas, sendo assim, portanto, responsáveis por converter a tensão de suprimento para um nível diferente, maior ou menor (DUALIBE, 1999).

A subestação abaixadora de 138 kV/13,8 kV (SE 138) recebe energia a um nível de tensão de 138kV através de linhas de transmissão da CEMIG, contando com equipamentos de proteção e medição, bem como três transformadores conectados em paralelo, com potência nominal na faixa de 15 MVA e tensão nominal de 13,8kV para cada uma das

unidades fabris. A Figura 4 ilustra o diagrama unifilar que representa a disposição e ligação dos equipamentos presentes na SE 138. Para maior detalhamento, o diagrama unifilar original da instalação é disponibilizado no Anexo 1.

As subestações abaixadoras de média tensão possuem centrais de controle e operação separadas, cada unidade fabril é responsável pela gestão de seus ativos. A fábrica de processamento de soja possui quatro subestações abaixadoras de média tensão. (SE SOJA 1, SE SOJA 2, SE SOJA 3 e SE SOJA 4). A fábrica de processamento de milho possui seis subestações abaixadoras de média tensão (Subestação Central, Subestação Feedhouse, Subestação Área 1000, Subestação Área 1100, Subestação Mogiana e Subestação Spray Dryer). a fábrica de acidulantes possui 3 subestações abaixadoras de média tensão (SE ACIDO 1, SE ACIDO 2, SE ACIDO 3).

Figura 4: Diagrama unifilar da subestação 138 kV



3.3 Análise e Planejamento Preliminar

As atividades que compreendem este trabalho foram determinadas em conjunto com os supervisores de confiabilidade e manutenção elétrica da empresa. Devido ao fato deste trabalho ser uma investigação primária nas diretrizes da MCC, ficou estabelecido que as atividades almejavam criar conteúdo de capacitação e nesse sentido, avaliar a eficiência da manutenção elétrica e sugerir melhorias. Assim sendo, as atividades priorizadas foram as seguintes:

- Investigar se os equipamentos de alta e média tensão estão devidamente cadastrados nos sistemas de controle da empresa e relatar disparidades, caso houver;
- Apresentar detalhadamente às equipes de manutenção as recomendações de manutenção preditiva para os sistemas de distribuição elétrica;
- Descrever em quais equipamentos cada recomendação é aplicada e modos de falha que as mesmas buscam mitigar.
- Analisar e listar qual a periodicidade das manutenções preditivas das recomendações acima;
- Realizar uma Análise de Modos e Efeitos de Falhas (*FMEA*) dos ativos de média e alta tensão e analisar se as recomendações encontradas previnem de fato os modos de falha encontrados.
- Elaborar um plano para futuras manutenções, com recomendações de substituições necessárias e possíveis planos de contingência, baseado nas informações adquiridas.

Para organizar e definir quais seriam os passos deste estudo, estruturou-se um escopo, baseado na Estrutura Analítica de Projeto (EAP), para que as entregas fossem mais facilmente gerenciáveis (Tabela 1). A Estrutura Analítica do Projeto é uma ferramenta de gerenciamento de projetos, que consiste na representação visual de toda a estrutura do objetivo do trabalho, apresentando de forma hierárquica todos os marcos entregáveis do projeto (DUARTE, 2016).

Deste modo, a **aplicação da MCC nos ativos elétricos das instalações foi dividida no levantamento de três principais vertentes:**

- 1) Gestão dos Ativos;
- 2) Análise Crítica dos Ativos de Média Tensão;
- 3) Guia Descritivo das Manutenções Programadas para Ativos Elétricos.

É importante salientar que cada uma das fábricas da planta industrial constitui uma “Unidade de Negócio” distinta e, a administração de cada uma delas é independente. Além disso, a forma que os encarregados gerenciam seus respectivos ativos e o setor de manutenção também são singulares. Por esse motivo, o estudo de caso em questão, não foi aplicado da mesma maneira em cada uma das instalações, uma vez que o acesso às informações e às acomodações dependia da disponibilidade e autorização de cada uma delas, dificultando, dessa forma, que o processo fosse realizado de maneira igual em cada fábrica.

Tabela 1: Plano Operacional da Aplicação da MCC nos ativos elétricos

Nível EAP	Pacote de Trabalho	Especificação da Entrega	Cronograma			Status
			Início	Duração	Fim	
1.	Controle dos Ativos		15/05/2017	45 dias	02/07/2017	***
1.1	Relação dos Ativos encontrados na SE 138K					***
1.1.1	Coleta de informações dos ativos	Listar ativos de acordo com os relatórios da última manutenção e identificação de planilhas e controles internos dos ativos (se existirem)	15/05/2017	10 dias	25/05/2017	**
1.1.2	Relatório Comparativo sobre os ativos	Comparativo entre as relações de ativos	25/05/2017	2 dias	27/05/2017	**

		encontrados e identificar disparidades. Relatar o que está e do que não está contido nos Softwares de controle interno				
1.2	Relação dos Ativos encontrados nas subestações MT					***
1.2.1	Coleta de informações dos ativos	Listar ativos de acordo com os relatórios da última manutenção e identificação de planilhas e controles internos dos ativos (se existirem)	27/06/2017	5 dias	01/07/2017	**
1.2.2	Relatório Comparativo sobre os ativos	Comparativo entre as relações de ativos encontrados e identificar disparidades. Relatar o que está e do que não está contido nos Softwares de controle interno	01/07/2017	1 dia	02/07/2017	**
2.	Estudo do EDM		02/07/2017	11 dias	13/07/2017	**
2.1	Relatório descritivo das manutenções EDM					***
2.1.1	Descritivo do EDM	Descritivo de cada uma das manutenções listadas no EDM, em quais ativos são aplicados e modos de falha que buscam mitigar	02/07/2017	10 dias	12/07/2017	**

2.1.2	Periodicidade do EDM	Identificar e listar periodicidade das manutenções preditivas recomendada pelo EDM	12/07/2017	1 dia	13/07/2017	**
3	Comparativo Recomendações GOSC e Amidos					*
3.1	Identificação de recomendações elétricas p/ Amidos	Identificar quais recomendações para serviços em eng. Elétrica cada fábrica utiliza (Se é o mesmo EDM)	04/07/2017	5 dias	09/07/2017	***
3.2	Comparativo GOSC & Amidos	Comparar diferenças e semelhanças entre as recomendações de cada fábrica	09/07/2017	2 dias	11/07/2017	***
4.	Modos de Falha dos Ativos		13/07/2017	19 dias	30/07/2017	**
4.1	Listar Modos de Falha Ativos SE 138		13/07/2017	10 dias	23/07/2017	**
4.2	Listar Modos de Falha Ativos Subestações Média Tensão		13/07/2017	10 dias	23/07/2017	**
4.3	Recomendações de Manutenções vs. Modos de Falha	Relacionar as recomendações agrupadas com os modos de falha listados. Analisar se as recomendações previnem de fato todos os modos de falha	23/07/2017	7 dias	30/07/2017	**
5.	Encerramento		30/07/2017	14 dias	14/08/2017	**
5.1	Conclusões					**
5.2	Análise da "Saúde" elétrica da planta					**
5.3	Recomendações					**
5.3.1	Plano de manutenção	Elaboração do Plano para futuras				**

		manutenções baseado nas informações adquiridas					
5.3.2	Recomendações de substituições necessárias						**
5.3.3	Recomendação de possíveis planos de contingência						**

Legenda: * Marco finalizado; ** Tarefa Concluída; * Demanda Cancelada**

Com as entregáveis da implementação da MCC definidas, foram listados os *stakeholders* do estudo, ou seja, todas as pessoas que estariam envolvidas no trabalho ou que, de alguma forma, precisariam ser consultadas durante as atividades. Ao todo, foram envolvidos diretamente cerca de 16 pessoas, como é visto na Tabela 2.

Tabela 2: Lista de *Stakeholders* da Aplicação da MCC

Estagiária REPI
Líder REPI
Líder de Gestão da Mudança e Comunicação - REPI
Gerente Manutenção Milho ULA
COE de Eficiência Energética - GOSC
COE ELETRICA, INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO – GOSC BRASIL
Eng. De Confiabilidade GOSC
Gerente de Projetos - Especialista em Elétrica
Gerente de Manutenção - GOSC
Supervisor de Manutenção Elétrica - GOSC
Supervisor de Manutenção Elétrica - GOSC
Supervisor de Automação e Instrumentação - GOSC
Supervisor de Manutenção - Amidos
Supervisor de Manutenção – Amidos
ENGº CONFIABILIDADE AMIDOS & ADOÇANTES ULA
ENGº CONFIABILIDADE GOSC ULA

3.4 Metodologia

Esta sessão do trabalho contempla as atividades realizadas relacionadas a cada um dos campos em que o estudo foi dividido, ou seja, a **Gestão dos Ativos, Análise Crítica**

dos Ativos Elétricos e formulação do **Guia Descritivo das Manutenções Programadas para Ativos Elétricos**.

3.4.1 Gestão dos Ativos

Esta etapa da atividade teve por objetivo avaliar o gerenciamento dos ativos elétricos da planta.

A atividades realizadas nesta fase consistiam principalmente em identificar se havia planilhas e controles internos dos equipamentos elétricos além de verificar se todos os equipamentos estavam contidos nos relatórios da última manutenção programada. Nesse sentido, foi feita uma avaliação generalizada de todos os equipamentos elétricos e se de fato eles foram assistidos pela última manutenção.

A análise dos controles internos dos ativos foi realizada consultando-se os setores de manutenção da planta, principalmente o PCM - Planejamento e Controle de Manutenção. Essa equipe, é a responsável por coordenar os serviços da manutenção. O PCM disponibilizou os relatórios da última manutenção realizada além das as planilhas que listavam os equipamentos das subestações para que fossem consultados os registros dos ativos de alta e média tensão.

Além disso, a indústria utiliza um software de gestão de ativos desenvolvido pela *IBM™* que gerencia as operações da manutenção denominado *EAM MAXIMO®*. Todos os ativos da planta, sejam eles mecânicos, elétricos ou civis devem estar cadastrados neste *software*. Este trabalho averiguou se isso realmente procedia para os equipamentos de alta e média tensão que contemplavam a classe de equipamentos elétricos.

Com o acompanhamento de um eletricista, foi realizada também uma aferição física superficial dos equipamentos nas subestações. Não foi possível realizar uma verificação mais detalhada por critérios de segurança mandatórios da empresa.

3.4.2 Análise Crítica dos Ativos das Instalações

Neste passo, fez-se a identificação dos modos de falha funcionais dos ativos de média tensão e foram analisados os equipamentos mais críticos das subestações de média tensão da fábrica de processamento de milho. Este grupo de equipamentos foi escolhido por ser representativo do que consta em uma subestação de média tensão e, dessa maneira, facilitar a replicação da análise para outras subestações da planta.

Para identificação das falhas, foram analisadas ocorrências nos equipamentos nos períodos de 2012 a 2016 do histórico de falhas do banco de dados da equipe de operação e manutenção. Além disso, foram consideradas falhas nunca ocorridas, mas cujas consequências, caso ocorressem, seriam graves e danosas para a operação da fábrica.

A análise dos modos de falha foi realizada com assessoria dos eletricitistas e supervisores do setor de engenharia elétrica. De posse do diagrama unifilar das subestações, os equipamentos foram indexados e então levantadas as possíveis falhas e suas consequências para a operação da fábrica.

Além da análise dos modos de falha, esta fase do trabalho também indicou algumas recomendações direcionadas à manutenção e à supervisão para otimizar a confiabilidade das subestações analisadas.

3.4.3 Guia Descritivo das Manutenções Programadas para os Ativos Elétricos

A MCC deve assegurar que as tarefas preventivas da manutenção sejam aplicáveis e possibilitem prevenir falhas, descobrir o início de uma falha ou revelar uma falha oculta.

Em relação aos ativos elétricos, a empresa possui um conjunto de “melhores práticas” elaborado globalmente, que recomenda as melhores condutas para a execução da manutenção dos sistemas de distribuição elétrica de unidades fabris. Este plano é conhecido como, *EDM – Electrical Distribution Maintenance*. As técnicas do *EDM* refletem as práticas mínimas que devem ser aplicadas para garantir a continuidade do serviço e a confiabilidade dos sistemas elétricos, resultando em reduções nos custos e em falhas de equipamentos, maior segurança e confiabilidade do ambiente.

No *EDM*, estão contidas as seguintes técnicas de Manutenções Preditivas e Preventivas:

- **Manutenções Preditivas:**

- Inspeção física;
- Análise de amostra de óleo DGA (Dissolved Gas Analysis): análise físico-química, análise cromatográfica, rigidez dielétrica, *flash-point* (PF), teste de fator de dissipação e outros;
- Inspeção termográfica;
- Análise de ultrassom;
- Medição de descarga parcial;
- Teste de baterias;

- **Manutenções Preventivas:**

- Testes de Resistência dielétrica: Teste Very low frequency (VLF); Teste da resistência de isolamento (exemplo *Megger*);
- Medição da resistência de contatos / conexões;
- Medição da resistência de fusíveis em alta tensão e baixa tensão;
- Fator Dissipação;
- Medição da resistência de enrolamento;
- Análise da integridade da câmara de vácuo;
- Teste de operabilidade elétrica, ajuste, calibração (ex.: “teste de *trip*”);
- Ensaio mecânico de operabilidade e lubrificação;
- Teste de capacitância;
- Medição da resistência de aterramento;
- Teste de continuidade;
- Operacionalidade do sistema de emergência / teste em carga.

Tendo isso em vista, destaca-se que o *EDM* consiste em um conjunto bem elaborado de procedimentos de manutenção que os equipamentos devem ser submetidos para aumentar a vida útil dos mesmos, além da confiabilidade das instalações. Entretanto, as equipes de manutenção (compostas em sua maioria por profissionais com conhecimentos majoritários em mecânica industrial), muitas vezes desconhecem esses ensaios e técnicas e, como não lhes é oferecida a capacitação adequada para o entendimento dessas práticas, os responsáveis acabam não atribuindo a adequada importância a esses procedimentos. Isto, por sua vez, pode ser uma causa de problemas a longo prazo.

Nesse cenário, esta fase do trabalho consiste em elaborar um guia descritivo das manutenções especificadas no *EDM*, com o propósito de orientar e capacitar os profissionais da manutenção sobre as técnicas a serem realizadas, as quais foram destacadas anteriormente.

Os objetivos deste guia são:

- Detalhar os testes de manutenção preventiva e preditiva recomendados para os sistemas de energia elétrica da planta industrial de Uberlândia;

- Indicar em quais ativos cada teste deve ser aplicado e qual a periodicidade recomendada pelo *EDM*;
- Especificar quais modos de falha cada teste deve avaliar;
- Assim, este Guia Descritivo orienta para que o conhecimento sobre essas estratégias seja difundido aos operários responsáveis e que as mesmas sejam amplamente aplicadas às fábricas constituintes.

3.5 Resultados e Discussões

Os resultados obtidos no desenvolvimento das atividades nos três campos principais destacados anteriormente (Gestão de Ativos, Análise Crítica dos Ativos Elétricos e Guia Descritivo das Manutenções Programadas para Ativos Elétricos) são expostos e avaliados a seguir.

3.5.1 Gestão dos Ativos

Nesta seção, apresenta-se os resultados da investigação sobre o gerenciamento dos equipamentos de alta e média tensão da indústria. Esta, compilou as seguintes informações encontradas sobre as subestações: busca e verificação para averiguar se os equipamentos estão cadastrados no software de controle interno de ativos (MAXIMO), se há inventários que listam os ativos e, caso existam, se estão em conformidade com o que realmente consta fisicamente nas plantas.

3.5.1.1 Subestação 138 KV

Após verificação, ficou evidente que os equipamentos da subestação abaixadora de 138/13,8 kV (SE 138), quais sejam transformadores, chaves seccionadoras, disjuntores, para-raios e demais componentes não estavam contidos no software de controle interno de ativos da empresa (MAXIMO®).

Ao procurar por informações referentes aos equipamentos dessa subestação e possíveis planilhas de controle interno destes ativos, foram encontradas duas relações de ativos que listam os equipamentos da SE 138, uma que foi disponibilizada pelo setor de PCM da própria indústria e outra que foi gerada pela empresa prestadora de serviços de manutenção, que neste trabalho é denominada Empresa de Manutenção Terceirizada - EMT.

As tabelas dos ativos da SE 138 foram divididas em ativos localizados na “Área Externa” e ativos localizados na “Área Interna” para facilitar o comparativo entre eles. (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3: Comparativo entre as relações de equipamentos encontradas sob posse da fábrica para Subestação 138 – Área Externa

Equipamentos da 138 Segundo o PCM	Equipamentos da 138 Segundo a EMT
Área Externa	Área Externa
2 Chaves Seccionadoras A, B, C	3 Para raios de AT
1 Disjuntor geral Dielétrico Isolante QC-Q5	3 Disjuntores de AT – Alstom
3 Disjuntores Tripolar Dielétrico SF6 QC-Q17	1 Disjuntor de AT – Areva
4 Isoladores	5 Chaves seccionadoras de AT
3 Para Raios (Fase A, Fase B e Fase C)	3 TC's de AT
3 Resistências de Aterramento	3 TP's de AT
1 Seccionador QC-Q6-BP	3 Transformadores de força AT – 138 / 13,8 KV
3 Transformadores de Corrente T17	3 Resistores de aterramento
3 Transformadores de Corrente CJ-01 (ETA – 1 PB)	3 Circuitos de cabos de potência
3 Transformadores de Força (QC T-17)	
3 Transformadores de Potencial Indutivo	
Sistema de Entrada da CEMIG	
1 Disjuntor Aterramento	
2 Chaves Seccionadoras	
1 Disjuntor Q5	
1 Chave Seccionadora Motorizada	

Ao analisar o comparativo entre as duas listas de equipamentos da SE 138 foram constatadas as seguintes observações para a área externa:

- A relação de equipamentos do PCM da própria empresa lista os equipamentos responsáveis pelo recebimento de energia da concessionária separadamente, classificando-os como equipamentos da “Entrada CEMIG”. A empresa de Manutenção Terceirizada não distingue a região de entrada da CEMIG, e agrupa todos os ativos da área externa da subestação.
- Na área externa, a quantidade de pára-raios, transformadores de potencial e resistências de aterramento coincidem em ambas planilhas.
- Segundo o PCM, existem 6 transformadores de corrente na área externa, enquanto a EMT indica que há 3 destes equipamentos nesta área.
- O relatório da EMT não contempla o dispositivo seccionador “QC-Q6-BP” da área externa, e também não relata o disjuntor de aterramento e o disjuntor “Q5” da entrada da Cemig, o qual se encontra na área externa.
- O relatório da EMT também não especifica a quantidade de isoladores da área externa.

Tabela 4: Comparativo entre as relações de equipamentos encontradas sob posse da fábrica para Subestação 138 – Área Interna

Equipamentos da 138 Segundo o PCM	Equipamentos da 138 Segundo a EMT
Área Interna	Área Interna
2 Bancos de Baterias	Sala Antiga
1 Banco de Capacitores	1 Retificador / carregador de baterias
12 Disjuntores	1 Banco de baterias
Disjuntores Termomagnéticos (qnt. não especificada)	11 Disjuntores de MT
4 Fusíveis	1 Painel de controle e medição
11 Transformadores de Corrente	1 Transformador de serviços auxiliares
7 Transformadores de Corrente Toroidais	1 Banco de capacitores
4 Transformadores de Potencial	33 TC's de MT
4 Relés Bloqueio	6 TC's Toroidais de MT
8 Relés Proteção Digital	4 TP's de MT
4 Relés Proteção MultiLin	6 Medidores PQM Multilin
	4 Reles de proteção SPAJ 140C – ABB
	2 Reles de proteção SR 745 – GE
	1 Rele de proteção 421 – SEL
	1 Rele de proteção 734 – SEL
	1 Transformador de potência de MT a seco de 225 KVA
	Sala Nova
	1 Retificador / carregador de baterias
	1 Banco de baterias
	10 Disjuntores de MT Pix - Areva
	1 Painel de controle e medição
	1 Transformador de serviços auxiliares
	1 Banco de capacitores
	27 TC's de MT
	3 TP's de MT
	9 Reles de proteção 751A – SEL
	1 Rele de proteção 2407 – SEL

Para a área interna, segue o comparativo das listas de equipamentos:

- A lista de equipamentos da EMT divide os equipamentos da área interna da SE 138 localizados na “sala antiga” e na “sala nova”, ambas localizadas na área interna da subestação, já a relação de equipamentos utilizada pela PCM agrupa os equipamentos de ambas as salas, sem fazer a distinção entre elas.
- A quantidade de bancos de baterias e transformadores de potencial é a mesma em ambos os relatórios
- O relatório do PCM da indústria indica a existência de 12 disjuntores além dos disjuntores termomagnéticos que não contém quantidade especificada. Enquanto a lista da Empresa de Manutenção Terceirizada lista 11 disjuntores na sala antiga e

10 disjuntores na sala nova, sem especificar quais deles são termomagnéticos. Ou seja, além do número total de disjuntores não estar claro, a quantidade destes equipamentos é díspar entre uma tabela e outra.

- O relatório da EMT não contempla a quantidade de fusíveis existentes nesta área.
- O relatório PCM indica 11 transformadores de corrente (TC's) de média tensão, enquanto a Empresa de Manutenção Terceirizada indica 60 TC's (33 TC's na sala antiga, 27 TC'S na sala nova). O PCM indica 7 TC's Toroidais e a EMT indica 6 TC'S Toroidais.
- A quantidade de relés indicados no relatório do PCM é de 16 relés, enquanto no relatório da EMT foi reportado o total de 18 relés de proteção.

Feitas essas observações, é notório que por essas listas não é possível concluir de maneira confiável, quais e quantos equipamentos a subestação possui. Além disso, ambas as listas são falhas, e não descrevem com clareza as informações dos ativos presentes na SE 138.

3.5.1.2 Subestações de Média Tensão

a) Subestações de Média Tensão – Fábrica Soja

A fábrica de processamento de soja possui quatro subestações abaixadoras de Média Tensão (SE SOJA 1, SE SOJA 2, SE SOJA 3 e SE SOJA 4).

Segue abaixo a quantificação dos equipamentos encontrados nesta pesquisa das subestações da Fábrica de Soja. Destaca-se que essa planilha foi elaborada pela empresa que realizou a última manutenção em agosto de 2016, e contém as informações mais precisas sobre as subestações dessa fábrica à época (Tabelas 5 a 8).

Tabela 5: Quantificação dos equipamentos presentes da subestação SE SOJA 01

Quantificação de Equipamentos- SE SOJA 01
01 Circuito de cabos de MT
03 Para-raios de MT
01 Circuito de barramentos de MT
05 Chaves seccionadoras MT
03 Disjuntores de MT, AEG, modelo DSF 356/17
02 TP's de MT
12 TC's de MT
04 Relés de proteção, SEL 751 A

01 Transformador de potência à óleo, 2.000 kVA
01 Transformador de potência à óleo, 1.500 kVA
01 Transformador de potência à óleo, 300 kVA
04 Circuitos de barramento BT (QGBT)
03 Barramentos blindados "BUSS WAY"
01 Disjuntor de BT, Merlin Gerin, NW40H2
02 Disjuntores de BT, Merlin Gerin, NW16H2
01 Disjuntor de BT, Merlin Gerin, NW08H2
03 Disjuntores de BT, Beghim, DM1
02 Disjuntores de BT, Beghim, DM3

Tabela 6: Quantificação dos equipamentos presentes da subestação SE SOJA 02

Quantificação de Equipamentos- SE SOJA 02
01 Circuito de cabos de MT
03 Para raios de MT
01 Circuito de barramentos de MT
05 Chaves seccionadoras MT
03 Disjuntores de MT, AEG, DSF 356/17
01 Disjuntor de MT, AEG, DSF 458/17
02 TP's de MT
12 TC's de MT
04 Relés de proteção, SEL 751 A
03 Transformadores de potência de MT, à seco, 2.000 kVA, Siemens Geafol
04 Circuitos de barramento BT (QGBT)
03 Barramentos blindados (Buss Way)
02 Disjuntores de BT, Merlin Gerin, NW40H2
02 Disjuntores de BT, Merlin Gerin, M32H2
01 Disjuntor de BT, Merlin Gerin, M20H2
05 Disjuntores de BT, Merlin Gerin, NW16H2
04 Disjuntores de BT, Merlin Gerin, NW12H2
04 Disjuntores de BT, Merlin Gerin, NW08H2

Tabela 7: Quantificação dos equipamentos presentes da subestação SE SOJA 03

Quantificação de Equipamentos- SE SOJA 03
01 Circuito de cabos de MT
03 Para raios de MT
01 Circuito de barramentos de MT
03 Chaves seccionadoras MT
01 Disjuntor de MT, AEG, DSF 356/17
01 Disjuntor de MT, AEG, DSF 458/17
02 TP's de MT
06 TC's de MT

02 Relés de proteção, SEL 751 A
01 Transformador de potência de MT, à seco, 2.000 kVA, Siemens Geafol
01 Transformador de potência de MT, à seco, 1.500 kVA, Siemens Geafol
01 Transformador de potência de MT, à seco, 300 kVA, Zilmer
02 Circuitos de barramento BT (QGBT)
02 Barramentos blindados (Buss Way)
01 Disjuntor de BT, Merlin Gerin, M40H2
02 Disjuntores de BT, Merlin Gerin, M32H2
02 Disjuntores de BT, Merlin Gerin, NW16H2
01 Disjuntor de BT, Merlin Gerin, NW12H2
02 Disjuntores de BT, Merlin Gerin, NW08H2
05 Disjuntores de BT, Beghim, DM1
01 Disjuntor de BT, Beghim, DM3

Tabela 8: Quantificação dos equipamentos presentes da subestação SE SOJA 04

Quantificação de Equipamentos- SE SOJA 04
01 Circuito de cabos de MT
03 Para raios de MT
01 Circuito de barramentos de MT
02 Chaves seccionadoras MT
01 Disjuntor de MT, AEG, DSF 458/17
01 TP de MT
03 TC's de MT
01 Relé de proteção, ABB, SPAJ 140C
01 Transformador de potência de MT, à seco, 1.500 kVA, Siemens Geafol
01 Circuito de barramento BT (QGBT)
01 Barramento blindado (Bus Way)
05 Disjuntores de BT, Beghim, DM1
01 Disjuntor de BT, Beghim, DM3

Alguns equipamentos destas subestações (transformadores, chaves seccionadoras, disjuntores, para-raios e demais componentes) estão contidos no MAXIMO® para gestão interna da empresa, entretanto, a quantificação destes equipamentos no MAXIMO® não coincide com a relação de equipamentos contida nos relatórios da última manutenção preventiva realizada em agosto de 2016. Além disso, a maioria dos ativos e componentes listados no MAXIMO® não possuem etiqueta ou qualquer outro tipo de referência para identificação do equipamento.

Recomenda-se a verificação do diagrama unifilar da planta ou a realização de aferição física dos equipamentos para atualização dos softwares e garantia de um controle mais preciso da relação de equipamentos. Além disso, os equipamentos apontados por esta quantificação devem ser conferidos e cadastrados no software de gerenciamento dos ativos (MAXIMO®).

b) Subestações de Média Tensão – Fábrica Milho

A Fábrica de processamento de milho possui 6 subestações abaixadoras de Média Tensão: Subestação Central, Subestação *Feedhouse*, Subestação Área 1000, Subestação Área 1100, Subestação Mogiana e Subestação *Spray Dryer*.

As informações encontradas a respeito dos equipamentos existentes nestas subestações consistem em duas relações de equipamentos: a primeira foi disponibilizada pela Manutenção Elétrica do Milho (MEM) e a segunda está contida no relatório da última manutenção preventiva realizada pela empresa de manutenção terceirizada. Ambas as listas constituem materiais impressos e encadernados, cuja digitalização não foi autorizada, por esse motivo, estão aqui descritos apenas o comparativo resultante entre eles:

As duas relações de equipamentos eram similares tanto para a SE Área 1000 quanto para a SE *Feedhouse*. O relatório da EMT não contemplava os equipamentos das Subestações SE Central e SE *Spray Dryer*, pois as manutenções preventivas destas subestações foram realizadas por outra empresa.

A lista de equipamentos disponibilizada pela manutenção não contempla os equipamentos das subestações SE Mogiana e SE Área 1100.

Em relação ao software de cadastro de ativos que a empresa utiliza (MAXIMO®), constavam nele alguns equipamentos destas subestações. Todavia, a quantificação destes ativos não coincide com a relação de aparatos contida nos relatórios da última manutenção preventiva fornecidos pela empresa terceirizada e nem com o inventário disponibilizado pela equipe de manutenção. Além disso, a maioria dos ativos e componentes listados no MAXIMO® não possuíam número de patrimônio ou qualquer outro tipo de codificação para identificação do equipamento.

Feitas essas observações, é notório que por essas listas não é possível concluir de maneira confiável, quais e quantos equipamentos a subestação possui. Além disso, ambas as listas são falhas, e não descrevem com clareza as informações dos ativos presentes nas subestações da fábrica de processamento de milho.

c) Subestações de Média Tensão – Fábrica Ácido

Os equipamentos destas subestações não estão contidos no software de controle interno de ativos da empresa.

As únicas informações sob posse da fábrica a respeito dos equipamentos existentes nestas subestações estão contidas no relatório da última manutenção preventiva realizada no mês de agosto de 2016 citado anteriormente. A Tabela 9 destaca a relação de equipamentos presentes nessa instalação em específico.

Tabela 9: Relação dos equipamentos presentes nas subestações da Fábrica de Acidulantes sobre posse da fábrica

Cubículos MT:
01 Cubículo AT Schneider Electric 2000 A – SE 01
01 Cubículo AT Schneider Electric 1500 A – SE 01
Disjuntores MT:
01 Disjuntor Merlin Gerin 1250 A – SE 01
01 Disjuntor Merlin Gerin 630 A – SE 02
02 Disjuntores Merlin Gerin 630 A – SE 03
02 Disjuntores Merlin Gerin 2500 A
02 Disjuntores Merlin Gerin 1250 A
02 Disjuntores Merlin Gerin 1250 A (Reserva)
01 Disjuntor Merlin Gerin 2500 A
Disjuntores BT:
11 Disjuntores Merlin Gerin 1250 A
03 Disjuntores Merlin Gerin 4000 A – Disjuntor Geral
03 Disjuntores Merlin Gerin 800 A
01 Disjuntor Schneider Electric 1250 A
Contatores MT
05 Contatores Merlin Gerin ROLLARC R400
Transformadores de Força
01 Transformador Siemens 2,5 MVA – SE 02
01 Transformador Siemens 7,5 MVA – SE 01
02 Transformadores Siemens 2,5 MVA – SE 03
Relés de Proteção
06 Relés GE – Multilin SR 750
01 Relé Diferencial SPAD ABB 346 C3
04 Relés GE Multilin SR 469
03 Cubículos-Reserva sem Relé
Resistor de Aterramento
01 Resistor de Aterramento ELETELE 83054 – 2,4KV
Retificador

02 Retificadores VARITEC RDTA 0546

A utilização de diversas listagens de equipamentos torna a gestão de ativos mais complicada, pois se alguns setores da empresa utilizam uma lista enquanto outros utilizam um guia diferente, não é possível gerenciar estes ativos de maneira eficiente. Por exemplo, se o PCM utiliza uma planilha, e o almoxarifado e o setor de compras utilizam outra, seria problemática a solicitação de equipamentos e de peças sobressalentes, ou algum setor poderia estar contando com algum equipamento, quando na verdade não há nenhum do mesmo disponível.

Além disso, se não há conhecimento do total exato de equipamentos, não é possível programar a Manutenção Centrada em Confiabilidade, pois para que ela seja efetiva, é necessário que se tenha registros confiáveis de quais e quantos equipamentos precisam de manutenção preditiva e preventiva, sobre a criticidade de cada um destes equipamentos e assim, garantir a melhor disponibilidade de cada item.

É recomendável que se realize o mapeamento dos ativos da subestação e o cadastro dos mesmos no MAXIMO®, possibilitando assim mais confiabilidade e acessibilidade dos dados num panorama geral, ou seja, todas as áreas, seja de compras, almoxarifado, operação e manutenção tenham acesso às mesmas informações e possibilite a realização de uma gestão conjunta e eficiente.

3.5.2 Análise Crítica dos Ativos da Média Tensão

Esta análise gerou uma síntese dos modos de falha que os equipamentos mais críticos das subestações podem apresentar, e qual seria a consequência que os mesmos acarretariam para a fábrica.

3.5.2.1 Análise dos Modos de Falha dos Ativos das Subestações

A análise dos modos de falha dos equipamentos além de possibilitar a previsão das falhas e das consequências, gerou também algumas recomendações de ações futuras para estas subestações no intuito de garantir maior eficiência, confiabilidade e segurança de funcionamento dos ativos envolvidos.

Deste modo, esta análise contribui para difundir o conhecimento sobre a importância de cada equipamento, além de conscientizar os gestores de como as falhas acarretam prejuízos técnicos e financeiros, causando a ineficiência da operação da fábrica e, portanto, não podem ser negligenciadas. Segue abaixo a tabela gerada com as possíveis falhas dos equipamentos e suas eventuais consequências.

Tabela 10: Análise dos Modos de Falha dos ativos das subestações

EQUIPAMENTO	POSSÍVEIS FALHAS	CONSEQUÊNCIAS
SE ÁREA 1000		
Chave seccionadora (Q 3.3)	- Falha mecânica; - Manobra com carga (se não houver como garantir que a área está realmente desenergizada).	- Acidentes envolvendo pessoas; - Parada da Área 1000 e da Área 1100 ou em toda fábrica se faltar milho nos Steeptanks do Recebimento. (Parada de 5 a 6 horas – se houver uma chave seccionadora reserva para substituição).
Disjuntores (Q 3.4)	- Vazamento de óleo; - Falha mecânica.	- Parada da Área 1000. (Parada de 5 a 6 horas – se houver uma chave seccionadora reserva para substituição)
Transformador T 4.1	- Curto-circuito - Vazamento de óleo - Obs: Como não possui relé de buchholz, não há detecção de falta de óleo ou de acúmulo de gases.	- Parada da Área 1000. - A substituição deste transformador demandaria longa espera.
SE ÁREA 1100:		

Pára-raio:	- Degradação e redução da resistência de isolamento, que faz com que o pára-raio deixe de se comportar como um circuito aberto em condições normais e configure um curto-circuito fase-terra.	Desligamento do disjuntor e queima do fusível.
Fusível 125 A:	- Não há seletividade, pois a corrente de atuação deste fusível é muito alta. - Oxidação devido a pontos quentes; - Eventual queima do elo-fusível.	Não há seletividade na proteção da carga conectada a este fusível, pois a corrente de ruptura está muito alta. Possibilidade de redimensionamento dos fusíveis.
Chave Seccionadora Q 3.5:	- Falha mecânica; - Manobra com carga (não há como garantir que a área está realmente desenergizada).	É a chave seccionadora mais crítica desta subestação, pois pararia Área 1000 e 1100.
Chave Seccionadora Q 5.1 e Q 5.2:	- Falha mecânica; - Manobra com carga (não há como garantir que a área está realmente desenergizada)	Parada da Área 1100.
Disjuntor Q 5.4:	- Vazamento de óleo; - Falha mecânica.	Parada Área 1100. (Parada de 5 a 6 horas – se houver uma chave seccionadora reserva para substituição).
Transformador (T 5.3):	- Curto-circuito (no interior do transformador, na entrada ou na saída); - Vazamento de óleo.	Parada da Área 1100

SE MOGIANA:

A subestação Mogiana alimenta o sistema de GLP da fábrica de processamento de milho. Em “condições normais”, uma falha dos equipamentos desta subestação não afetaria significativamente a fábrica, porém se alguma falha ocorrer nesta subestação em dias frios, não haverá gás disponível para o sistema de aquecimento e as linhas das áreas Spray-Dryer, Feedhouse e Modhouse seriam afetadas por congelamento de produto.

SE CENTRAL:

Pára-Raio:	- Degradação e redução da resistência de isolamento, que faz com que o pára-raio deixe de se comportar como um circuito aberto em condições normais e configure um curto-circuito fase-terra.	- Desligamento do disjuntor e queima do fusível. Afetaria a Moagem. Tempo de reparo: 2 horas se houver peça de substituição.
Disjuntor Extraível Cúbiculo 6 – Barramento Moagem:	- Queima do fusível; - Vazamento de óleo.	- Parada da Moagem.
Disjuntor Cúbiculo 9 – Barramento Refinaria (Localizado na SE 138):	- Queima do fusível; - Vazamento de óleo	- Afeta a Refinaria, Feedhouse, Moagem (pode afetar toda a fábrica).
Cubículos de 1 a 5 e Cubículos de 10 a 14 - Disjuntores AREVA de Média Tensão:	- Falhas mecânicas (travamentos); - Aquecimentos por falta de aperto e/ou desgaste natural do equipamento.	Parada da Moagem. Obs: Há um disjuntor reserva.
Cúbiculo 07: Disjuntor de Interligação:	Não é crítico para o sistema.	
Transformadores Moagem de 1 a 5:	- Sobreaquecimentos; - Efeito Corona; - Fuga ao Terra; - Sobrecorrentes; - Más conexões.	- Parada da Moagem. - O transformador 03, por possuir o CCM essencial, pararia toda a fábrica até o gerador ser estabelecido.
Transformador Feedhouse:	- Sobreaquecimentos; - Efeito Corona, Fuga ao Terra, - Sobrecorrentes; - Más conexões.	Parada do Feedhouse e Corn-oil.
Transformadores da Refinaria 1 a 3:	- Sobreaquecimentos; - Efeito Corona, Fuga ao Terra, - Sobrecorrentes; - Más conexões.	- Transformador Refinaria 1: Parada da Refinaria. - Transformador Refinaria 2: Parada do Feedhouse e Corn-oil. - Transformador Refinaria 3: Parada da Refinaria e Modhouse.

Gerador Moagem:	Este gerador está subdimensionado e não conseguiria suprir a carga alimentada em uma situação de emergência.	
SE Spray Dryer:		
Transformador Spray Dryer:	<ul style="list-style-type: none"> - Sobreaquecimentos; - Efeito Corona, - Fuga ao Terra, - Sobrecorrentes; - Más conexões. 	- Parada do Spray Dryer 1, Spray Dryer 2, Warehouse e Sistema de ar-comprimido.

3.5.2.2 Recomendações de Ações Futuras para as subestações

Estas são as recomendações geradas pela análise crítica para otimizar as subestações e até mesmo corrigir alguns detalhes importantes:

- Estabelecer acesso remoto em disjuntores;
- Trocar óleo dos transformadores (utilizar óleo vegetal);
- Aprimorar refrigeração da sala: tornar a filtragem da sala mais eficiente, providenciar vedação das portas e modificar o ducto de entrada de ar.
- Colocar intertravamento das chaves seccionadoras com disjuntor de média tensão para garantir que estas estão realmente desenergizadas no ato da manobra.
- Redimensionar o “fusível de 125 A” situado na subestação da “área 1100”, pois a corrente de ruptura está muito alta e não há seletividade na proteção da carga conectada a este fusível.
- Trocar o gerador da subestação da moagem por um que realmente atenda a carga em uma situação necessária.

3.5.3 Guia Descritivo das Manutenções Programadas para Ativos Elétricos

O guia descritivo das manutenções programadas foi elaborado de acordo com os propósitos elencados anteriormente. Vale reforçar, que em suma o objetivo principal é detalhar os testes de manutenção preventiva e preditiva recomendados para os sistemas de energia elétrica da unidade de Uberlândia e especificar quais modos de falha cada teste avalia.

Dessa forma, o guia instrui e apresenta de maneira elucidativa para o manutentor e para a supervisão da manutenção, a finalidade de cada um dos ensaios e inspeções recomendados pelos setores regulatórios da empresa.

A seguir, na Tabela 11, encontra-se o guia completo que descreve cada uma das manutenções programadas para os equipamentos de alta e média tensão.

Tabela 11: Guia Descritivo das Manutenções Programadas para Ativos Elétricos

<p>Inspeção Física:</p>
<p>As inspeções visuais devem ser realizadas regularmente, visando verificar o estado geral de conservação das subestações, incluindo a limpeza dos equipamentos, a qualidade da iluminação do pátio e a adequação dos itens de segurança (por exemplo, extintores e sinalização). Durante as inspeções visuais devem ser verificados, entre outros parâmetros: a existência de vazamentos de óleo nos equipamentos e de ferrugem e corrosão em equipamentos e estruturas metálicas; a existência de vibração e ruídos anormais; o nível de óleo dos principais equipamentos e o estado de conservação dos armários e canaletas além da condição dos aterramentos.</p>
<p>Periodicidade Recomendada: A cada ano, para todos os equipamentos aplicados.</p>
<p>Análise de Amostra de Óleo DGA (Dissolved Gas Analysis) - Análise físico-química; Análise cromatográfica, FP (Flash Point); Teste de Fator Dissipação:</p>
<p>A análise físico-química em óleo isolante detecta falhas em componentes internos, principalmente de reatores, transformadores, TP's e TC's.</p>
<p>Análise cromatográfica:</p> <p>O ensaio de cromatografia detecta a presença de hidrogênio e compostos gasosos de hidrocarbonetos e os principais gases encontrados no óleo isolante: Nitrogênio (N₂), Oxigênio (O₂), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Acetileno (C₂H₂), Etileno (C₂H₄), Etano (C₂H₆) e Butano (C₄H₁₀).</p> <p>Principais fontes de problemas em transformadores e os 'gases-chave' responsáveis associados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Arcos elétricos: Acetileno ▪ Corona no óleo: hidrogênio e metano ▪ Eletrólise na água: hidrogênio ▪ Deterioração acelerada do isolamento: monóxido de carbono e dióxido de carbono ▪ Superaquecimento do óleo: etileno

Ponto de Fulgor (Flash Point):

Este ensaio é um indicador de inflamabilidade do líquido e determina a temperatura mínima em que o óleo isolante é capaz de formar vapor suficiente para a formação de uma mistura inflamável com o ar, sob condições de ensaio. É desejado um ponto de fulgor alto pois valores baixos indicam a presença de perigosos contaminantes voláteis no óleo isolante.

Rigidez dielétrica:

O ensaio de rigidez dielétrica de um óleo é o teste do gradiente de tensão média no qual uma avaria ou uma falha ocorre, entre dois eletrodos metálicos imersos em óleo. Além disso, pode despertar as suspeitas de contaminação e instigar a análise mais profunda do óleo através de outros ensaios físico-químicos que expliquem o comprometimento de sua característica dielétrica.

Teste de Fator Dissipação:

O fator de dissipação, é o valor da relação entre a potência dissipada no óleo, em Watts, e o produto da tensão pela corrente, em VA, quando testado com uma tensão senoidal e sob condições prescritas. Este valor deve ser o mais baixo possível, o que representa menos perdas ativas e, portanto, menor efeito Joule gerado no óleo.

Periodicidade Recomendada: A cada ano, para todos os equipamentos aplicados.

Inspeção Termográfica

A temperatura é o parâmetro de mais fácil identificação de uma falha. Por isso, a termografia em instalações elétricas é uma das técnicas preditivas que proporciona maior retorno e evita a ocorrência de acidentes ou paradas de produção. O mau contato, a partir do qual se desencadeia a falha, pode ser detectado e corrigido pela utilização de radiômetros ou de termovisores. Não há necessidade de contato com o objeto sob análise e não há interferência com a produção já que não se desliga o equipamento sob inspeção.

A inspeção termográfica é usualmente empregada no monitoramento de conexões, conectores, painéis, equipamentos elétricos, tanques de armazenamento, contadores, disjuntores e bornes.

Periodicidade Recomendada: A cada ano para todos os equipamentos aplicados.

Análise de Ultrassom:

Este ensaio é capaz de identificar uma falha incipiente muito antes de ocorrer qualquer avaria mais grave no equipamento além de não exigir o seu desligamento, pelo contrário, deve-se inspecioná-lo energizado.

Aplicado em subestações, linhas de transmissão e distribuição de alta tensão, para detecção de descargas parciais, arcos elétricos, correntes de fuga, detecção de corona em isoladores poliméricos e falhas em painéis de força em plantas industriais e componentes elétricos de alta tensão. Observação: É necessário que o executor desta técnica possua qualificação e treinamento adequados para realização segura desta atividade.

Periodicidade Recomendada: A cada ano para todos os equipamentos aplicados.

Medições de Descargas Parciais (Equipamento energizado)

As medições de Descargas Parciais (DP) são testes realizados em diferentes tipos de equipamentos elétricos, como cabos, geradores e motores a fim de avaliar o estado do sistema isolante. Estas medições permitem detectar a presença de defeitos devidos tanto a um processo de degradação como a imperfeições na fabricação do sistema isolante. O carácter diferenciador das medições de descargas parciais é a localização de pontos de degradação do sistema de isolamento avaliado.

Descarga parcial é uma descarga elétrica que ocorre numa região do espaço sujeita a um campo elétrico, cujo caminho condutor formado pela descarga não une os dois eletrodos de forma completa. Podem ser classificadas como: DP interna, DP superficial ou DP corona.

Na medição de descargas parciais com o equipamento energizado, o cabo é monitorado por um sinal emitido constantemente, de modo que a variação em função do tempo e atividades de DP intermitentes podem ser detectadas, incluindo as consequências das condições operacionais, como sobretensões e variações de carga.

Periodicidade Recomendada: A cada ano para todos os ativos aplicados.

Teste de Baterias:

A avaliação das baterias prediz a estimativa de vida remanescente das mesmas, o que possibilita agilidade nas ações de manutenção e resulta na redução de falhas no sistema de proteção da subestação e no aumento da vida útil de elementos do banco de baterias.

A avaliação das baterias compreende os principais ensaios, inspeção visual, análise físico-química do eletrólito, queda de tensão nas interligações, resistência interna e corrente de curto-circuito e eficiência de recarga

Periodicidade Recomendada: A cada ano.

Testes de Resistência dielétrica: (HIPOT); Teste VLF (Very low frequency) < 0,1Hz; Teste com Megger

Teste HIPOT

O teste “HIPOT” – (“*high potential*”) de alto potencial, tem como objetivo assegurar que equipamento tem isolamento suficiente para suportar as tensões e sobretensões de trabalho.

Os testes HIPOT geralmente conectam um lado da fonte ao aterramento de segurança. O outro lado da fonte é conectado ao condutor que está sendo testado. Com a alimentação conectada dessa forma, há dois locais em que um determinado condutor pode ser conectado: alta tensão ou aterramento.

Se o isolamento entre os dois conectores for adequado, então a aplicação de uma grande diferença de tensão entre os dois condutores separados pelo isolador resultaria no fluxo de uma corrente muito pequena. Embora essa pequena corrente seja aceitável, não deve ocorrer nenhuma quebra do isolamento de ar ou do isolamento sólido. A duração do teste HIPOT, para a maioria dos padrões, é de 1 minuto.

Estes ensaios são destinados a demonstrar a integridade dos cabos e de seus acessórios. Constatando possíveis danos acarretados ao cabo nos processos de transporte, armazenagem, lançamento e montagem dos acessórios (evitando futuras perdas de produção), podendo também gerar informações importantes para acompanhamento da vida útil pela manutenção.

Periodicidade Recomendada: de 3 a 5 anos para todos os equipamentos aplicados.

Teste com Megger

O *megger*, é um instrumento de medição do fluxo de corrente elétrica. O ensaio consiste em aplicar no isolamento uma tensão em corrente contínua, com valores entre 500 V e 10.000 V. Isso provocará a circulação de um fluxo pequeno de corrente.

A partir da geração e aplicação de tensão elétrica, a principal função desse instrumento é medir valores elevados de resistência (a resistência é a oposição de um corpo à corrente elétrica que passa por ele) de motores, transformadores.

O aparelho é capaz de indicar possíveis pontos de fuga de corrente elétrica, averiguando a integridade dos itens, evita curto-circuitos, incêndios e outros acidentes. Além disso, permite acompanhar o nível de deterioração (natural) dos materiais.

A resistência de isolamento é a medida da “dificuldade” oferecida à passagem de corrente pelos materiais isolantes. Seus valores se alteram com a umidade e com a sujeira – alterações da capacitância do isolamento, da resistência total, das perdas superficiais e da temperatura do material – constituindo-se em uma boa indicação da deterioração dos equipamentos elétricos provocada por estas causas.

Teste VLF (Very low frequency) < 0,1Hz

O teste VLF (Very Low Frequency) é um tipo de HIPOT AC, mas com frequência de 0,1 Hz ou menor ao invés de 60 ou 50 Hz. A tecnologia VLF é a melhor maneira de detectar falhas em cargas com alta capacitância pois com uma saída de 0,1 Hz ao invés de 60 Hz, é necessário 600 vezes menos corrente e potência para aplicar uma determinada tensão AC em uma carga capacitiva, como em cabos, por exemplo.

Estes ensaios são destinados a demonstrar a integridade dos cabos e de seus acessórios. Constatando possíveis danos acarretados ao cabo nos processos de transporte, armazenagem, lançamento e montagem dos acessórios (evitando futuras perdas de produção), podendo também gerar informações importantes para acompanhamento da vida útil pela manutenção.

Periodicidade Recomendada: de 3 a 5 anos para todos os ativos aplicados.

Resistências de Contatos / Conexões:

Este ensaio é aplicável a disjuntores, seccionadores e barramentos ou outras conexões de alta capacidade de corrente. Ele tem o objetivo de garantir a resistência existente nos contatos de um equipamento de chaveamento ou barramento de energia, pela aplicação de uma corrente elétrica e a leitura do valor da queda de tensão local.

Essa queda de tensão, normalmente ocasionada por fontes de corrente contínua, estabelece por meio da aplicação direta da Lei de Ohm o valor da qualidade do contato elétrico das partes envolvidas. Os fabricantes dos diversos equipamentos apresentam seus valores típicos de fábrica, e normalmente são enquadrados dentro de valores limites definidos por normas específicas de equipamentos. Um maior valor de resistência de contato significa dizer uma maior dissipação de calor naquele ponto.

É fundamental para disjuntores e chaves a óleo que operem sob carga o registro desses valores e sua comparação com os valores do fabricante em catálogo.

Periodicidade Recomendada: de 3 a 5 anos para disjuntores, seccionadoras, contadores e barramentos. A cada 1 ou 2 anos para baterias.

Resistência de fusíveis em alta tensão e baixa tensão > 800 A:

O teste de Resistência de fusível deve identificar se o fusível está em bom estado segundo seu comportamento elétrico. Se o fusível estiver funcionando corretamente, ele deve apresentar baixa resistência, e a variação deve ser no máximo de 5% daquela indicada pelo fabricante.

Periodicidade Recomendada: de 3 a 5 anos para todos os equipamentos aplicados.

Fator de Potência (Duplo teste / Fator Dissipação \geq 5MVA)

O teste de fator de dissipação é o procedimento de teste de campo mais eficaz para detecção antecipada de contaminação e deterioração da bucha de transformadores. Ele também mede a corrente de teste alternada (CA), que é diretamente proporcional à capacitância da bucha.

O fator de dissipação e a capacitância da bucha devem ser medidos no ato da instalação da bucha e medidos novamente um ano depois.

Após essas medidas iniciais, o fator de potência e de dissipação e a capacitância da bucha devem ser medidos em intervalos regulares. Os valores medidos devem ser comparados com os testes anteriores e os valores na placa.

Periodicidade Recomendada: No ato da instalação, 1 ano após a instalação e subsequente em intervalos de 3 a 5 anos para todos os equipamentos aplicados.

Resistência de Enrolamento (Bobinado) Transformadores \geq 5 MVA

As resistências do enrolamento são testadas no campo para se detectar perda de conexões, condutores abertos e alta resistência de contato no comutador. Adicionalmente, a medição da resistência dinâmica possibilita uma análise do transitório na operação da chave de comutação.

Periodicidade Recomendada: de 3 a 5 anos para todos os equipamentos aplicados.

Integridade da Câmara de Vácuo

Integridade do vácuo é o teste de verificação da densidade do vácuo em disjuntores e seccionadoras à vácuo. A integridade do vácuo é avaliada por testes dielétricos de frequência de alta potência.

Periodicidade Recomendada: de 3 a 5 anos para todos os equipamentos aplicados.

Teste de operabilidade elétrica, ajuste, calibração (Ex. Teste de *trip*):

Os testes operabilidade elétrica avaliam a saúde das funções elétricas dos disjuntores. A operabilidade elétrica é testada por equipamentos de alta corrente próprios para teste em disjuntores. O teste de *trip* analisa o sinal de comando enviado pelo relé para efetuar uma ação sobre o disjuntor ou outro equipamento.

Além do teste de *trip*, a operabilidade elétrica do disjuntor pode ser avaliada por testes de desequilíbrio de fase, teste de corrente de fase, teste de sobrecarga, testes de falha de suprimento de carga, entre outros.

Periodicidade Recomendada: de 3 a 5 anos para todos os equipamentos aplicados.

Ensaio mecânico de operabilidade e lubrificação

Os ensaios mecânicos de operabilidade verificam o funcionamento mecânico do disjuntor. Nestes ensaios são avaliados fatores como: lubrificação suficiente, montagem correta das peças, conexão de ligações, existência de amassados, partes soltas, corrosão e poeira.

Periodicidade Recomendada: A cada 1 ou 2 anos para disjuntores e seccionadoras de Alta e Média Tensão. De 3 a 5 anos para todos os equipamentos de Baixa Tensão.

Teste de Capacitância:

Os elementos capacitivos dos capacitores sofrem deterioração gradual em função dos estresses dielétricos (sobretensões, descarga parciais, poluição). Quando a capacitância é alterada, o banco de capacitores deixa de fornecer a potência reativa desejada para a estabilização do fluxo de eletricidade.

Os capacitores devem ser substituídos caso seja identificada uma variação de 10 % de sua capacitância nominal.

Periodicidade Recomendada: de 3 a 5 anos.

Resistência de Aterramento:

A resistência de aterramento é a oposição oferecida pelo solo à injeção de corrente elétrica no mesmo. Para efetuar uma medição de resistência de aterramento, é necessário a obtenção de um circuito elétrico, composto de um ponto onde se injeta uma corrente e um ponto onde se retire essa corrente. A corrente é injetada através do sistema de aterramento a ser medido e retirada através de um aterramento ou terra auxiliar que poderá ser composto por uma ou mais hastes interligadas. A quantificação da resistência de um aterramento pode ser realizada por meio da razão entre o potencial do sistema de aterramento em relação a um ponto infinitamente afastado e a corrente que se faz fluir entre o aterramento e tal ponto. Assim, pela Lei de Ohm, a corrente injetada circulará pela terra e provocará em sua superfície uma tensão, resultante do produto da resistência de terra até o ponto a ser medido, pela corrente injetada.

A garantia adequada da resistência de aterramento é fundamental, uma vez que os aterramentos elétricos mantem os valores de potencial dentro de limites seguros para pessoas e até mesmo animais, que porventura possam tocar ou pisar próximo a estruturas metálicas aterradas que estejam energizadas acidentalmente.

Periodicidade Recomendada: de 3 a 5 anos.

Teste de continuidade:

Os testes de continuidade são aplicados para verificar se condutores se encontram corretamente conectados e se existe continuidade ao longo de todo o seu percurso. Neste tipo de ensaio, uma corrente de ao menos 10 A, proveniente de uma fonte com uma tensão sem carga (em vazio) é circulada entre cada uma das partes metálicas acessíveis aterradas. A queda de tensão é medida e a resistência é calculada não devendo exceder $0,2\Omega$ (ou os valores recomendados pelos fabricantes).

Periodicidade Recomendada: de 3 a 5 anos.

Operacionalidade do Sistema de Emergência / Teste em carga:

Este teste certifica que o sistema de *no-break* e o gerador de emergência fornecem energia ininterrupta aos equipamentos mesmo na ausência total de energia proveniente da rede elétrica.

Periodicidade Recomendada: A cada ano, para todos os equipamentos aplicados.

Para facilitar a gestão e o acompanhamento das manutenções programadas, foi disponibilizada aos eletricitas e destacada em cada uma das subestações, uma tabela-

síntese com todos os testes que devem ser aplicados nos equipamentos e sua respectiva periodicidade. Segue abaixo, a Tabela 12.

Tabela 12: Resumo da Periodicidade das Manutenções Programadas para ativos elétricos

Manutenções Preditivas	Periodicidade
Inspeção Física	1/ Ano
Análise Amostra de Óleo DGA (Dissolved Gas Analysis) - Análise físico-químico; Análise cromatográfica, Fator de Potência (PF), Teste Fator Dissipação e outros;	1/ Ano
Inspeção Termovisor (I/R)	1/ Ano
Análise de Ultrassom	1/ Ano
Descarga parcial energizado	1/ Ano
Teste Baterias	1/ Ano
Manutenções Preventivas	
Sobrepotencial Dielétrico (HiPot); 1. Megger 2. Teste VLF (Very low frequency) < 0,1Hz	3 a 5 anos
Resistência de isolamento (exemplo megar)	3 a 5 anos
Resistência de Contatos / Conexões	3 a 5 anos para disjuntores, seccionadoras, contadores e barramentos. A cada 1 ou 2 anos para baterias.
Resistência de fusíveis em Alta Tensão e Baixa Tensão > 800A	3 a 5 anos
Fator de Potência (Duplo teste / Fator Dissipação >= 5MVA	3 a 5 anos
Resistência Enrolamento (Bobinado) Transformadores >= 5 MVA	3 a 5 anos
Integridade Câmara de Vácuo	3 a 5 anos
Teste de operabilidade elétrica, ajuste, calibração (Ex. Teste de Trip)	3 a 5 anos
Ensaio Mecânico de operabilidade, Lubrificação (Manobrar);	1 ou 2 anos para disjuntores e seccionadoras de Alta e Média Tensão. De 3 a 5 anos para todos os equipamentos de Baixa Tensão.
Teste Capacitância	3 a 5 anos
Resistência Aterramento	3 a 5 anos
Teste de continuidade	3 a 5 anos
Operacionalidade do Sistema de Emergência / Teste em ca	1/Ano

3.6 Considerações Finais

Este capítulo apresentou todo o estudo de caso realizado, relatando como ele foi inicialmente estruturado, sua execução e o que foi gerado de resultados.

Em suma, como principais produtos deste trabalho, destaca-se:

1. Em relação à gestão de ativos e ao cadastro de equipamentos, o estudo demonstrou que, o sistema único e digital de registro de equipamentos utilizado pela empresa (*MAXIMO*), não tem sido eficientemente alimentado com as informações das subestações das fábricas. As disparidades encontradas entre as diversas listagens dos equipamentos em posse da empresa demonstram que é necessário realizar um mapeamento dos ativos e cadastro dos mesmos no *MAXIMO*, possibilitando assim mais confiabilidade e acessibilidade dos dados.
2. A análise crítica dos ativos da média tensão aplicou conceitos da *FMEA* com o propósito de avaliar, documentar, e priorizar o impacto potencial de cada falha funcional das subestações. Esta análise contribuiu para difundir o conhecimento sobre a importância de cada equipamento, e sobre como as falhas acarretam em prejuízos e ineficiência para as fábricas e, portanto, não podem ser negligenciadas. Para mais, esta fase do trabalho também indicou algumas recomendações direcionadas à manutenção e à supervisão no intuito de otimizar a confiabilidade das subestações analisadas.
3. O Guia descritivo das manutenções programadas para os ativos elétricos gerado neste estudo tem caráter didático e reúne informações sobre os ensaios e inspeções recomendados pelos setores regulatórios da empresa. Este guia pôde ser utilizado em treinamentos periódicos para funcionários da área e contribuiu para a conformidade das manutenções periódicas necessárias. De posse desse material, é possível que os responsáveis possam calcular e prever índices de confiabilidade de equipamentos imersos no processo de produção das plantas, aumentando com isso a disponibilidade dos mesmos.

4. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo principal, levantar de forma sintetizada alguns conceitos correlatos à manutenção industrial, além de ilustrar um estudo de caso prático, o qual foi desenvolvido em parceria com uma indústria multinacional.

O estudo de caso em questão, realizado nos ativos de média e alta tensão, baseou-se no conceito da MCC. Ficou evidente que o monitoramento desses equipamentos na planta sob análise é insuficiente, pois não é possível concluir quais ativos realmente estão na fábrica e, portanto, não se pode garantir que a manutenção dos mesmos seja eficiente.

A aplicação da MCC em face da análise crítica dos ativos da média tensão para as subestações da fábrica de processamento de milho identificou possíveis falhas e como cada uma delas impacta na produção. Dessa forma, este estudo contribuiu para aprimorar o conhecimento daqueles que trabalham diretamente com esses equipamentos e esclareceu como é importante que cada um desses ativos esteja funcionando bem para o bom desempenho do processo de produção. Esta análise ainda gera recomendações importantes para otimizar a eficiência, a segurança e a confiabilidade das subestações da fábrica em questão.

O guia descritivo das manutenções programadas coopera no treinamento e capacitação sobre os ensaios e testes aplicados nos ativos elétricos e se tornou uma ferramenta de consulta para supervisores, planejadores, eletricitas e demais pessoas correlacionadas à área de manutenção.

Os maiores desafios enfrentados na realização deste trabalho estão relacionados ao acesso às informações, isto devido à planta ser composta por três fábricas gerenciadas singularmente, além da administração ser bastante descentralizada, o que torna mais complexa a procura por dados e informações, uma vez que parte do sistema elétrico é comum para todas as instalações. Além disso, muitos dados ainda são geridos por planilhas e tabelas, e a transição para *softwares* e plataformas compartilhadas está acontecendo gradativamente, o que também compromete a investigação.

Outro desafio encontrado foi a escassez de recursos, materiais, pessoas e especialmente tempo disponíveis para o progresso do trabalho, uma vez que a fábrica funciona 24 horas por dia, não foi possível entrar em todas as subestações com a planta desenergizada para fazer a conferência física dos equipamentos. Outro fator importante é que a manutenção consiste em um setor extremamente atribulado, os engenheiros e eletricitas, via de regra, não possuem muita disponibilidade para esclarecer todas as

dúvidas e fornecer todas as informações necessárias, o que tornou o desenvolvimento desse estudo mais lento do que o desejado e previsto.

No intuito de aprimorar as estratégias de confiabilidade dos sistemas elétricos da unidade fabril sob análise, e de posse das informações aqui agregadas e da vivência diária na empresa no período do estudo, seguem algumas sugestões de trabalho futuros:

- Consultar as normas brasileiras, critérios da ANEEL e outras literaturas sobre as recomendações para manutenção em equipamentos elétricos industriais e avaliar se a indústria segue os parâmetros estabelecidos por estas diretrizes regulatórias.
- Criar um grupo que relaciona profissionais de áreas distintas (elétrica, civil e mecânica) para otimizar as avaliações de confiabilidade e disponibilidade além de realizar previsões, tais como o tempo médio de falha de aparatos, as taxas de falhas dos circuitos, estimar a confiabilidade das instalações em geral e criar uma planilha integrada; de forma interdisciplinar.
- Consultar as recomendações dos fabricantes dos equipamentos e das empresas prestadoras de serviços de manutenção, e assim, comparar, se as manutenções programadas aplicadas às plantas estão em conformidade com tais recomendações.
- Elaborar um plano de manutenção atualizado, baseado nas informações adquiridas acima e um relatório da performance “elétrica” da unidade, com sugestões de substituições e possíveis planos de contingência para o sistema elétrico.

Apesar de ser uma análise inicial da confiabilidade e gestão dos ativos, este trabalho evidencia que o acompanhamento dos equipamentos de alta e média tensão avaliados necessita de muitas melhorias.

O trabalho ainda endossa como os sistemas de alta e média tensão são primordiais para o bom funcionamento da indústria e, nesse sentido, serve como um incentivo para mais estudos e investimentos na área de planejamento da manutenção e confiabilidade. Outro fator a se destacar é que o estudo sob pauta também contribui para a difusão das diretrizes da confiabilidade e disponibilidade no âmbito da Engenharia Elétrica, uma vez que a Engenharia de Confiabilidade está em evidência no cenário industrial e já se mostra como uma importante estratégia aliada ao desempenho do processo de produção.

5. Referências

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. *Manutenção Função Estratégica*, 2ª edição, 1ª Reimpressão. Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, Coleção Manutenção, Abraman. 2004

SMITH, A. M. *Reliability-centered maintenance*. 1a. ed. New York: McGraw-Hill, 1992.

NASCIF, J. *Manutenção de Classe Mundial*, Revista Manutenção e Qualidade, n.29, p.8, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Confiabilidade e Manutenibilidade – Terminologia* (NBR 5462). Rio de Janeiro, ABNT, 1994.

MOUBRAY, J. *Reliability-centered Maintenance RCM II*. 2a. ed. New York: Industrial Press, 1997.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. *Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment* – 2000. Disponível em <<http://www.hq.nasa.gov/office/codej/codejx/>> Acesso em 05/05/2021 às 15:01.

MORTELARI, Denis; SIQUEIRA, Kleber; PIZZATI, Nei. *O RCM na Quarta Geração da Manutenção de Ativos*. RG Editores, 1ª Edição, 2011.

SALMAZO, Fabrício. *Proposta de Manutenção Centrada na Confiabilidade: um estudo de caso no SEP de Redes Subterrâneas em Curitiba*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

KARDEC, A.; NASCIF, J. *Manutenção: função estratégica*. 3a. ed. São Paulo: Qualitymark, 2009.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. *Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação*. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SOUZA, Rafael. *Análise da Gestão da Manutenção Focando a Manutenção Centrada na Confiabilidade: estudo de caso MRS LOGÍSTICA*. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2008.

ZAIONS, Douglas R. *Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em Uma Planta de Celulose e Papel*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – PPGEPP, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2003.

BRITTO, Tales M. *Metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada a Pára-raios de Alta Tensão*. Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

FIDALGO, João Emanuel Los Reis. *Maximização de receita de concessionária de transmissão de energia elétrica através da otimização da manutenção*. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. São Paulo, 2007.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. *Administração da Produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

TAKAHASHI, Yoshikazu; OSADA, Takashi. *Manutenção Produtiva Total*. São Paulo: Instituto Iman, 1993.

DUARTE, Jefferson. *ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO: Como se tornar um expert em EAP*. Project Management Digital Magazine, 2016. Disponível em <<https://www.gp4us.com.br/eap-estrutura-analitica-do-projeto/>> Acesso em: 26/05/2021 às 11:11.

A MAINTENANCE MANAGER'S GUIDE TO RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE. Limble CMMS, 2021. Disponível em: <<https://limblecmms.com/blog/a-maintenance-managers-guide-to-reliability-centered-maintenance/>> Acesso em: 27/04/2021 às 13:31.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *Application of Reliability Centered Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants*. IAEA-TECDOC-1590. Viena, 2007.

CONFIABILIDADE DE SISTEMAS. Ementa da Graduação em Engenharia de Sistemas. Universidade Federal de Minas Gerais, 2020. Disponível em: <<https://ufmg.br/cursos/graduacao/2404/77644/64251>>. Acesso em 20/04/2021 às 15:11.

CONFIABILIDADE CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Universidade Federal de Pelotas, 2016. Disponível em: < <http://engepro.ufpel.edu.br/>> Acesso em 20/04/2021 às 15:11.

DUAILIBE, Paulo. *APOSTILA SUBESTAÇÕES. Subestações: Tipos, Equipamentos e Proteção*. Novembro de 1999. <http://www.uff.br/lev/downloads/apostilas/SE.pdf> (acesso em 10 de Abril de 2013).

SOUZA, Luas Arruda de. *TÉCNICAS PREDITIVAS DE MANUTENÇÃO ELÉTRICA EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA*. Escola Politécnica, UFRJ. Rio de Janeiro, 2018.

FILHO, Geraldo Lupi; CARNEIRO, João Carlos. *MÉTODO DE EMISSÃO ACÚSTICA NA MEDIÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA: UMA FERRAMENTA DE MITIGAÇÃO*. XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. Pernambuco, 2008

KARASINSKI, Carlos Alberto; DIAS, Edson da Silva. *GUIA PARA APLICAÇÃO E MANUTENÇÃO DE BANCO DE BATERIAS*. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2003.

LIGEIRO, Igor Schuwenck: *Análise de Condições de Operação de Equipamentos Elétricos de Alta Tensão em uma Subestação Abaixadora Através de Técnicas Preditivas*. Rio de Janeiro, 2013.

Agência Nacional de Energia Elétrica. *Plano Mínimo de Manutenção*. Resolução Normativa - REN 669/2015. ANEE, Rio de Janeiro, 2015.

BEZERRA, J. M. B. et al. *Avaliação de Sensor de Ultra-Som como Técnica Preditiva na Manutenção de Subestações e Linhas de Transmissão e Distribuição*. UFCG. Campina Grande, 2004

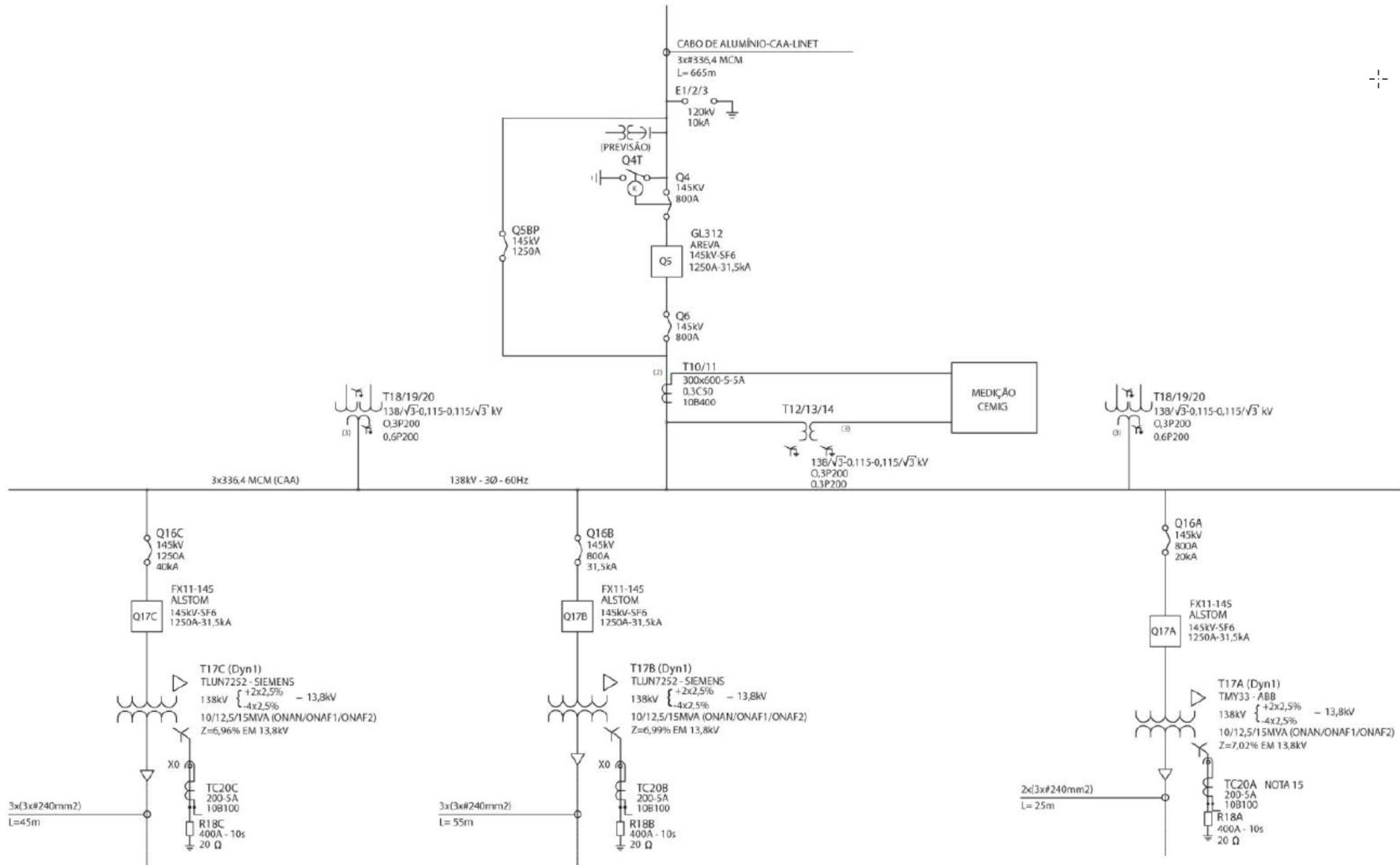
Fonseca, Jackson Farias. *Elementos de Manutenção em Transformadores de Potência*. Guaratinguetá, 2014.

GROSSI, Alexandre; LANA, Geraldo: *Diagnóstico em Cabos de Média Tensão Utilizando o Método de Descargas Parciais*. Belo Horizonte, 2014.

MAMEDE, João: *Instalações Elétricas Industriais*. LTC. 7ª Edição. Rio de Janeiro, 2010.

Anexo 1

A seguir é apresentado o diagrama unifilar da planta, com os equipamentos destacados nas tabelas de levantamento de ativos anteriores.



Unifilar da Instalação sob Investigação
(Fernandes, 2014)