



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

BASÍLIO ALBERTO PATRÍCIO FILHO

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE SUBESTAÇÃO - ESTUDO DE CASO EM UMA
INDÚSTRIA DE ELETROELETRÔNICOS, IMPLEMENTAÇÃO DE INDICADORES**

FORTALEZA

2019

BASÍLIO ALBERTO PATRÍCIO FILHO

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE SUBESTAÇÃO - ESTUDO DE CASO EM UMA
INDÚSTRIA DE ELETROELETRÔNICOS, IMPLEMENTAÇÃO DE INDICADORES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio.

Coorientador: Eng. Felipe Carvalho Sampaio

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F498g Patricio Filho, Basílio Alberto.
Gestão da manutenção de subestação - estudo de caso em uma indústria de eletroeletrônicos, implementação de indicadores / Basílio Alberto Patricio Filho. – 2019.
60 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Raimundo Furtado Sampaio.
Coorientação: Prof. Felipe Carvalho Sampaio.
1. Gestão de Manutenção. 2. Transformador de Distribuição. 3. Indicadores de Desempenho de Manutenção.
I. Título.

CDD 621.3

BASILIO ALBERTO PATRÍCIO FILHO

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE SUBESTAÇÃO - ESTUDO DE CASO EM UMA
INDÚSTRIA DE ELETROELETRÔNICOS, IMPLEMENTAÇÃO DE INDICADORES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Msc. Lucas Silveira Melo (Membro da Banca)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Felipe Carvalho Sampaio (Co-Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus. Aos meus pais, Basílio e Sandra. Aos meus irmãos, Fernanda, Bárbara e Joaquim. À minha namorada, Monica. A todos os meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar, iluminar e me dar tranquilidade para perseverar nos meus objetivos, de modo que eu não desanimasse com as dificuldades. Agradeço também a Deus por manter minha mãe, meu pai e meus irmãos ao meu lado, com a saúde que têm hoje.

Agradeço a minha mãe, Sandra, que sempre me motivou, entendendo o meu comportamento ausente ou recluso durante o período de dedicação aos estudos da graduação.

Agradeço ao meu pai, Basílio, que sempre comemorou as minhas conquistas durante o curso de graduação, mesmo que por vezes não soubesse expressar.

Agradeço aos meus irmãos, Joaquim, Bárbara e Fernanda que me deram suporte durante a graduação, principalmente nos momentos mais difíceis.

Agradeço à minha namorada, Monica, que me apoiou nos momentos de dificuldade, compartilhando comigo a felicidade das conquistas e me motivando diante das derrotas. Me tranquilizava nos momentos difíceis dizendo: “Tudo tem seu tempo”.

Agradeço a todos os amigos que estiveram comigo durante a graduação, nos momentos bons e nos momentos difíceis, Alan Batista, Roberto Aaron, Ednardo Rodrigues, Daniel Parente, Eduardo Cabral, Raimundo Junior, Davi Freire e Ramon Sampaio.

Agradeço a minha Tia Madrinha, Maria do Carmo, que sempre me apoiou e orientou nos momentos de dificuldade. Uma lembrança também para a minha Tia Fátima, por me incentivar emocional e espiritualmente sempre que precisei. Sou grato também pelo suporte do meu primo Rogério Galvão e sua família, Patrícia Galvão e todos os demais.

Agradeço ao meu Professor orientador Raimundo Furtado Sampaio, que não mediu esforços para me ajudar com a entrega e apresentação deste trabalho, se mostrando sempre paciente, disponível e objetivo nas suas observações. Agradeço ainda ao Departamento de Engenharia Elétrica da UFC, a todo o pessoal administrativo e professores, que contribuíram para o meu crescimento. Quero registrar um agradecimento aos Professores Fernando Antunes, Sergio Daher, Ruth Leão, Rene Bascope e Lucas Silveira, pelos ensinamentos e experiências compartilhados. Sou grato também pela atenção, disponibilidade e ensinamentos do meu co-orientador, Eng. Felipe Carvalho.

Quero agradecer também aos colaboradores da empresa onde estagiei e obtive grande aprendizado, além de ter tido a oportunidade de desenvolver este trabalho no local, na pessoa dos senhores Gean, Ismael, Roberto e Ronaldo e demais funcionários.

“A vida é breve, mas cabe nela muito mais do que somos capazes de viver.”

José Saramago

RESUMO

A gestão de manutenção é abordada neste trabalho numa perspectiva do planejamento e controle de manutenção – PCM. Sabendo que o PCM é um conjunto de atividades que integram a gestão de manutenção, o desempenho das atividades de PCM impactam diretamente a gestão do setor de manutenção. Assim, a implementação de estratégias de PCM capazes de aumentar o desempenho da gestão de manutenção devem ser priorizadas. A implementação de indicadores de desempenho é um exemplo de estratégia desse gênero. Dentro desse contexto, este trabalho tem como objetivo a implementação de indicadores de desempenho para a subestação de energia elétrica de uma indústria de eletroeletrônicos localizada no município de Eusébio, Ceará, Brasil. A subestação de energia elétrica nesta indústria possui um plano de manutenção anual, entretanto não era monitorada através de indicadores. Portanto, para este trabalho foram escolhidos um conjunto de indicadores de manutenção, já consolidados na literatura, foram coletados os dados necessários para os cálculos dos indicadores e foram definidas uma estratégia de monitoramento e uma meta numérica para cada indicador. Com este trabalho foi possível implementar o controle dos indicadores de manutenção da subestação de distribuição na indústria considerada, portanto, esta indústria dispõe de mais uma ferramenta de planejamento e controle para tomada de decisões no setor de manutenção. A mensuração dos efeitos a médio e longo prazo da implementação destes indicadores além de melhorias no controle destes indicadores são propostas para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Gestão de Manutenção. Transformador de distribuição. Indicadores de desempenho de Manutenção.

ABSTRACT

The management of maintenance is approached in this work from a perspective of maintenance planning and control - PCM. Knowing that PCM is a set of activities that integrate maintenance management, the performance of PCM activities directly affect the management of the maintenance sector. Thus, the implementation of PCM strategies capable of increasing maintenance management performance should be prioritized. The implementation of performance indicators is an example of such a strategy. Within this context, this work has the objective of implementing performance indicators for the electric power substation of an electronics industry located in the municipality of Eusébio, Ceará, Brazil. The electric power substation in this industry has an annual maintenance plan, however it was not monitored through indicators. Therefore, a set of maintenance indicators, already consolidated in the literature, were chosen for this work, the necessary data were collected for the calculation of the indicators and a monitoring strategy and a numerical goal were defined for each indicator. With this work it was possible to implement the control of maintenance indicators of the distribution substation in the considered industry, therefore, this industry has another planning and control tool for decision making in the maintenance sector. The measurement of the medium and long term effects of the implementation of these indicators besides improvements in the control of these indicators are proposed for future work.

Keywords: Maintenance Management. Distribution transformer. Maintenance Performance Indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva da Banheira: Probabilidade de Falhas versus Tempo	18
Figura 2 – Ciclo de Atividades do PCM.....	19
Figura 3 – Muflas de uso Interno (esquerda) e Externo (direita)	24
Figura 4 – Disjuntor de Média Tensão WEG	25
Figura 5 – Pára-Raio Polimérico	25
Figura 6 – Chave Tripolar Tipo Faca.....	26
Figura 7 – Isolador diversos modelos.....	26
Figura 8 – Transformador de Potencial (TP) Diversos Modelos.....	27
Figura 8 – Transformador de Corrente (TC) Diversos Modelos	27
Figura 9 – Barramento Rígido Trifásico.....	28
Figura 10 – Transformador a Óleo 300 kVA	28
Figura 11 – Modelo de Sistema de Gestão de Manutenção.....	32
Figura 12 – Registro da manutenção realizada nas muflas externas e internas.....	35
Figura 13 – Registro da manutenção realizada nos cabos de média tensão	36
Figura 14 – Registro da manutenção realizada na chave seccionadora tipo faca.....	37
Figura 15 – Registro da manutenção realizada nos TP's e TC's	37
Figura 16 – Registro da manutenção realizada no Transformador a óleo de 150 kVA	38
Figura 17 – Registro da manutenção realizada no Transformador a óleo de 300 kVA	39
Figura 18 – Registro da inspeção realizada na malha de aterramento.....	39
Figura 19 – Ordem de serviço manutenção corretiva 001501	42
Figura 20 – Ordem de serviço manutenção corretiva 001502.....	42
Figura 21 – Ordem de serviço manutenção preventiva 540287	42
Figura 22 – Ordem de serviço manutenção preventiva 540288	42
Figura 23 – Ordem de serviço manutenção corretiva 542114.....	43
Figura 24 – Ordem de serviço manutenção preventiva 546273	43
Figura 25 – Ordem de serviço manutenção preventiva 547130	44
Figura 26 – Registro de Tempos Ordem de serviço 001501	45
Figura 27 – Registro de Tempos Ordem de serviço 001502	46
Figura 28 – Registro de Tempos Ordem de serviço 001502	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – MTBF	44
Tabela 2 – MTTR	48
Tabela 3 – Disponibilidade	49
Tabela 4 – Confiabilidade.....	51
Tabela 54 – PMR	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
INPC	Índice Nacional de Preços ao Consumidor
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
UFC	UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
MT	Média Tensão
BT	Baixa Tensão
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
OS	Ordem de Serviço
SE	Subestação
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time To Repair

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Problemática e motivação	14
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo Principal	15
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	Estrutura do Trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Introdução	17
2.2	Manutenção Industrial	17
2.2.1	Planejamento e Controle de Manutenção – PCM	18
2.2.2	Ordens de Serviço (OS)	20
2.2.3	Manutenção Corretiva e Preventiva	20
2.2.4	Manutenção Industrial Elétrica – Definições, Normas e Procedimentos	21
2.2.5	Manutenção de Subestações Elétricas de Energia na Indústria	23
2.2.6	Indicadores de Manutenção na Indústria	29
2.2.7	Gestão de Manutenção	31
3	METODOLOGIA	34
3.1	Introdução	34
3.2	Inspeção Técnica da Subestação	34
3.3	Indicadores de Manutenção Propostos	40
4	DESENVOLVIMENTO	41
4.1	Introdução	41
4.2	Tempo Médio Entre Falhas – MTBF da Subestação	41
4.3	Tempo Médio Para Reparo – MTTR da Subestação	45
4.4	Disponibilidade da Subestação	48
4.5	Confiabilidade da Subestação	49
4.6	Custo de Manutenção da Subestação versus Valor de Aquisição – CPMR	51
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
5.1	Conclusões	54
5.2	Trabalhos Futuros	55
	REFERÊNCIAS	56

ANEXO A – OS MANUTENÇÃO PREVENTIVA SUBESTAÇÃO.....	59
ANEXO B – CAPA LAUDO DE MANUTENÇÃO TERCEIRIZADA 2016	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 Problemática e motivação

As Subestações de Energia Elétrica (SE's) são compostas de um ou mais transformadores de distribuição, apresentam ao longo da vida útil uma deterioração inerente as suas características construtivas e a sistemática de operação e manutenção desses equipamentos. Ao longo da sua vida útil, é comum o surgimento de falhas nos componentes de um transformador (SUDKET; CHAITUSANEY, 2014). Nesse sentido, faz-se necessário um conjunto de ações de planejamento e controle da manutenção, com o intuito de estender a vida útil das SE's.

A manutenção no sistema elétrico, de modo geral, é subdividida em: manutenção corretiva; manutenção preventiva; manutenção preventiva; e manutenção detectiva (PINTO; XAVIER, 1998). A partir desses conceitos, é possível estabelecer o Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) de uma subestação industrial.

O PCM consiste em uma metodologia que tem por objetivo garantir a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos da planta industrial (DORIGO, 2010).

Tomando como base o caso das indústrias, tem-se, a depender da carga instalada e da demanda de energia elétrica, a necessidade de um ou mais transformadores de distribuição na SE. O transformador é um dos equipamentos que requer maior investimento durante as etapas de compra e de manutenção da SE. Dada sua relevância para o suprimento de energia elétrica da indústria, faz-se necessário um sistema de Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) capaz de atender os requisitos de manutenção elétrica da SE.

Numa indústria, o setor de manutenção tem papel fundamental, devido a considerável influência na produtividade e em consequência na lucratividade (MOUBRAY, 1997). A produtividade industrial, conseqüentemente a lucratividade, está diretamente associada a confiabilidade, a qualidade, a segurança e a disponibilidade do sistema de suprimento de energia elétrica da indústria. Deste modo, em geral, uma indústria com índices produtivos negativos tem lucratividade negativa, e vice-versa.

Diante dos impactos econômicos, nos últimos anos, o setor industrial e universidades tem investido no desenvolvimento de sistemas computacionais para gerenciamento da manutenção do sistema elétrico (RAMOS FILHO, 2008). No mercado existem diversos sistemas, livres e pagos, utilizados para gerenciamento da manutenção. O ENGEMAN, é um exemplo de software pago, utilizado para Gestão de Manutenção Industrial,

enquanto o SIGMA (Sistema Gerencial de Manutenção e Telemetria) é um exemplo de software gratuito. Esta ferramenta possui diversos recursos, entre os quais estão: um banco de dados para gerenciamento das ordens de serviço de manutenção (corretiva e preventiva), tempo de manutenção dos equipamentos, indicadores de manutenção, entre outros.

Nesse contexto, desenvolveu-se este trabalho durante o período de estágio numa indústria de eletroeletrônicos. Durante o período de estágio foi possível vivenciar as atividades do setor de manutenção, que trata da manutenção de diversos equipamentos, incluindo a subestação de energia elétrica. Notou-se durante o período de estágio que a manutenção da subestação por vezes era adiada, fosse por motivos de segurança, devido a impossibilidade de desenergizar a subestação durante o período chuvoso (apesar dos ambientes protegidos da chuva há alta umidade do ar), fosse devido a prioridade dada a continuidade das atividades produtivas, vale ressaltar, suprir as demandas da produção é um dos pilares do setor de manutenção. Notou-se, então, que estes fatos combinados ao desgaste natural dos componentes da subestação geravam uma deterioração mais acentuada, pois inspeção, limpeza e troca de componentes eram adiados.

Além disso, durante as atividades desenvolvidas no estágio foi possível perceber que diferente de outros equipamentos, que possuíam plano de manutenção e indicadores de manutenção, a subestação possuía apenas o plano de manutenção. Logo, notou-se a oportunidade de melhorar o gerenciamento da manutenção da subestação através da implementação de indicadores.

Deste modo, surgem oportunidades de redução de custos na manutenção da subestação, diretamente, através de ações para otimizar o uso de recursos de mão de obra e materiais, ou indiretamente, pois um controle mais preciso das atividades de manutenção tende a aumentar a vida útil dos equipamentos, evitando a troca destes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo principal

O objetivo deste trabalho é implementar um conjunto de indicadores de manutenção em uma indústria de eletroeletrônicos, localizada no município de Eusébio – CE, para o gerenciamento da manutenção da subestação desta indústria. A subestação é composta por dois transformador trifásicos a óleo, um de potência nominal 150 kVA e outro de 300 kVA, além do conjunto de equipamentos do cubículo de MT/BT.

1.2.2 Objetivos Específicos

Entre os objetivos específicos para desenvolvimento desse trabalho estão:

- Analisar o processo de manutenção das SE's atualmente existente;
- Mobilizar os dados para o cálculo dos indicadores de manutenção;
- Determinar uma estratégia de monitoramento dos indicadores de manutenção;
- Implementar indicadores de manutenção para o gerenciamento da manutenção da SE;
- Proporcionar novas ferramentas (os indicadores de manutenção) para melhorar o controle das manutenções preventiva, corretiva e inspeção termográfica nas instalações elétricas aéreas da subestação e nos cubículos de proteção de média e baixa tensão;

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado com os seguintes capítulos:

No Capítulo 01 é apresentado uma noção geral do tema abordado, a motivação, os objetivos gerais e específicos e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 02 é feita uma revisão bibliográfica dos conceitos envolvendo manutenção, gestão de manutenção, indicadores de manutenção, funcionamento de SE aéreas, procedimentos de manutenção de SE's aéreas. Além disso, nesse capítulo são apresentadas as ferramentas computacionais utilizadas no gerenciamento da manutenção na indústria em questão.

No Capítulo 03 é apresentada a metodologia para desenvolvimento do estudo e implantação de novos indicadores de manutenção para otimização da gestão de ativos das duas SE's aéreas estudadas.

No Capítulo 04 são apresentados os resultados deste trabalho e é feita a discussão destes.

No Capítulo 05 são apresentadas as conclusões e são propostos trabalhos futuros na linha temática deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados os conceitos referentes a manutenção industrial que se relacionam com PCM, manutenção de subestações elétricas de energia, gestão de manutenção e indicadores de manutenção. Além disso, são apresentadas ferramentas utilizadas na gestão de manutenção.

2.2 Manutenção Industrial

A Manutenção Industrial é um setor operacional presente em plantas industriais que tem o intuito de garantir a disponibilidade de máquinas, equipamentos e utilidades. Assim, faz parte do escopo de atividades desse setor ações de manutenção corretiva e preventiva, monitoramento de indicadores, gestão de pessoas e custos entre outras.

O processo de manutenção do sistema elétrico é subdividido em quatro categorias, a saber: manutenção corretiva; manutenção preventiva; manutenção preditiva; e manutenção detectiva (PINTO; XAVIER, 1998).

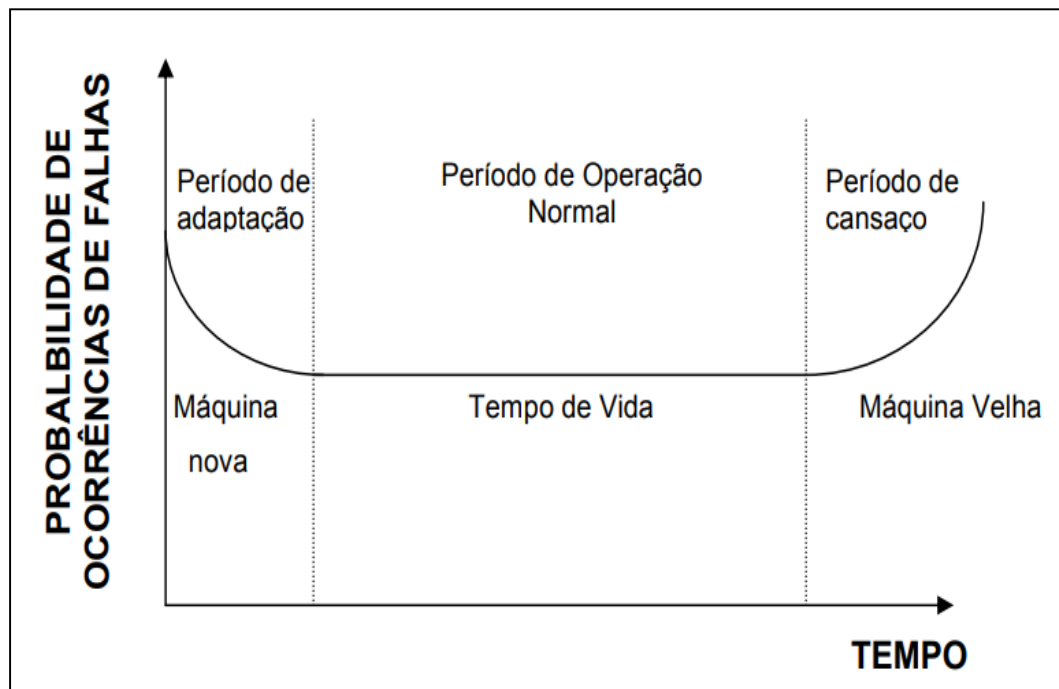
A manutenção corretiva pode ser dividida em dois tipos, corretiva não planejada e planejada. A manutenção corretiva não planejada consiste em uma prática para detectar e corrigir falhas de modo aleatório, a fim evitar possível falta de energia (WILLIAMS, 1994 *apud* CASTELLA, 2001). A manutenção corretiva planejada prevê os recursos necessários para a intervenção da manutenção (PINTO; XAVIER, 2001 *apud* MUASSAB, 2002). A manutenção preventiva planejada tem como base uma sistemática de trabalho para manter um controle contínuo do equipamento e evitar ocorrência de falhas (PATTON JR., 1983).

Manutenção preditiva, que se trata da execução da manutenção no momento adequado, antecipando uma falha do equipamento, sendo o objetivo evitar a falha funcional ou evitar consequências desta (MOUBRAY, 1997).

Tem-se ainda, a manutenção detectiva, que é efetuada em sistemas de proteção de modo a detectar falhas ocultas ou não perceptíveis às equipes de operação e manutenção (PINTO *apud* CASTELLA, 2001).

Nesse contexto, estudos na área de manutenção deram origem a curva da banheira, Figura 1.

Figura 1 – Curva da Banheira: Probabilidade de Falhas versus Tempo



Fonte: Pasqua (1999).

Segundo Slack *et al.* (1999) a curva da Figura 1 é descrita do seguinte modo:

- A mortalidade “infantil”: corresponde a etapa inicial da vida útil de um equipamento, quando as falhas são devido peças defeituosas ou uso indevido do equipamento;
- A etapa de “vida normal”: corresponde ao período durante o qual a taxa de falhas tende a ser menor, considerando toda a vida útil do equipamento, além disso, tende a ser constante. Quando ocorrem falhas, a causa está associada a fatores externos.
- A etapa de “desgaste”: nessa etapa há um aumento da taxa de falhas e o equipamento se aproxima do final da sua vida útil. Quando ocorrem falhas, estas são causadas devido ao envelhecimento e à deterioração.

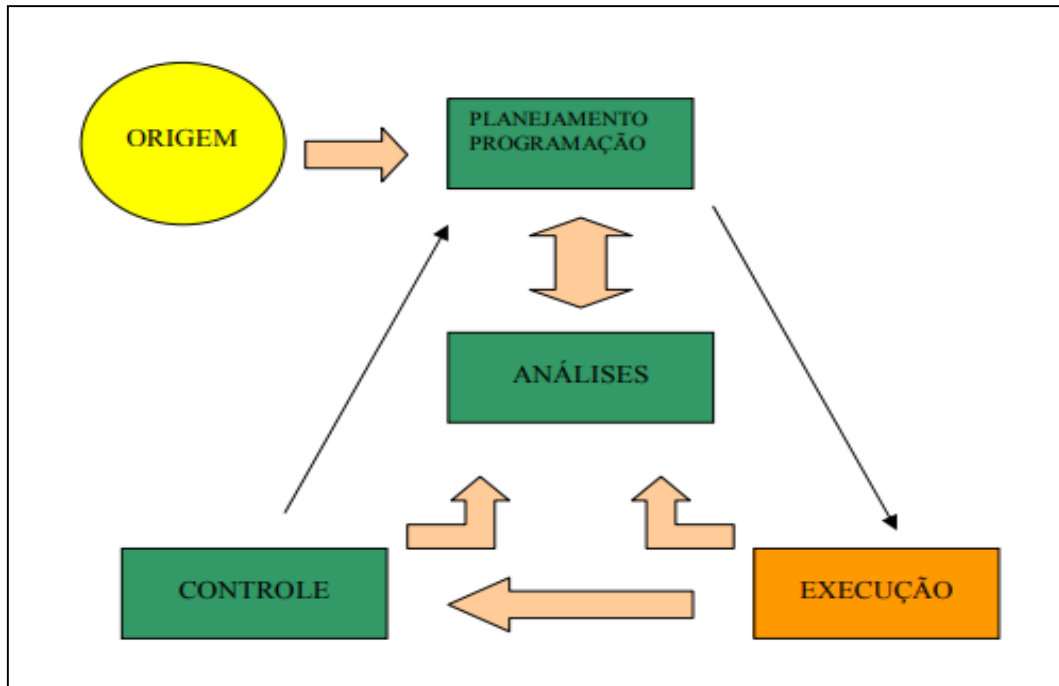
Assim, as estratégias de manutenção apresentadas são utilizadas de modo a garantir que a vida útil dos equipamentos cumpra esta curva.

2.2.1 Planejamento e Controle de Manutenção – PCM

O Planejamento e Controle de Manutenção consiste nas atividades de suporte a gestão de manutenção, ou seja, trata-se das ações de garantia dos recursos necessários para atender às demandas do setor além do monitoramento e estratégias de execução destas demandas.

Assim, é parte do escopo do PCM processar as ordens de serviço (OS), auxiliar na gestão de recursos financeiros, materiais e humanos, além do acompanhamento dos indicadores da manutenção. Na Figura 2 o PCM é descrito de forma cíclica.

Figura 2 – Ciclo de Atividades do PCM



Fonte: Fernandes (2003).

Através da análise da Figura 2 é possível perceber a dinâmica das atividades do Planejamento e Controle de Manutenção. Ou seja, a partir de uma problemática raiz, a origem, surge a necessidade de um planejamento (programação) para solucioná-la, onde um conjunto de análises é feito de modo a obter um planejamento ótimo, nessa etapa é aberto o registro dos serviços. Em seguida, executam-se as atividades planejadas, nesta etapa os serviços são realizados e é feita a coleta de informações. Depois da execução faz-se necessário controlar a atividade ou ação implementada, nessa etapa os serviços são processados, isto é os registros dos serviços realizados são encerrados. Vale notar, também para o controle e a execução um conjunto de análises deve ser feito, de modo a garantir que os recursos estão sendo utilizados de acordo com o previsto e se os resultados esperados estão sendo alcançados (FERNANDES, 2003).

2.2.2 Ordens de Serviço (OS)

Segundo Fernandes (2003), no setor de manutenção são processadas as ordens de serviço, que são solicitações de serviço que os funcionários deste setor devem atender. Estas solicitações de serviço estão associadas a falha ou defeito num processo, máquina ou equipamento. O processamento é feito através de via escrita ou digital. Vale ressaltar, o formato geral desse processamento está descrito na literatura, porém pode variar de acordo com a empresa.

O gerenciamento digital das ordens de serviço, quando ocorre, pode ser feito através de um software de gerenciamento de manutenção. Quando não há um gerenciamento digital, pode-se adotar um registro físico, por escrito, e após o encerramento do serviço esse registro por escrito é arquivado no setor de manutenção. Há ainda uma modalidade mais precária de processamento das ordens de serviço, onde não há registros de nenhum destes tipos, os serviços são executados e encerrados e não há um histórico de informações.

A capacidade do setor de manutenção de atender estas ordens de serviço afeta diretamente o próprio setor, efeito monitorado através dos indicadores de manutenção. O efeito na produtividade também é evidente, na medida em que a disponibilidade de máquinas e equipamentos está diretamente associada aos serviços solicitados nas OS.

2.2.3 Manutenção Corretiva e Preventiva

As ordens de serviço processadas no setor de manutenção industrial podem ser de diferentes tipos, ou seja, corretivas, preventivas, preditivas, detectiva, etc. Neste trabalho serão abordadas as manutenções corretivas e preventivas.

As ordens de serviço corretivas podem ser planejadas ou não planejadas. Ordens de serviço corretivas não planejadas representam a correção de uma falha de modo paliativo, apenas com o intuito de evitar consequências imediatas, é a manutenção menos sofisticada em termos de programação e planejamento. Uma versão aprimorada da manutenção corretiva é a corretiva planejada, que prevê a mobilização de recursos para a execução das atividades.

Há ainda as ordens de serviço preventivas, que consistem numa estratégia de controle contínuo das máquinas, equipamentos e utilidades, sendo possível, assim, garantir uma menor ocorrência de falhas ou defeitos, em comparação a estratégia corretiva. A manutenção preventiva se baseia num planejamento e numa programação, de modo que cada máquina e equipamento tenha uma ação de manutenção em intervalos de tempo definidos por

periodicidade. Ou seja, um mesmo equipamento pode ter planos de manutenção semanal, mensal, bimestral, trimestral, semestral e anual. Deste modo, há um controle mais rigoroso do status da máquina ou do equipamento.

2.2.4 Manutenção Industrial Elétrica – Definições, Normas e Procedimentos

Numa indústria, as atividades de manutenção industrial, que geram as demandas de ordens de serviço, podem ser de diferentes tipos, ou seja, elétrica, mecânica, hidráulica, etc. Neste trabalho será abordada a manutenção elétrica de equipamentos e instalações. Assim, faz-se necessário abordar as principais normas e boas práticas que regem esse tipo de atividade.

Segundo o Manual e Catálogo do Eletricista Schneider Electric (2009), instalações elétricas industriais tratam-se ambientes de fabricação, processo e por extensão, as instalações de infraestrutura, como aeroportos, portos, ferrovias e grandes centros de serviços. A operação destes sistemas deve ser realizada por pessoas qualificadas. A instalação começa no painel geral de distribuição, que possui os dispositivos de seccionamento e proteção para alimentar os painéis secundários. Nesse ambiente são aplicados disjuntores de alta capacidade de corrente nominal e alta capacidade de interrupção de corrente de curto circuito, que além das proteções de sobrecorrentes podem ter também as proteções de falta à terra ou proteção diferencial residual.

Segundo a ABNT (2004), que trata dos procedimentos de operação e manutenção de instalações elétricas e serviços com eletricidade, 1000 Volts (V) é o limite para a baixa tensão em corrente alternada e 1500 V para a corrente contínua. A frequência máxima de aplicação desta norma é de 400 Hz.

Segundo a Norma Regulamentadora NR-10 (1978), os estabelecimentos onde são exercidas atividades trabalhistas regidas pelo Ministério do Trabalho devem atender os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores em interação com instalações elétricas e serviços com eletricidade. A NR10 se aplica desde às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades.

Segundo a ABNT (2004), também faz parte do conjunto de normas utilizadas como referência para manutenção e operação das instalações elétricas. Neste trabalho a importância

desta norma está associada a inspeção dos equipamentos que garantem proteção no caso da incidência de descargas atmosféricas nas instalações elétricas e equipamentos.

As principais normas relacionadas a inspeção termográfica são a ABNT (2016) e a ABNT (2013). A ABNT (2016, a) define os termos utilizados no método de ensaio não destrutivo de termografia e a ABNT (2013) trata-se de um guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos relacionados às responsabilidades do usuário final e do termografista. As amostras obtidas nos ensaios termográficos permitem uma análise das condições operacionais dos equipamentos e componentes através de dados de distribuição e valores de temperatura. São características inerentes aos ensaios a simples execução e o baixo risco para o executante. Deste modo, o planejamento e a execução são facilitados, pois normalmente não há necessidade de intervenção ou parada nos processos de termografia.

A ABNT (2005) estabelece um sistema para o projeto e execução de instalações elétricas de média tensão, com tensão nominal de 1,0 kV a 36,2 kV, à frequência industrial, de modo a garantir a segurança e continuidade de serviço. Juntamente com as normas NBR 5410 e NR10 garantem o embasamento para as atividades de operação e manutenção de instalações elétricas industriais.

A ABNT (2016, b) aplica-se a transformadores trifásicos e monofásicos (inclusive autotransformadores), excetuando-se certas categorias de pequenos transformadores especiais. Portanto, é de fundamental relevância para os ensaios e inspeções de manutenção de transformadores a óleo, dentre outros.

As normas ABNT NBR IEC 62271-100:2006 e ABNT NBR 7118 aplicam-se a disjuntores de corrente alternada projetados para uso interior e exterior e para operação a frequência de 50 Hz e 60 Hz em sistemas de tensão acima de 1000 V. Nas atividades de manutenção industrial são especialmente importantes devido as particularidades na inspeção e ensaios de disjuntores e demais equipamentos em instalações elétricas de alta tensão.

Já a norma ABNT (1994), define os termos relacionados a confiabilidade e manutenibilidade.

Segundo a Norma Regulamentadora NR10 (2004), no contexto de documentação necessária para garantir uma adequada e segura execução dos procedimentos de manutenção, é previsto um Prontuário das Instalações Elétricas (PIE) no setor de manutenção industrial. O PIE trata-se de sistema de gestão de informações a respeito das instalações elétricas e dos trabalhadores, constituído de procedimentos, ações e documentos, sempre com foco na segurança, dos colaboradores e das instalações. De acordo com a NR10, os estabelecimentos

com carga instalada superior a 75 kW devem constituir e manter o Prontuário de Instalações Elétricas, contendo, no mínimo.

- Conjunto de procedimentos e instruções técnicas e administrativas de segurança e saúde, implantadas e relacionadas a NR10, além da descrição das medidas de controle existentes;
- Documentação das inspeções e medições do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e aterramentos elétricos;
- Especificação dos documentos de proteção coletiva e individual e o ferramental, aplicáveis conforme determina a NR10;
- Documentação que comprove qualificação, habilitação, capacitação e autorização dos trabalhadores e dos treinamentos realizados;
- Resultados dos testes de isolamento elétrica realizados em equipamentos de proteção individual e coletiva;
- Certificação dos equipamentos e materiais elétricos em áreas classificadas;
- Relatório técnico das inspeções atualizadas com recomendações, cronogramas de adequações, contemplando estes tópicos citados acima.

2.2.5 Manutenção de Subestações Elétricas de Energia na Indústria

As Subestações Elétricas (SE) de energia são de fundamental importância no que diz respeito à disponibilidade de energia elétrica para uma indústria pois constituem o conjunto de equipamentos que faz a interface entre a concessionária de energia e o consumidor (PEREIRA; SPRITZER, 2007). Assim, este equipamento representa um ativo crítico na continuidade dos processos produtivos de uma indústria. Vale ressaltar, neste trabalho será abordada uma indústria que não conta com nenhuma fonte de geração de energia elétrica.

Sabendo que as SE são ativos críticos, merecem especial atenção quanto a manutenção (SUDKET; CHAITUSANEY, 2014). Portanto, uma eficiente execução dos procedimentos de manutenção e gestão de custos de manutenção é indispensável. Faz-se, então, um descritivo detalhado dos equipamentos presentes numa subestação, afim de melhor compreender os procedimentos de manutenção.

Muflas externas: segundo OmsEngenharia (2019), a mufla é uma terminação para cabos elétricos, atua na proteção dos condutores contra à radiação ultravioleta, chuva, névoa salina, poeira e outros agentes, evitam também curto-circuitos.

Muflas internas: segundo OmsEngenharia (2019), as muflas internas atuam na isolação elétrica das terminações dos cabos.

Figura 3 – Muflas de uso Interno (esquerda) e Externo (direita) – ambas atuam na isolação elétricas



Fonte: MDPOLICABOS, 2019.

Cabos de média tensão: cabos dos condutores de energia elétrica em média tensão.

Poste de medição: poste onde se encontram os equipamentos de medição de energia elétrica.

Eletroduto de proteção: segundo Krona (2019), são utilizados para agrupar os cabos e proteger contra choques mecânicos e intempéries.

Disjuntor de média tensão: segundo WEG (2019), trata-se de um dispositivo capaz de interromper a condução de corrente elétrica, fornece proteção ao sistema.

Figura 4 – Disjuntor a Vácuo de Média Tensão VBW, fabricante WEG



Fonte: WEG, 2019.

Pára-raios: segundo Seleção Engenharia (2019), este equipamento atua na proteção do sistema contra descargas atmosféricas. Conforme a Figura 5.

Figura 5 – Pára-Raio Polimérico



Fonte: BALESTRO, 2019.

Chave seccionadora: segundo Manutenção e Suprimentos (2019), trata-se de um dispositivo capaz de seccionar/isolar um circuito elétrico ou partes deste, por uma estratégia de manobra de cargas ou proteção devido sobrecarga. Conforme a Figura 6.

Figura 6 – Chave Tripolar Tipo Faca



Fonte: SCHAK, 2019.

Isoladores: segundo Artech (2019), isola eletricamente os condutores nos ramais da rede elétrica. Conforme a Figura 7.

Figura 7 – Isolador diversos modelos



Fonte: PROF. CIDE BLOGSPOT, 2019

Transformador de potencial (TP): segundo Artech (2019), trata-se de um transformador utilizado em sistemas de medição de tensão elétrica. Conforme a Figura 8.

Figura 8 – Transformador de Potencial (TP) Diversos Modelos



Fonte: REHTOM ELETROMECAÂNICA, 2019

Transformador de corrente (TC): segundo Artech (2019), reduz a corrente nos circuitos de distribuição a valores compatíveis com os dispositivos de controle, comando e medição. Conforme a Figura 8.

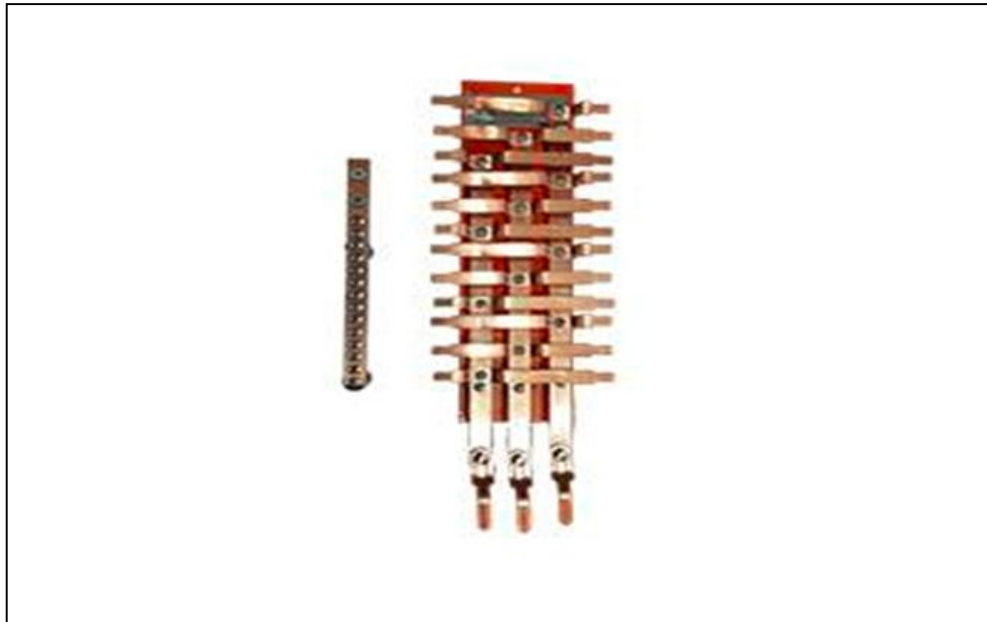
Figura 8 – Transformador de Corrente (TC) Diversos Modelos



Fonte: REHTOM ELETROMECAÂNICA, 2019.

Barramento: segundo Mceig (2019), condutor rígido utilizado nos quadros elétricos para a condução de corrente, normalmente em aço ou alumínio. Conforme a Figura 9.

Figura 9 – Barramento Rígido Trifásico



Fonte: MERKATHO, 2019

Transformador de potência a óleo: segundo WEG (2019), transformador utilizado na redução (ou aumento dos níveis de tensão) entre os terminais primário e secundário. Neste caso, o óleo isola eletricamente, impede descargas de energia e auxilia no resfriamento do equipamento, conforme a Figura 10.

Figura 10 – Transformador a Óleo 300 kV



Fonte: WEG, 2019

Malha de aterramento: segundo Paulino (s.d.), trata-se da estrutura responsável por estabelecer uma superfície equipotencial para uma instalação elétrica.

2.2.6 Indicadores de Manutenção na Indústria

Segundo Pinto (1999), aspectos tais como disponibilidade e confiabilidade devem ser estudados desde a fase de projeto da implementação do setor de manutenção numa indústria. Ou seja, existe, desde esta fase, a necessidade de criação de estratégias capazes de controlar e medir as ações do setor, sendo este conceito de fundamental importância para a eficiência dos equipamentos e do próprio setor, junto à produção. Logo, para a execução de tais estratégias, lança-se mão dos indicadores de desempenho, ou indicadores de manutenção.

Os principais indicadores utilizados na indústria, para o setor de manutenção, são os seguintes:

- Tempo Médio Entre Falhas (*Mean Time Between Failures* – MTBF)

Este indicador representa a frequência de intervenções num certo equipamento durante um tempo específico (MARTINS, 2012). A equação (1) é utilizada no cálculo do MTBF:

$$MTBF = \left(\frac{t_{TOTAL}}{N} \right) \quad (1)$$

Onde t_{TOTAL} = Soma das Horas de Trabalho em Bom Estado

Onde N = Quantidade de Intervenções

- Tempo Médio Para Reparo (*Mean Time To Repair* – MTTR)

O indicador MTTR pode ser definido como o tempo, de fato, gasto para o reparo do equipamento (KARDEC; NASCIF, 2001), ou ainda, como o tempo gasto para diagnosticar o defeito, organizar recursos, execução do trabalho de manutenção, teste e entrega do equipamento (MARTINS; LEITÃO, 2009). A equação (2) é utilizada no cálculo do MTTR:

$$MTTR = \left(\frac{T_{TOTAL}}{N} \right) \quad (2)$$

Onde T_{TOTAL} = Tempo Total Gasto em reparos

Onde N = Quantidade de Intervenções

- Disponibilidade

Trata-se de um indicador capaz de informar o quão eficiente é a capacidade do setor de manutenção de prover os equipamentos necessários para as atividades de produção, tomando como referência o caso das indústrias.

O indicador Disponibilidade é definido como a probabilidade de um determinado equipamento estar disponível para operar quando necessário (MARTINS; COELHO, 2012). A disponibilidade é dada pela Equação (3):

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \left(\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde *MTBF* e *MTTR* já foram definidos em (1) e (2)

- Confiabilidade

Tomando como referência a norma ABNT NBR – 5462, confiabilidade pode ser definida como a capacidade de um equipamento desempenhar uma função requerida sob condições específicas, num certo período. A confiabilidade pode ser mensurada através da Equação (4):

$$\text{Confiabilidade (\%)} = e^{-\lambda t} \quad (4)$$

$$\text{Onde } \lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (5), \text{ e } t \text{ é o tempo.}$$

- Custo Total de Manutenção de um Ativo versus Custos Totais Setor de Manutenção

Assim como os outros setores de uma indústria, a manutenção deve gerir seus recursos financeiros de modo ótimo, sendo assim, existem indicadores que auxiliam a monitorar, controlar e tomar ações de modo a garantir tal objetivo (SOUZA, 2007; VIANA, 2006).

O indicador Custo de Manutenção do Ativo x Custos Totais do Setor pode ser calculado pela Equação (6):

$$CATT (\%) = \left(\frac{CUSTO DE MANUTENÇÃO TOTAL DO ATIVO}{CUSTOS TOTAIS DE MANUTENÇÃO} \right) \times 100 \quad (6)$$

Onde o numerador e o denominador estão na mesma unidade monetária.

- Custo de Manutenção versus ERV (CPMR)

Outro indicador associado ao controle de custos no setor de manutenção é o CPMR, capaz de indicar os custos de manutenção de um dado ativo. Vale ressaltar ERV é uma sigla para *Estimated Replaced Value*, isto é, valor estimado de troca. Assim, o CPMR diz respeito ao quão conveniente, financeiramente, é manter um certo ativo. (SOUZA, 2007; VIANA, 2006). O indicador CPMR pode ser calculado pela Equação (7):

$$CPMR (\%) = \left(\frac{CUSTO DE MANUTENÇÃO TOTAL DO ATIVO}{VALOR DE AQUISIÇÃO DO ATIVO} \right) \times 100 \quad (7)$$

Onde o numerador e o denominador estão na mesma unidade monetária.

2.2.7 Gestão de Manutenção

A gestão de manutenção trata-se de um conjunto de estratégias com a finalidade de otimizar a utilização de recursos humanos e materiais pertinentes ao setor de manutenção.

Atualmente, fala-se numa gestão de manutenção mais sofisticada, de modo que o objetivo final é a satisfação do cliente com o produto fornecido, ou seja, busca-se um processo produtivo de qualidade e eficiência de modo a atingir esta meta (KARDEC; NASCIF, 2009).

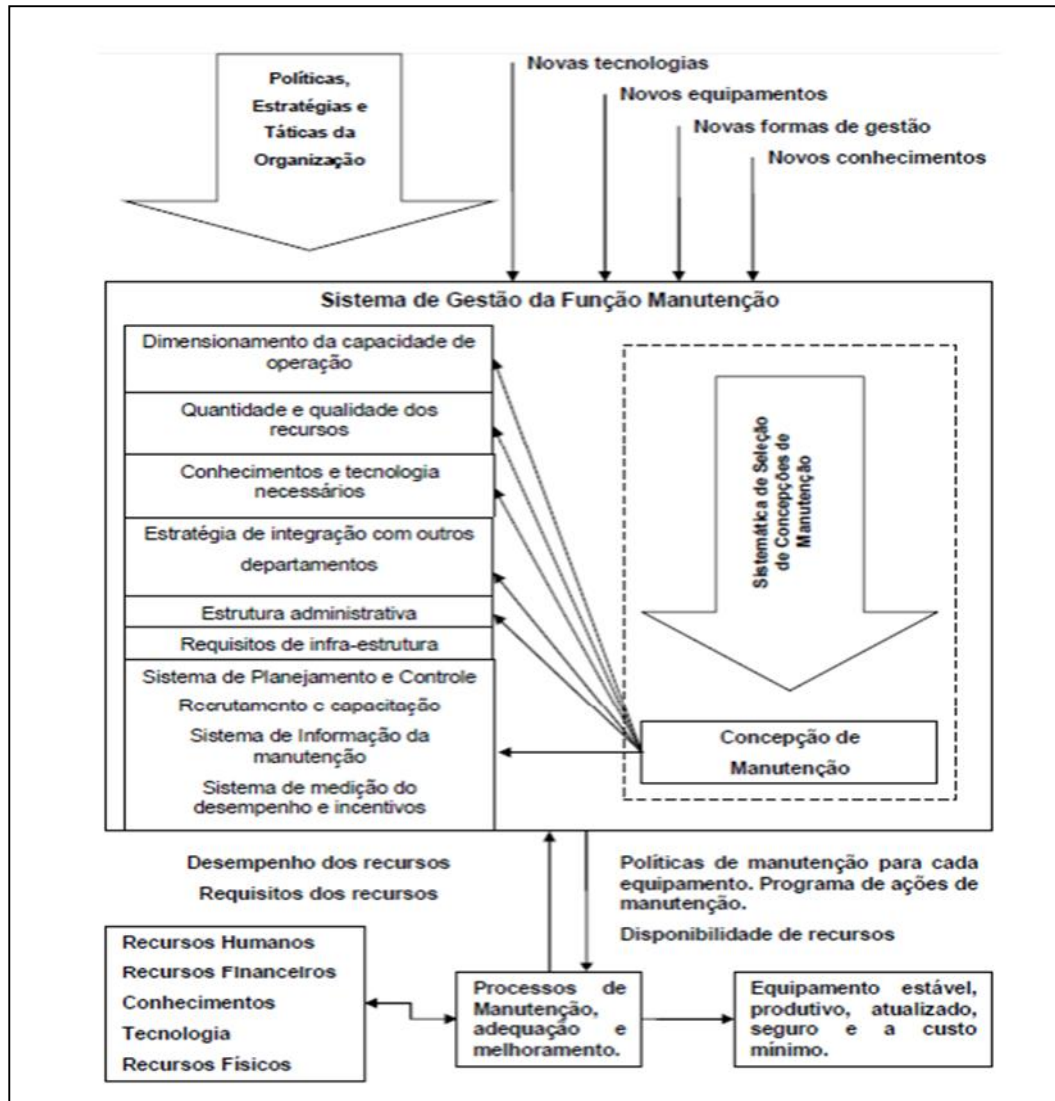
Numa perspectiva de gestão empresarial mais ampla, o desempenho do setor de manutenção tem papel cada vez mais relevante, pois impacta diretamente no desempenho dos outros setores, principalmente a produção. Nesse contexto, a gestão de manutenção trata de uma visão global do setor, onde o ponto de partida é cada ativo, cada colaborador, etc. Define-se então, ativos e gestão de ativos.

- Ativo: bem (equipamento, software) cuja aquisição representa um investimento.
- Gestão de ativos: Segundo a ISO 55000, gestão de ativos é a atividade coordenada de uma organização para agregar valor a um produto final a partir de um ativo.

Os estudos nessa área levaram ao desenvolvimento do conceito de *World Class Maintenance* – WCM, (YAMASHINA, 2009). Nesse sentido, a evolução dos processos de manutenção pode ser alcançada através de um conjunto de técnicas e ferramentas já

consolidadas: Indicadores de Desempenho (MTBF, MTTR, etc), TPM (*Total Productive Maintenance*), RCM (*Reliability Centered Maintenance*), dentre outros. A Figura 11 abaixo apresenta uma metodologia de gestão de Manutenção:

Figura 11 – Modelo de Sistema de Gestão de Manutenção



Fonte: Fuentes, 2006.

A partir da Figura 11 é possível perceber que impactam diretamente a função manutenção os seguintes pilares:

- Dimensionamento da capacidade de operação: desde a fase de concepção do sistema de manutenção é necessário determinar qual a capacidade operacional necessária para uma eficiente realização das atividades do setor de manutenção.
- Quantidade e qualidade dos recursos: determinação de quais recursos materiais

e humanos devem ser mobilizados para a execução das atividades do setor, atentando para a qualidade destes.

- Conhecimento e tecnologia necessários: mobilização das ferramentas técnicas necessárias para projetos e planejamento tecnológicos das atividades do setor.
- Estratégia de integração com outros departamentos: através da integração entre o setor de manutenção e os demais, o atendimento das demandas destes outros setores, por parte da manutenção, tende a ser mais eficaz e eficiente, e vice-versa.
- Estrutura administrativa: para planejar, organizar, dirigir e controlar é necessário definir uma equipe e um conjunto de estratégias que defina uma hierarquia e como esta equipe irá agir para atender as demandas do setor de manutenção.
- Requisitos de infra-estrutura: mobilização de um espaço físico onde sejam executadas as atividades administrativas e técnicas de manutenção, dentre outras. São exemplos de infra-estrutura: sala administrativa, oficinas, almoxarifado de manutenção, etc.
- Sistema de planejamento e controle: trata-se do planejamento e controle de manutenção, já descrito nos tópicos acima.
- Recrutamento e capacitação: para manter os níveis de competitividade e qualidade toda empresa deve manter um ciclo de reciclagem e capacitação de funcionários.
- Sistema de informação da manutenção: faz-se necessário definir uma metodologia de organização e monitoramento das atividades, ou seja, estruturar as informações do setor, tanto no formato físico como digital.
- Sistema de medição do desempenho e incentivos: trata-se dos indicadores de manutenção.

Deste modo tem-se então definida uma estrutura básica para implantação e funcionamento de um sistema de manutenção numa indústria.

3 METODOLOGIA

3.1 Introdução

Neste capítulo é abordada a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. A metodologia utilizada foi um estudo de caso da gestão de um ativo em específico numa indústria. O ativo considerado é a subestação de energia elétrica. Este trabalho apresenta ainda a implementação de indicadores de manutenção com o objetivo de otimizar o Planejamento e Controle de Manutenção e a Gestão de Manutenção deste ativo.

3.2 Inspeção Técnica da Subestação

As subestações aéreas de energia presentes na indústria considerada para o estudo de caso são os ativos cujo planejamento e controle de manutenção será discutido. Tratam-se de dois transformadores a óleo, um de 150 kVA e outro de 300 kVA. Para estas subestações, está previsto, de acordo com o software de gerenciamento de ordens de serviço, ENGEMAN, uma manutenção por ano.

Assim, anualmente são mobilizados os recursos necessários para a realização da manutenção. A manutenção envolve não apenas uma programação da indústria, pois devido a interface com a concessionária de distribuição faz-se necessário agendar junto à concessionária uma data exata para a parada de manutenção. Além disso, estão envolvidas nas atividades de manutenção uma equipe própria da indústria e uma equipe externa, de uma empresa privada responsável pelas inspeções, atividades de manutenção e emissão de um laudo técnico. A Ordem de serviço correspondente a manutenção preventiva da subestação consta no ANEXO A.

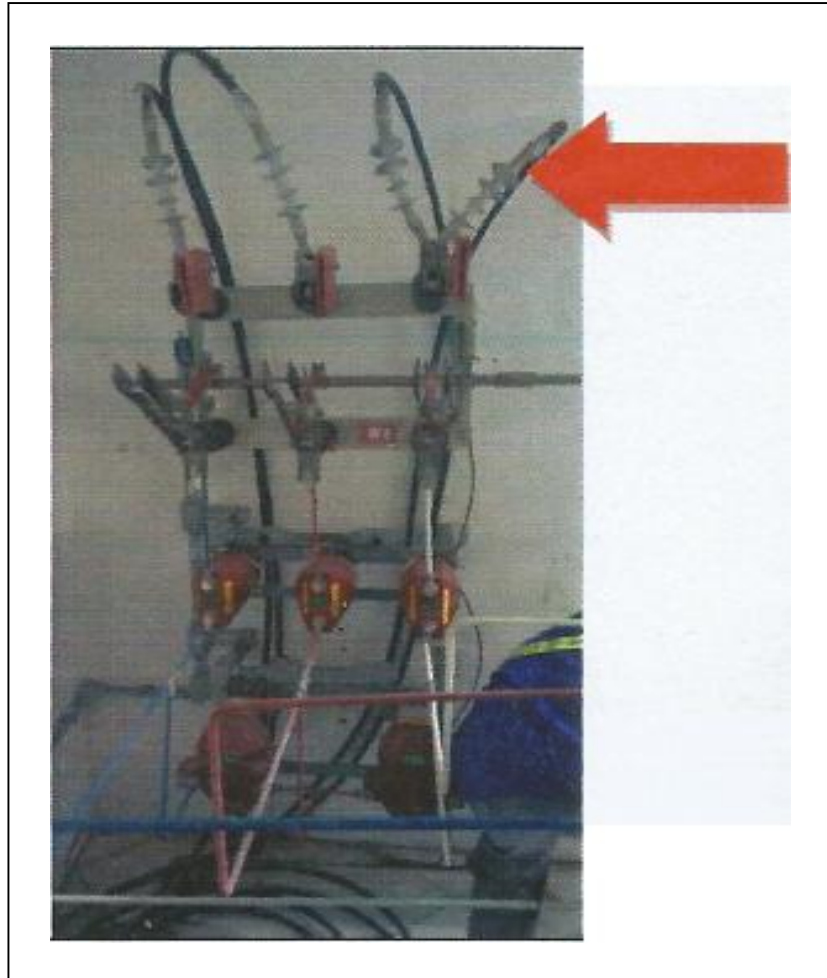
Estão inclusos nos procedimentos de manutenção de subestações aéreas e cubículos de proteção de baixa e média tensão os seguintes passos, todos com base nas normas e documentos técnicos apresentadas no item 2.2.4 do Capítulo 2, além do manual técnico de cada um dos equipamentos, quando se aplica:

- Muflas Externas (poste de medição) – Inspeção Visual e Substituição das muflas localizadas no poste de medição;
- Muflas Externas (poste de transformação) – Inspeção Visual e Limpeza;
- Muflas Internas (Chave Seccionadora) – Termografia e Substituição das quatro

muflas da chave seccionadora localizada no cubículo de proteção;

- Muflas Internas (Disjuntor de Média Tensão) – Termografia, Limpeza, Verificação da Fixação, Reaperto das Conexões, Tensionamento e Substituições, conforme a Figura 12;

Figura 12 – Registro da manutenção realizada nas muflas externas e internas



Fonte: Laudo de Inspeção Técnica Service Elétrica (2016) – ANEXO A.

- Cabos de Média 12/20 kV (entrada do cubículo de proteção) – Termografia e Substituição dos quatro cabos de média tensão entre o poste de medição e a chave seccionadora do cubículo de proteção;
- Cabos de Média 12/20 kV (saída do cubículo de proteção) – Termografia, Verificação de Presença de Óleo, Conexões e Tensionamento, conforme a Figura 13;

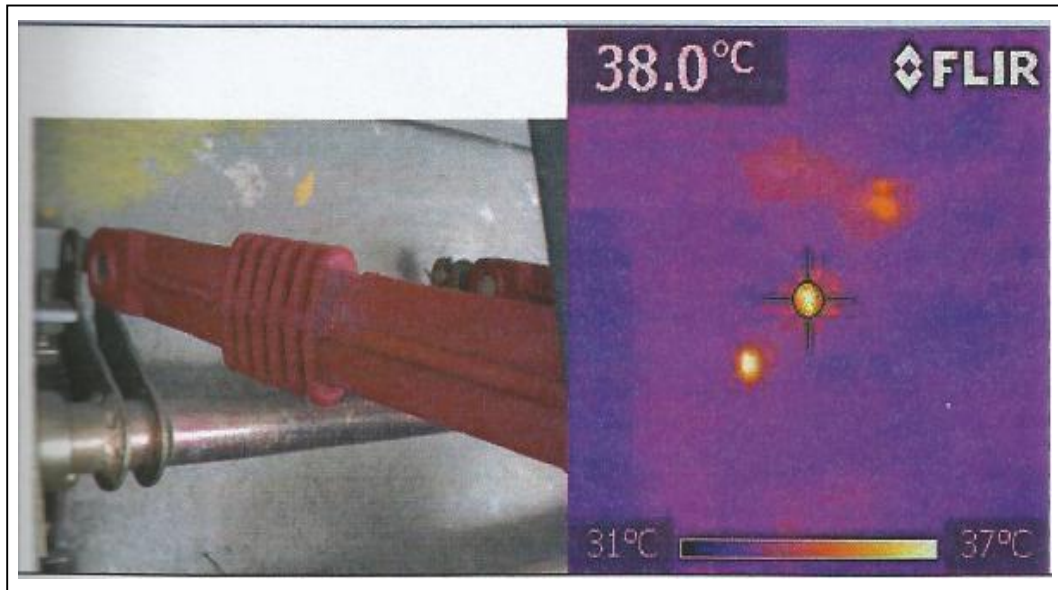
Figura 13 – Registro da manutenção realizada nos cabos de média tensão



Fonte: Laudo de Inspeção Técnica Service Elétrica (2016) – ANEXO A.

- Eletroduto de Proteção – Inspeção Visual do estado mecânico, calafetação da entrada e saída do tubo;
- Equipamentos do Cubículo de Proteção – Termografia e Verificação dos equipamentos, para-raios, chaves seccionadoras, isoladores, grades, etc.;
- Chave Seccionadora com carga do tipo faca – Termografia, Substituição da chave seccionadora, mecanismo de acionamento, travamento de acionamento, travamento de facas, isoladores, cordoalha de aterramento, parafusos, porcas e pinos, lubrificação, operação da seccionadora e micro switch de intertravamento, conforme a Figura 14;

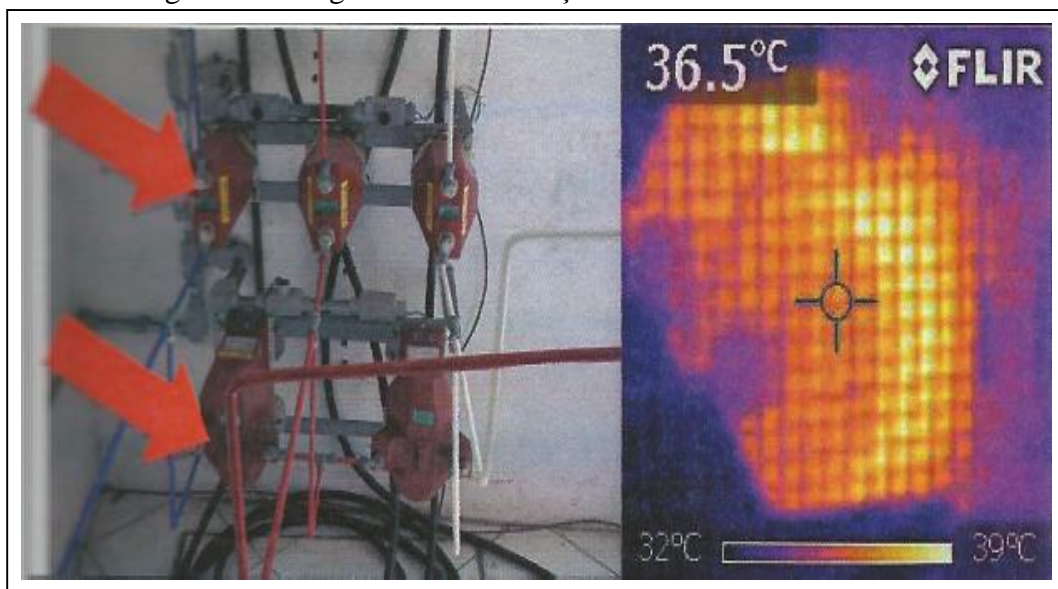
Figura 14 – Registro da manutenção realizada na chave seccionadora tipo faca



Fonte:

- Para-Raios – Limpeza, Verificação das Conexões, Trincas e Aterramento;
- Equipamentos Auxiliares de Proteção (TC's) – Termografia, Substituição dos três transformadores de corrente, inspeção das bases, isolação, conexões e aterramento;
- Equipamentos Auxiliares de Proteção (TP's) – Termografia, Limpeza, Inspeção das Bases, Isolação, Conexões e aterramento, conforme a Figura 15;

Figura 15 – Registro da manutenção realizada nos TP's e TC's



Fonte: Laudo de Inspeção Técnica Service Elétrica (2016) – ANEXO A.

- Barramentos – Termografia, Limpeza, Reaperto das Conexões;
- Disjuntor de Média Tensão – Termografia, Limpeza, Verificação das Buchas, Disparador Capacitivo, Relés, Tanque, Vazamentos, Motor, Manual, Guias, Articulações e Hastes, Contatos Fixos e Móveis, Trip Elétrico, Bobinas de Comando de Abertura e de Mínima;
- Transformador óleo 150 kV 13,8 kV x 380/220 V – Manutenção Preventiva e corretiva com filtragem de óleo, galvanização dos conectores, pintura da caixa, substituição das vedações, ensaio da resistência ôhmica dos enrolamentos, de isolamento, da relação de transformação, verificação do indicador do nível de óleo, verificação da ocorrência de vazamentos, reaperto da tampa, reaperto da conexão à terra, conforme a Figura 16;

Figura 16 – Registro da manutenção realizada no Transformador a óleo de 150 kVA



Fonte: Laudo de Inspeção Técnica Service Elétrica (2016) – ANEXO A.

- Transformador 300 kV 13,8 kV x 380/220 V – Manutenção Preventiva e corretiva com filtragem de óleo, galvanização dos conectores, pintura da caixa, substituição das vedações, ensaio da resistência ôhmica dos enrolamentos, de isolamento, da relação de transformação, verificação do indicador do nível de óleo, verificação da ocorrência de vazamentos, reaperto da tampa, reaperto da conexão à terra, conforme a Figura 17;

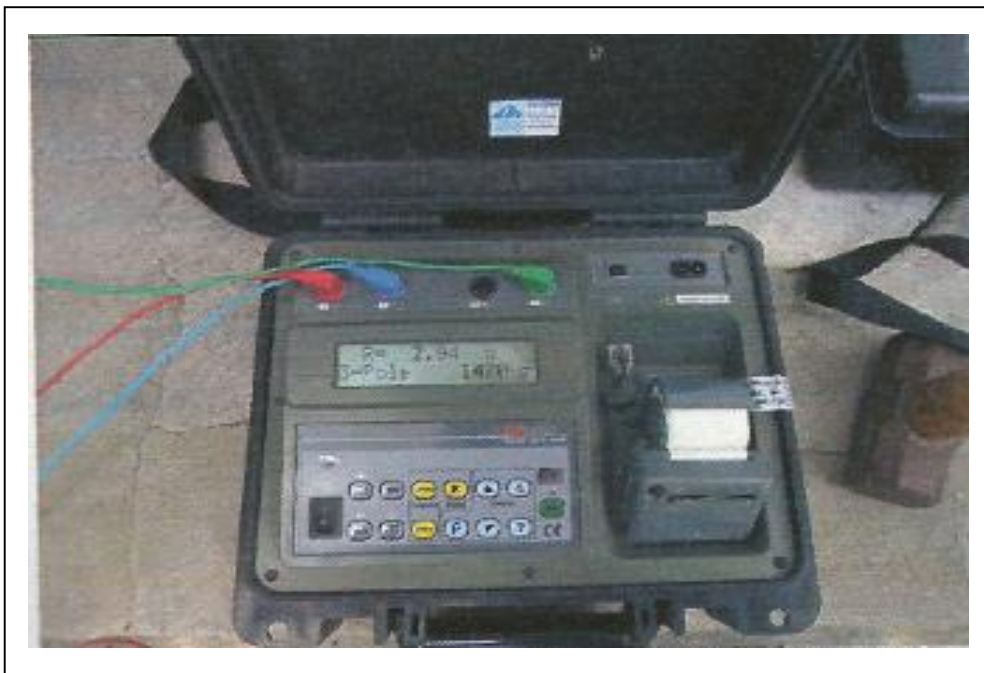
Figura 17 – Registro da manutenção realizada no Transformador a óleo de 300 kVA



Fonte: Laudo de Inspeção Técnica Service Elétrica (2016) – ANEXO A.

- Aterramento – Inspeção das conexões de todas as partes metálicas da cabine não condutoras, medição da resistência ôhmica da malha, conforme a Figura 18;

Figura 18 – Registro da inspeção realizada na malha de aterramento



Fonte: Laudo de Inspeção Técnica Service Elétrica (2016) – ANEXO A.

- Alvenaria – Inspeção visual referente a rachaduras, infiltrações e pintura, relatar

no orçamento de manutenção preventiva da cabine para a devida aprovação e a regularização no dia da parada para a manutenção programada;

- Suportes/Serralheria em geral – Limpeza geral, reaperto e eliminação dos pontos de oxidação;

Ainda de acordo com as normas citadas, as metodologias utilizadas para a realização das manutenções em subestações podem ser resumidas em: inspeção técnica do local, manutenção física do sistema (das estruturas) e os ensaios com parâmetros definidos por norma (parâmetros de termografia e da medição de resistência ôhmica da malha de aterramento). Compreendendo esses procedimentos torna-se mais viável interferir nas ações de manutenção a fim de implementar melhorias.

3.3 Indicadores de Manutenção Propostos

Conforme mencionado na introdução deste capítulo, traz-se neste trabalho a proposta de implementação de um conjunto de indicadores de manutenção para o ativo crítico considerado, no caso as subestações de energia elétrica, os transformadores de 150 kVA e 300 kVA e todo o conjunto de equipamentos de interface MT/BT. Para a execução de tal tarefa faz-se necessário definir um conjunto de estratégias, tais como coletar todos os dados relacionados com as atividades de manutenção deste ativo. Ou seja, tempos de manutenção, custo com manutenção preventiva, custos com manutenção corretiva, etc. Esses dados constam no setor de manutenção da indústria em consideração, na forma física e digital, isto é, Ordens de Serviço, Registros Digitais em planilha Excel e em software ENGEMAN, laudos, relatórios, contratos e notas fiscais.

Em posse desses dados é possível calcular e monitorar cada um dos indicadores propostos, de modo que seja possível obter um planejamento e controle de manutenção mais eficiente no gerenciamento da manutenção deste ativo. Vale ressaltar, o cálculo e monitoramento destes indicadores é feito através do software ENGEMAN, planilha digital Excel e quadro de indicadores presente no setor de manutenção. Para fins de demonstração do uso das equações, os cálculos serão detalhados no Capítulo 4.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Introdução

Neste capítulo é apresentada a implementação dos indicadores de manutenção propostos no trabalho. Vale ressaltar, foi feito um descritivo detalhado dos processos de manutenção da subestação nos capítulos anteriores de modo a tornar possível a compreensão de como deve funcionar o planejamento e controle de manutenção das subestações através destes indicadores.

4.2 Tempo Médio Entre Falhas – MTBF da Subestação

Este indicador foi descrito em 2.2.6, no capítulo 2, e diz respeito a frequência de intervenções num certo equipamento durante um tempo específico.

Quanto a implementação, e monitoramento deste indicador, tem-se no software ENGEMAN a possibilidade de gerar um valor para este indicador, desde que conste no banco de dados do software as informações de horas de trabalho em bom estado e quantidade de intervenções, que são informações obtidas a partir das ordens de serviço geradas e realizadas. No caso da indústria considerada, já existe no software ENGEMAN um plano de manutenção anual e um cadastro para as subestações de energia, porém, o indicador MTBF não é gerado nem monitorado no caso deste ativo. Deste modo, no monitoramento do MTBF a meta será obter valores cada vez maiores, pois o tempo entre falhas deve ser o maior possível.

Para os cálculos será utilizada uma base de dados que tem como referência os anos de 2015, 2016, 2017 e 2018. Vale ressaltar, não serão considerados os dados deste ano, 2019. A partir dos dados disponíveis no software ENGEMAN, obteve-se:

- Para o ano de 2015: intervenção para manutenção corretiva – 2; intervenção para manutenção preventiva anual – 2; soma das horas de trabalho em bom estado – 8736 horas, conforme: Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22:

Figura 19 – Ordem de serviço manutenção corretiva 001501

[-] 05	O.S.: 001501
.....	Data Programada: 19/02/2015
.....	Setor Executante: 05 - MANUTENÇÃO ELÉTRICA
.....	Plano:
.....	Equipamento: SUB1.FABR.001 - SUB-ESTAÇÃO 150KVA / 300KVA
.....	Tipo de Manutenção: 01 - CORRETIVA NÃO PLANEJADA

Fonte: Engeman.

Figura 20 – Ordem de serviço manutenção corretiva 001502

[-] 05	O.S.: 001502
.....	Data Programada: 16/02/2015
.....	Setor Executante: 05 - MANUTENÇÃO ELÉTRICA
.....	Plano:
.....	Equipamento: SUB1.FABR.001 - SUB-ESTAÇÃO 150KVA / 300KVA
.....	Tipo de Manutenção: 01 - CORRETIVA NÃO PLANEJADA

Fonte: Engeman.

Figura 21 – Ordem de serviço manutenção preventiva 540287

[-] 05	O.S.: 540287
.....	Data Programada: 07/02/2015
.....	Setor Executante: 02 - MANUTENÇÃO TERCEIRIZADA
.....	Plano: SUBE.001 - SUB-ESTAÇÃO 150KVA / 300KVA (ANUAL)
.....	Equipamento: SUB1.FABR.001 - SUB-ESTAÇÃO 150KVA / 300KVA
.....	Tipo de Manutenção: 21 - PREVENTIVA ANUAL

Fonte: Engeman.

Figura 22 – Ordem de serviço manutenção preventiva 540288

[-] 05	O.S.: 540288
.....	Data Programada: 23/12/2015
.....	Setor Executante: 02 - MANUTENÇÃO TERCEIRIZADA
.....	Plano: SUBE.001 - SUB-ESTAÇÃO 150KVA / 300KVA (ANUAL)
.....	Equipamento: SUB1.FABR.001 - SUB-ESTAÇÃO 150KVA / 300KVA
.....	Tipo de Manutenção: 21 - PREVENTIVA ANUAL

Fonte: Engeman.

Logo, o MTBF para 2015 é:

$$MTBF = \frac{8736}{4} = 2184.$$

- Para o ano de 2016: intervenção para manutenção corretiva – 0 (zero) registros; intervenção para manutenção preventiva anual – 1; soma das horas de trabalho em bom estado – 8736 horas. Para a manutenção preventiva deste ano não há registros no software, porém, existe um laudo técnico (ANEXO B) que atesta a realização desta manutenção.

Logo, o MTBF para 2016 é:

$$MTBF = \frac{8736}{1} = 8736.$$

- Para o ano de 2017: intervenção para manutenção corretiva – 1; intervenção para manutenção preventiva anual – 1; soma das horas de trabalho em bom estado – 8747 horas (soma das horas de manutenção), conforme: Figura 22, Figura 23.

Figura 23 – Ordem de serviço manutenção corretiva 542114

```

[05] O.S.: 542114
.....
Data Programada: 12/04/2017
Setor Executante: 05 - MANUTENÇÃO ELÉTRICA
Plano:
Equipamento: SUB1.FABR.001 - SUB-ESTAÇÃO 150KVA / 300KVA
Tipo de Manutenção: 01 - CORRETIVA NÃO PLANEJADA
  
```

Fonte: Engeman.

Figura 24 – Ordem de serviço manutenção preventiva 546273

```

[05] O.S.: 542114
.....
Data Programada: 12/04/2017
Setor Executante: 05 - MANUTENÇÃO ELÉTRICA
Plano:
Equipamento: SUB1.FABR.001 - SUB-ESTAÇÃO 150KVA / 300KVA
Tipo de Manutenção: 01 - CORRETIVA NÃO PLANEJADA
  
```

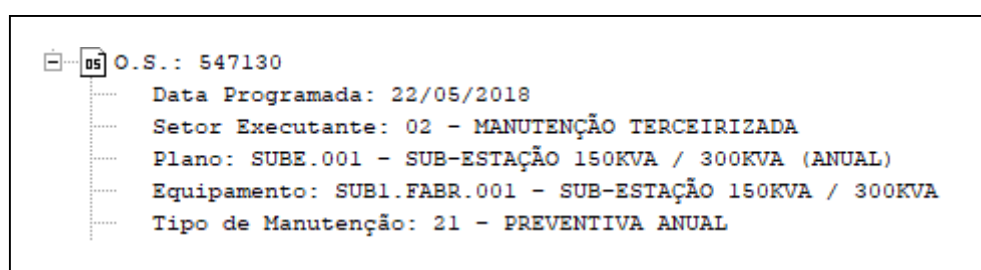
Fonte: Engeman.

Logo, o MTBF para 2017 é:

$$MTBF = \frac{8747}{2} = 4373,5.$$

- Para o ano de 2018: quantidade de corretivas não planejadas – 0 (zero registros); intervenção para manutenção preventiva anual – 1; soma das horas de trabalho em bom estado – 8759 horas, conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Figura 25 – Ordem de serviço manutenção preventiva 547130



Fonte: Engeman.

Logo, o MTBF para 2018 é:

$$MTBF = \frac{8759}{1} = 8759.$$

No monitoramento deste indicador, conforme mencionado anteriormente, a estratégia será atingir valores de MTBF maiores ou iguais a meta. A meta para este indicador será a média aritmética dos valores obtidos para o período de referência, ou seja, 6000. Após a implementação a tendência é elevar este valor de meta. A tabela resume os valores calculados.

Tabela 1 – MTBF

ANO	MTBF
2015	2148
2016	8736
2017	4373,5
2018	8759
MÉDIA	6004,13
META	6000

Fonte: Elaboração próprio autor.

4.3 Tempo Médio Para Reparo – MTTR da Subestação

O indicador MTTR foi descrito no item 2.2.6 do capítulo 2, e representa a frequência de intervenções num certo equipamento durante um tempo específico.

Quanto a implementação e monitoramento deste indicador, a estratégia é semelhante à adotada para o indicador MTBF, ou seja, deve-se utilizar o software ENGEMAN. No caso do MTTR a meta é obter valores cada vez menores, pois significa que as manutenções são breves, permitindo maior tempo de disponibilidade do ativo, no caso a subestação. Vale ressaltar, devido a elevada periodicidade da manutenção preventiva deste ativo, não serão contabilizadas as horas e paradas em manutenções preventivas.

- Para o ano de 2015: quantidade de manutenções corretivas não planejadas – 2; soma das horas de reparo – 20,9 horas (corresponde a soma das horas de trabalho dos técnicos para as duas OS corretivas), conforme: **Erro! Fonte de referência não encontrada., Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Figura 16 – Registro de Tempos Ordem de serviço 001501

Engeman EAM-CMMS [M - 7.4.0.1] - [Ordem de Serviço]

Arquivo | Tabelas | Cadastros | Processos | Janelas | Ajuda

Filial: 1 - MATRIZ

Reduzido: 56906 • O.S.: 001501 | 001501 | Situação: Real | Data Programada: 19/02/2015

Cadastro | Observações | Encerramento | Calibração | Paradas Adicionais | Anexos | Assinaturas Digitais (Palm Top) | Indicadores de Desempenho (KPI)

Equipamento Parou (Data Hora): 19/02/2015 4:00:00 AM | Equipamento Funcionou: 19/02/2015 6:15:00 PM

Tempo de Parada: 14:15:00 hs | Tempo Parada Efetivo: 00:00:00 hs

Tempo Total Paradas Adicionais: 00:00:00 hs | Total Tempo P. Efetivo: 00:00:00 hs

Data do Recebimento: | Recebido por: 502198 - GUILHERME MENEZES

Interferência Real (HS): 14,25 | % Interf. Real: 100 | Produto: |

Motivo do Atraso: |

Cód.	Reg.	Func.	Previsto/Real	Funcionário	Data e Hora Início	Data e Hora Término	% Hora Extra	Valor Hora	Valor Total	Horas(hh:mm)	Horas Num
41192	R			502198 - GUILHERME MENEZES	19/02/2015 6:20:00 AM	19/02/2015 6:15:00 PM		0,00	R\$ 0,00	11:55:00	11,917

Fonte: Engeman.

Figura 2 – Registro de Tempos Ordem de serviço 001501

Engeman EAM-CMMS [M - 7.4.0.1] - [Ordem de Serviço]

Arquivo Tabelas Cadastros Processos Janelas Ajuda

Filial 1 - MATRIZ

Reduzido: 56907 * O.S. 001502 001502 Situação Real Data Programada 16/02/2015

Cadastro Observações Encerramento Calibração Paradas Adicionais Anexos Assinaturas Digitais (Palm Top) Indicadores de Desempenho (KPI)

Equipamento Parou (Data Hora) 16/02/2015 4:00:00 AM Equipamento Funcionou 16/02/2015 5:00:00 PM

Tempo de Parada 13:00:00 hs Tempo Parada Efetivo 00:00:00 hs

Tempo Total Paradas Adicionais 00:00:00 hs Total Tempo P. Efetivo 00:00:00 hs

Data do Recebimento Recebido por

Interferência Real (HS) 13,00 % Interf. Real 100 Produto

Motivo do Atraso

Cód.	Reg. Func.	Previsto/Real	Funcionário	Data e Hora Início	Data e Hora Término	% Hora Extra	Valor Hora	Valor Total	Horas(hh:mm)	Horas Num
41193	R			16/02/2015 8:00:00 AM	16/02/2015 5:00:00 PM		0,00	R\$ 0,00	09:00:00	9,000
41134	R			16/02/2015 8:00:00 AM	16/02/2015 5:00:00 PM		0,00	R\$ 0,00	09:00:00	9,000

Fonte: Engeman.

Logo, o MTTR para 2015 é:

$$MTTR = \frac{20,9}{2} = 10,45.$$

- Para o ano de 2016: quantidade de corretivas não planejadas – 0 (zero registros); soma das horas de reparo – 0 (zero) horas de manutenção corretiva.

Logo, o MTTR para 2016 é:

$$MTTR = \frac{0}{N} = 0$$

- Para o ano de 2017: quantidade de corretivas não planejadas – 1; soma das horas de reparo – 3 horas, conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Figura 28 – Registro de Tempos Ordem de serviço 001502

Engeman EAM-CMMS [M - 7.4.0.1] - [Ordem de Serviço]

Arquivo Tabelas Cadastros Processos Janelas Ajuda

Filial: 1 - MATRIZ

Reduzido: 62995 * O.S. 542114 542114 Situação: Real Data Programada: 12/04/2017

Cadastro Observações Encerramento Calibração Paradas Adicionais Anexos Assinaturas Digitais (Palm Top) Indicadores de Desempenho (KPI)

Equipamento Parou (Data Hora): 12/04/2017 4:30:00 PM Equipamento Funcionou: 12/04/2017 7:30:00 PM

Tempo de Parada: 03:00:00 hs Tempo Parada Efetivo: 00:00:00 hs

Tempo Total Paradas Adicionais: 00:00:00 hs Total Tempo P. Efetivo: 00:00:00 hs

Data do Recebimento: Recebido por:

Interferência Real (HS): % Interf. Real: Produto:

Motivo do Atraso:

Cód.	Reg.	Func.	Previsto/Real	Funcionário	Data e Hora Início	Data e Hora Término	% Hora Extra	Valor Hora	Valor Total	Horas(hh:mm)	Horas Num
	45005	R			12/04/2017 4:30:00 PM	12/04/2017 7:30:00 PM		0,00	R\$ 0,00	03:00:00	3,000

Fonte: Engeman.

Logo, o MTTR para 2017 é:

$$MTTR = \frac{3}{1} = 3.$$

- Para o ano de 2018: quantidade de corretivas não planejadas – 0 (zero registros); soma das horas de reparo – 0 (zero) horas de manutenção corretiva.

Logo, o MTTR para 2018 é:

$$MTTR = \frac{0}{N} = 0$$

No monitoramento do indicador MTTR, sabendo que quanto menor o valor deste indicador mais eficiente as ações de manutenção, a estratégia adotada será obter valores de MTTR menores ou igual ao valor da meta. A meta para este indicador será a média aritmética dos valores obtidos para o período de referência, ou seja – 3,36. Deste modo, os valores de MTTR deverão ser menores ou iguais a este. A tabela 2 resume os valores calculados.

Tabela 2 – MTTR

ANO	MTTR
2015	10,45
2016	0
2017	3
2018	0
MÉDIA	3,36
META	3,36

Fonte: Elaboração próprio autor.

4.4 Disponibilidade da Subestação

Este indicador informa o quão eficiente é a capacidade da equipe de manutenção de garantir que a subestação está disponível para toda a fábrica, desde a produção até o administrativo. As equações para o cálculo da disponibilidade são descritas no Capítulo 2.

- Para o ano de 2015: MTBF – 2184; MTTR – 10,45.

Logo, a Disponibilidade para 2015 é:

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{2184}{2184 + 10,45} \times 100 = 99,52\%.$$

- Para o ano de 2016: MTBF – 8736; MTTR – 0.

Logo, a Disponibilidade para 2016 é:

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{8736}{8736 + 0} \times 100 = 100\%.$$

- Para o ano de 2017: MTBF – 4373,5; MTTR – 3;

Logo, a Disponibilidade para 2017 é:

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{4373,5}{4373,5 + 3} \times 100 = 99,93\%.$$

- Para o ano de 2018: MTBF – 8759; MTTR – 0;

Logo, a Disponibilidade para 2018 é:

$$Disponibilidade (\%) = \frac{8759}{8759 + 0} \times 100 = 100\%.$$

No caso do indicador de disponibilidade, quanto maior a disponibilidade, conclui-se que mais eficiente tem sido as ações do setor de manutenção em manter os equipamentos disponíveis para operar. Assim, tomando como experiência a implementação do indicador de disponibilidade para outros equipamentos na mesma indústria de referência, será adotado o maior valor calculado diferente de 100%. Após a implementação, este valor de meta poderá ser alterado, sendo a tendência elevá-lo. Logo, é coerente adotar, na implementação, uma meta de disponibilidade de 99%. A tabela 3 resume os valores calculados.

Tabela 3 – Disponibilidade

ANO	DISPONIBILIDADE
2015	99,52%
2016	100%
2017	99,93%
2018	100%
MÉDIA	99,86%
META	99,00%

Fonte: Elaboração próprio autor.

4.5 Confiabilidade da Subestação

A confiabilidade é um indicador que mensura a capacidade de um equipamento desempenhar uma função requerida sob condições específicas. A equação para o cálculo da confiabilidade é apresentada no Capítulo 2.

- Para o ano de 2015: MTBF – 2184; t – 365 dias (1 ano);

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{2184} = 4,6 * 10^{-4}.$$

$$Confiabilidade (\%) = e^{-0,00046 * 365} \times 100 = 84,54\%.$$

Ou seja, para os 365 dias seguintes, logo após o término de 2015, a probabilidade da subestação operar em boas condições foi de 84,54%.

- Para o ano de 2016: MTBF – 8736; t – 365 dias (1 ano);

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{8736} = 1,14 * 10^{-4}.$$

$$\text{Confiabilidade (\%)} = e^{-0,000114 * 365} * 100 = 95,92\%.$$

Ou seja, para os 365 dias seguintes, logo após o término de 2016, a probabilidade da subestação operar em boas condições foi de 95,92%.

- Para o ano de 2017: MTBF – 4373,5; t – 365 dias (1 ano);

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{4373,5} = 2,29 * 10^{-4}.$$

$$\text{Confiabilidade (\%)} = e^{-0,000229 * 365} * 100 = 91,98\%.$$

Ou seja, para os 365 dias seguintes, logo após o término de 2017, a probabilidade da subestação operar em boas condições foi de 91,98%.

- Para o ano de 2018: MTBF – 8759; t – 365 dias (1 ano);

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{8759} = 1,14 * 10^{-4}.$$

$$\text{Confiabilidade (\%)} = e^{-0,000114 * 365} * 100 = 95,92\%.$$

Ou seja, para os 365 dias seguintes, a probabilidade da subestação operar em boas condições é de 95,92%.

Para o indicador de confiabilidade, sabendo que quanto maior a porcentagem obtida maior a confiabilidade e, portanto, mais provável que a subestação opere em boas condições, adota-se como meta uma média aritmética dos valores obtidos e a confiabilidade deverá ser maior ou igual a esse valor. Ou seja, adota-se o valor de 92% como meta, de modo que as ações de manutenção devem garantir uma disponibilidade maior ou igual. A tabela 4 resume os valores calculados.

Tabela 4 – Confiabilidade

ANO	CONFIABILIDADE
2015	84,54%
2016	95,92%
2017	91,98%
2018	95,92%
MÉDIA	92,09%
META	92,00%

Fonte: Elaboração próprio autor.

4.6 Custo de Manutenção da Subestação versus Valor de Aquisição do Ativo – CPMR

O Indicador CPMR associa os valores custo de manutenção da subestação com o valor de instalação de uma subestação completamente nova, deste modo é possível estimar se convém ou não manter o ativo nas condições em que se encontra. A equação para o cálculo deste indicador é apresentada no Capítulo 2.

Para este indicador serão considerados os custos de manutenção dos anos de 2016, 2017 e 2016, disponíveis na empresa em questão na forma de documentos (contratos) e notas fiscais.

- Para o ano de 2016:

Custo total de manutenção do ativo – R\$ 6500,00 (com base na ART emitida para o serviço de manutenção terceirizada).

Valor de aquisição do ativo: Transformador a óleo 150 kVA (R\$ 7500,00) – fabricantes de referência: WEG, CEMEC, Refortrafo Transformadores, Siemtrafo; Transformador a óleo 300 kVA (R\$ 15000,00) – fabricantes de referência: WEG, CEMEC, Refortrafo Transformadores, Siemtrafo; Disjuntor de média tensão (R\$ 45000,00) – fabricante de referência: Schneider Electric; Chave seccionadora alta tensão (R\$ 1750,00) – fabricante de referência: Senner; Conjunto de equipamentos do cubículo de média, quadros elétricos, tp, tc, muflas, (R\$ 5800) – fornecedores: Schneider, Siemtrafo, Te Connectivity.

Vale ressaltar, os valores de aquisição foram coletados no ano atual, 2019. Para o cálculo do CPMR ano de referência 2016 foi feita a correção do valor do serviço do ano de 2016 para o ano atual, 2019. Deste modo, o valor do serviço em 2019, de acordo com a correção

de preços pelo INPC disponível no site do Banco Central do Brasil, é de R\$ 7472,30.

$$CPMR (\%) = \frac{R\$ 7472,30}{R\$ 75050,00} \times 100 = 9,96\%.$$

- Para o ano de 2017:

Custo total de manutenção do ativo – R\$ 6800,00 (com base na ART emitida para o serviço de manutenção terceirizada); Custo do serviço corrigido para 2019 – R\$ 7562,49; Custo total de aquisição – R\$ 75050,00.

$$CPMR (\%) = \frac{R\$ 7562,49}{R\$ 75050,00} \times 100 = 10,08\%.$$

- Para o ano de 2018:

Custo total de manutenção do ativo – R\$ 6700,00 (com base na ART emitida para o serviço de manutenção terceirizada); Custo do serviço corrigido para 2019 – R\$ 7312,68; Custo total de aquisição – R\$ 75050,00.

$$CPMR (\%) = \frac{R\$ 7312,68}{R\$ 75050,00} \times 100 = 9,74\%.$$

Assim, em posse destes valores, é possível definir uma estratégia de monitoramento. Sabendo que quanto menor o valor do indicador CPMR, mais vantajoso manter os equipamentos e vice-versa, conclusão obtida por interpretação da equação.

No monitoramento deste indicador será adotado como referência uma média aritmética dos valores obtidos, ou seja, a meta será atingir um CPMR menor ou igual a 9,93%. À medida que os equipamentos se deterioram, a tendência é um encarecimento da manutenção, entretanto, o CPMR deve ser mantido ou reduzido, sendo o foco a otimização do ciclo de vida dos equipamentos.

Assim, na implementação destes indicadores, o monitoramento permite desenvolver uma perspectiva mais completa da eficiência da manutenção da subestação, além disso, estes indicadores podem ser utilizados no apoio a tomada de decisões com base em dados. Isto é, os indicadores permitem uma visão analítica de como a manutenção da subestação ocorre.

A tabela 5 resume os valores calculados. A partir desta tabela, torna-se possível controlar o indicador CPMR, isto é, para o cálculo de CPMR no ano de 2019 e nos anos seguintes, se o valor, a cada ano, obtido for menor que a meta, deverá ser gerado um plano de ação para garantir que a meta seja atingida na próxima medição.

Tabela 5 – CPMR

ANO	CPMR
2016	9,96%
2017	10,08%
2018	9,74%
MÉDIA	9,93%
META	9,93%

Fonte: Elaboração próprio autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Este trabalho abordou diversos aspectos relacionados a manutenção industrial, isto é, planejamento e controle de manutenção, gestão de manutenção, indicadores de manutenção, procedimentos de manutenção, ordens de serviço, tipos de manutenção, recursos materiais e humanos na manutenção, dentre outros.

Foram revisados diversos conceitos, tanto pertinentes a área de conhecimento manutenção, quanto a instrumentação e equipamentos industriais. Nessa abordagem detalhada dos instrumentos, equipamentos e procedimentos de manutenção elétrica industrial foi possível detalhar como funciona o processo de manutenção elétrica numa subestação elétrica industrial. Além disso foi possível esclarecer quais os principais indicadores de manutenção existentes hoje na indústria e qual a utilidade de cada um destes.

Buscou-se validar a implementação dos indicadores de manutenção através do cálculo do valor de cada indicador para os anos anteriores com base no banco de dados disponível e com o auxílio do software ENGEMAN. Observou-se, em determinado momento, que para o cálculo de alguns indicadores, MTBF, MTTR, Custo de Manutenção versus Custo de Aquisição, a base de dados não era tão ampla, ainda assim, com a base de dados disponível obteve-se valores factíveis. Foi possível, assim, definir metas e uma estratégia de monitoramento para os valores desses indicadores que serão obidos a partir de então. Em posse desta metodologia os responsáveis pelo planejamento e controle de manutenção da indústria considerada deverão acompanhar os indicadores e realizar adequações às metas quando necessário.

Considera-se, portanto, que foram alcançados os objetivos, isto é, definir os indicadores a serem monitorados, mobilizar uma base de dados, uma estratégia de monitoramento e metas para cada indicador.

Deste modo, com a implementação em andamento os indicadores podem ser usados na divulgação dos resultados da gestão de manutenção para a planta, além de poderem ser utilizados na tomada de decisões.

5.2 Trabalhos Futuros

Considerando os resultados obtidos com o trabalho e as dificuldades encontradas, sugere-se um estudo mais aprofundado capaz de mapear quais estratégias podem ser implementadas para melhorar os resultados de cada indicador, ou seja, definir estratégias que otimizam estes indicadores. Ou seja, uma modelagem matemática através de funções estatísticas.

O desenvolvimento de um trabalho com uma abordagem de manutenção centrada em confiabilidade para as subestações também é uma possibilidade a ser explorada, a partir do indicador confiabilidade, já implementado.

REFERÊNCIAS

- ARTECHE. Disponível em: <https://www.artech.com/pt>. Acesso em: 10 jun. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR. 14039:** Instalações elétricas de média tensão de 1, 0 kV a 36.2 kV. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR. 15424:** Ensaios não destrutivos – Termografia – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR. 15572:** Ensaios não destrutivos – Termografia – Terminologia – Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR. 5356-1:** Transformadores de Potência-Parte 1: Generalidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR. 5410:** Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR. 5419:** Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR. 5462:** Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BALESTRO. **Pára-raios de Óxido de Zinco Polimérico.** Disponível em: <http://www.balestro.com.br/2014/08/27/para-raios/>. Acesso em: 09 jun. 2019.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2004. Disponível em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-10.pdf. Acesso em: 09 jun. 2019.
- CASTELLA, Marco César. **Análise crítica da área de manutenção em uma empresa brasileira de geração de energia elétrica.** 2001. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- DORIGO, Júlio Nascif Luiz Carlos. **Manutenção orientada para resultados.** Rio de Janeiro: Qualymark, 2010.
- FERNANDES, M. A. Melhoria da disponibilidade dos equipamentos e redução dos custos de manutenção. **Revista ABREME**, São Paulo, v.3, n. 27, p.4-10, 2003.
- KARDEC, Alan Pinto; NASCIF, Júlio de Aquino Xavier. **Manutenção: Função Estratégica,** Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2001.
- KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio. **Manutenção-função estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2009.

KRONA. **Tubos e Conexões**. Disponível em: <https://www.krona.com.br/>. Acesso em: 10 jun. 2019.

MANUTENÇÃO E SUPRIMENTOS. Disponível em: <https://www.manutencao.esuprimentos.com.br/categoria/empresas/>. Acesso em: 20 jun. 2019.

MARTINS, Fernanda Genova; COELHO, Leandro dos Santos. Aplicação do método de análise hierárquica do processo para o planejamento de ordens de manutenção em dutovias. **Revista GEPROS**, n.1, p.65, 2012.

MARTINS, Maria Prudência; LEITÃO, Armando. Predição de falhas no apoio à tomada da decisão em gestão da manutenção. *In: 5ª Conferência de Engenharia " Engª 2009 - Inovação e Desenvolvimento"*. Universidade da Beira Interior, 2009.

MERKATHO. **Materiais Elétricos**. Disponível em: <https://www.merkatho.com.br/>. Acesso em: 20 jun. 2019.

MCEIG - Empresa de Painéis elétricos. Disponível em: <https://www.mceig.com.br/>. Acesso em: 20 jun. 2019.

MD POLICABOS. **Muflas e Terminais e Terminal Mufla Para cabos de energia de média e alta tensão**. Disponível em: <https://www.mdpolicabos.com/muflas-e-terminais-e-terminal-mufla/>. Acesso em: 09 jun. 2019.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**. 2. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

MUASSAB, J. R. **Gerenciamento de Manutenção na Indústria Automobilística**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia). 2002. 110f. Universidade de Taubaté, São Paulo, 2002.

OMS Engenharia. **Mufla elétrica: o que é e quando a substituir?**. Disponível em: <https://omsengenharia.com.br/noticias/mufla-eletrica/>. Acesso em: 09 jun. 2019.

PASQUA, M.C. **Desenvolvimento de uma sistemática para padronização e gerenciamento da programação da manutenção de equipamentos e instalações a partir dos conceitos da qualidade**. 1999. 110f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 1999.

PATTON JR, Joseph D. **Preventive Maintenance**. New York: Instrument Society of America, PrenticeHall, Inc., Englewood Cliffs, Sew Jersey, 1983.

PAULINO, José Osvaldo S. **Conceitos básicos sobre aterramentos: Estudo Técnico 2: Aterramento de cercas e currais**. Disponível em: <http://www.joinville.ifsc.edu.br/~luis.nodari/Aterramento%20elétrico/FSR04Aterramento.pdf> . Acesso em: 10 jun. 2019.

PEREIRA, Roberto M.; SPRITZER, Ilda M. D. P. A. Automação e digitalização em subestações de energia elétrica: um estudo de caso. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 3, n. 4, p. 147-160, 2007.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nassif. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

PINTO, Carlos Varela. **Organização e Gestão da Manutenção**. [s.l.]: Monitor, 1999.

RAMOS FILHO, A. **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade – MCC**. Programa de Atualização Técnica 2008 – Sistema FIRJAN - SESI/SENAI – Rio de Janeiro [On line]. Disponível em: <http://manutencao.net/v2/uploads/article/file/Artigo24AGO2008.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2019.

REHTOM. **Transformadores de Potencial e Corrente**. Disponível em: <http://www.rehtom.com.br/>. Acesso em: 10 jun. 2019.

SCHAK. **Chave Seccionadora**. Disponível em: http://schak.com.br/?product_cat=chave-seccionadora-media-tensao. Acesso em: 09 jun. 2019.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Manual e Catálogo do Eletricista**. 2009. Disponível em: <https://www.se.com/br/pt/faqs/FA324532/>. Acesso em: 20 jun. 2019.

SELEÇÃO ENGENHARIA. Disponível em: <https://www.selecaoengenharia.com.br/>. Disponível em: 10 jun. 2019.

SLACK, Nigel *et al.* **Administração da produção** – Edição compacta. São Paulo: Atlas, 1999.

SOUZA, Valdir Cardoso de. **Organização e gerência da manutenção: planejamento, programação e controle da manutenção**. 2. ed. São Paulo: All Print Editora, 2007.

SUDKET, Navapol; CHAITUSANEY, Surachai. Optimization of substation equipment maintenance by considering equipment deterioration. *In: International Electrical Engineering Congress*. IEEECON, 2014.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM-Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

WEG. **Dispositivo Diferencial Residual (DR) WEG garante mais segurança nas instalações elétricas**. Disponível em: <https://www.weg.net/institutional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/dispositivo-diferencial-residual-dr-weg-garante-mais-seguranca-nas-instalacoes-eletricas>. Acesso em: 20 jun. 2019.

YAMASHINA, H. **World class manufacturing: Métodos e instrumentos**. Material interno de aplicação WCM da empresa em estudo, 2009.

ANEXO A – OS MANUTENÇÃO PREVENTIVA SUBESTAÇÃO

ORDEM DE SERVIÇO	DATA PROGRAMADA	Equipamento	
648896	22/05/2019	SUB1.FABR.001 SUB-ESTAÇÃO 150KVA / 300KVA	
INFORMAÇÕES GERAIS		PADRÕES DE EXECUÇÃO	
SOLICITANTE..... JOSÉ DANTAS		PRAZO DE ENTREGA..... 22/05/2019	
SETOR EXECUTANTE... 02 - MANUTENÇÃO TERCEIRIZADA		TEMPO DE EXECUÇÃO..... 00:00	
TIPO DE MANUTENÇÃO: 21 - PREVENTIVA ANUAL		TEMPO DE INTERFERÊNCIA: 00:00 0.00%	
CENTRO DE CUSTO.... 1330 - ADMINISTRAÇÃO 01			
LOCALIZAÇÃO.....			
SERVIÇO SOLICITADO: Executar Plano: SUBE.001 - SUB-ESTAÇÃO 150KVA / 300KVA (ANUAL)			
OBSERVAÇÕES:			
DESCRIÇÃO	SERVIÇO	MATERIAL	Qtde
001-Verificação e respeito das conexões de aterramento		-	
002-Verificação e respeito das conexões de força		-	
003-Verificação do nível de óleo isolante		-	
004-Verificação de vazamentos		-	
005-Medição de relação de transformação		-	
006-Medição de resistência de isolamento dos enrolamentos (megger)		-	
007-Medição de resistência ôhmica das bobinas de alta e baixa dos transformadores		-	
008-Limpeza e respeito no QGBT		-	
009-Serviço de coleta e análise Física química e Cromatográfica de óleo		-	
010-Verificação e respeito das conexões de aterramento		-	
011-Verificação e respeito das conexões de força		-	
012-Verificação do nível de óleo isolante		-	
013-Verificação de vazamentos		-	
014-Medição de relação de transformação		-	
015-Medição de resistência de isolamento dos enrolamentos (megger)		-	
016-Medição de resistência ôhmica das bobinas de alta e baixa dos transformadores		-	
017-Limpeza e respeito no QGBT		-	
018-Serviço de coleta e análise Física química e Cromatográfica de óleo		-	
019-Inspecção total do SPDA - desgastes físicos e ajustes/respectos/fixações		-	
RESPONSÁVEL	SUP. MANUTENÇÃO	RECIBO PELA PRODUÇÃO	LIBERADO PELO LABORATÓRIO
		_____/_____/____/	_____/_____/____/

IMPRESSÃO - 10/06/2019

Fonte: SERVICE ELÉTRICA

ANEXO B – CAPA LAUDO DE MANUTENÇÃO TERCEIRIZADA 2016

**SCHNEIDER ELECTRIC IT BRASIL IND. E COM. DE EQUIP. ELETRONICOS LTDA
EUSÉBIO - CE**

**RELATÓRIO TÉCNICO DA MANUTENÇÃO
PREVENTIVA COM INSPEÇÃO
TERMOGRÁFICA E MANUTENÇÃO
CORRETIVA EM SUBESTAÇÃO ELÉTRICA**

Distribuição	SCHNEIDER ELECTRIC IT BRASIL IND. E COM. DE EQUIP. ELETRONICOS LTDA				
Visita	Data	Descrição	Elab.	Verif.	Apr.
1	13/02/2016 26/02/2016	Manutenção Preventiva, Inspeção Termográfica e Medição de resistência da malha de aterramento.			
2	05/03/2016	Manutenção Corretiva.			