



## MELHORIA DA EFICIÊNCIA DAS TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DA REDE DE MÉDIA TENSÃO (13.8kV) DE UM PARQUE FABRIL

**Autor:** Fabio Pereira Fernandes, (fpfprojetos@gmail.com)

**Professor Orientador:** Claudio Bernardi Stringari, Eng. Esp. (claudiobs@fameg.edu.br)

FAMEG – Faculdade Metropolitana de Guaramirim

Engenharia de Produção (EPR 1.9) – Trabalho de Conclusão de Curso

24/11/2014

### RESUMO

*As empresas a cada dia buscam aperfeiçoar suas técnicas de produção para melhorar seus produtos ou serviços e isto não poderia ser diferente no que diz respeito à forma de administrar seus recursos, sejam financeiros, tecnológicos ou humanos. Para que as empresas possam enfrentar o grande aumento da competitividade elas necessitam aumentar o índice de qualidade, sejam da produção, dos equipamentos ou mesmo de seus funcionários. O que garante uma melhora nesse índice são certamente as técnicas de manutenção que devem ser aplicadas para diminuir ou eliminar a possibilidade de ocorrerem erros. Nesse artigo utilizaremos a estatística descritiva para buscar formas de minimizar os desligamentos de energia elétrica na rede de média tensão dentro de um parque fabril através da manutenção preventiva.*

**Palavras-chave:** Manutenção Preventiva, Estatística, Energia Elétrica.

### ABSTRACT

*Businesses each day seek to advance their production techniques to improve your products or services and this could not be different with respect to how to manage their resources, whether financial, technological or human. To enable companies to cope with the huge increase of competitiveness they need to increase the level of quality, whether in production, equipment or even your employees. What guarantees an improvement in this index are certainly the maintenance techniques that should be applied to reduce or eliminate the possibility of errors occur. In this article we use descriptive statistics to look for ways to minimize outages of electricity in the medium voltage network within a manufacturing plant through preventive maintenance.*

**Keywords:** Preventive Maintenance, Statistics, Electric Energy.

## 1. INTRODUÇÃO

Utilizar a energia com responsabilidade, sem desperdício, constitui um novo parâmetro a ser considerado no exercício da cidadania. Os instrumentos de combate ao desperdício de energia estão alicerçados na mudança de hábitos da sociedade e na eficiência energética dos equipamentos.

A eficiência energética, como instrumento de combate ao desperdício de energia, cada vez mais se aproxima das necessidades do cidadão brasileiro. É preciso que a tecnologia adequada à obtenção da eficiência seja conhecida pelos técnicos que estarão direta ou indiretamente ligados a este setor.

Entre a produção da energia elétrica até o seu consumo final existe um longo caminho pelo qual a energia elétrica é transportada, o qual é composto pelas redes de transmissão e de distribuição. Entre as redes de transmissão e de distribuição existem, outras redes locais de energia elétrica com a função de distribuir a energia.

As linhas de transmissão convergem para estações de distribuição, onde a tensão é rebaixada, usualmente para o nível de 13,8kV. Destas subestações originam-se alguns alimentadores que se interligam aos transformadores de distribuição da concessionária ou a consumidores em tensão primária.



FONTE: MAMEDE (2011)

FIGURA 1 – GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

Ao conjunto das instalações e equipamentos que se prestam para a geração (conversão de uma dada forma de energia em energia elétrica) e transmissão de grandes blocos de energia dá-se o nome de Sistema Elétrico de Potência.

Os consumidores de energia elétrica podem ser enquadrados em residencial, comercial, industrial e rural. Pagam por meio da conta recebida um valor correspondente à quantidade de energia elétrica consumida no mês, estabelecida em quilowatt-hora (kWh).

Na empresa em estudo, a conexão da rede transmissão da concessionária com a subestação da empresa se dá com tensão de 138kV. As redes de distribuição operam com tensão elétrica de 13,8kV. Esta rede é conectada a um transformador onde a tensão é rebaixada para 380/220V e as cargas são alimentadas.

Durante alguns anos desenvolveu-se no parque fabril da empresa em estudo um programa de manutenção preventiva (PMP) a fim de planejar as intervenções preventivas, tornando desta forma a rede de média tensão confiável.

Percebeu-se que quando ocorrem interrupções de fornecimento de energia elétrica, oriundas de falhas na rede de média tensão ocorre à necessidade de verificar junto ao programa de manutenção preventiva (PMP) da empresa em estudo as atividades e os componentes afetados, bem como a frequência com que ocorrem estas interrupções, programadas ou não, de forma a identificar se existe relação entre os registros do programa de manutenção preventiva e as falhas não programadas da rede de distribuição de energia elétrica nos parques fabris da empresa em estudo. A cada falta de energia elétrica, há dificuldade em restabelecer o fornecimento de energia elétrica em sinistros ocorridos na rede de média tensão da empresa em estudo.

Conforme Santos (2001), existe a necessidade constante de aumento de competitividade através da redução de custos, aumento da qualidade e atendimento as necessidades dos clientes, desta forma o fornecimento de energia elétrica de forma ininterrupta é determinante para o alcance deste objetivo. Portanto, para uma empresa, que tenha na energia elétrica seu principal insumo na matriz energética, isto se torna ainda mais crítico, sendo necessário garantir o fornecimento de energia elétrica para seus processos sem interrupções, torna-se um grande desafio, sendo necessário avaliar as práticas adotadas atualmente, levantar prós e contras, e conforme o histórico de problemas serão propostas melhorias nos programas de manutenção preventiva dos equipamentos da empresa em estudo relacionados ao fornecimento de energia elétrica.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

A globalização e o aumento de competitividade de mercado, em função da abertura de novos negócios e da expansão de grandes empresas, em conjunto com o lançamento constante de novas tecnologias e pelo aumento das exigências dos clientes, obrigam que as empresas, de forma geral, reestruturem seu processo de garantia da qualidade no fornecimento de energia elétrica, aplicando ferramentas que auxiliem a obter maior confiabilidade e diminuam a possibilidade de erros e atrasos no sistema produtivo.

Segundo Santos (2001), até meados da década de 60 era prática comum utilizar os equipamentos até os mesmos apresentarem sérios problemas de performance ou até mesmo quebrarem, o que conduzia as empresas a muitas falhas catastróficas, prática que foi substituída por manutenções nos equipamentos críticos em datas planejadas. Esse método foi chamado mais tarde de manutenção preventiva e é utilizado muitas vezes nos processos industriais, auxiliando na minimização de falhas graves.

A empresa em estudo é do ramo metal mecânico e marcada por um crescimento acelerado de mercado e tamanho. Uma das maiores fabricantes de equipamentos elétricos do mundo atua também nas áreas de comando e proteção de motores, variação de velocidade, automação de processos industriais, geração e distribuição de energia e tintas e vernizes industriais.

No país, o grupo tem sua sede e principais unidades industriais em Jaraguá do Sul, Santa Catarina. Suas demais fábricas estão espalhadas por vários estados brasileiros, sendo eles: Rio Grande do Sul, Santa

Catarina, São Paulo, Amazonas e Espírito Santo. No exterior, possui unidades fabris na Argentina, México, Estados Unidos, Áustria, Portugal, África do Sul, China e Índia.

Produzindo inicialmente motores elétricos, começou a ampliar suas atividades a partir da década de 80, com a produção de componentes eletroeletrônicos, produtos para automação industrial, transformadores de força e distribuição, tintas líquidas e em pó e vernizes eletroisolantes. Cada vez mais a empresa está se consolidando não só como fabricante de motores, mas como fornecedor de sistemas elétricos industriais completos. Este crescimento físico impactou diretamente no crescimento no consumo de energia elétrica, com a aquisição de máquinas e equipamentos para suprir a necessidade e conquistar novos mercados.

Segundo Campos (2004), o que hoje conhecemos por manutenção, só começou a ser conhecida dessa forma por volta do século XVI na Europa central, com o surgimento do relógio mecânico, quando apareceram os primeiros técnicos em montagem e assistência. Juntamente com a Revolução Industrial tornou-se ferramenta frequente, e com o desenvolver das duas Guerras Mundiais firmou-se como absoluta. No início do período de reconstrução pós-guerra, países como Inglaterra, Alemanha, Itália e Japão, consolidaram seu desempenho industrial com base na engenharia de manutenção.

Com o crescimento da concorrência, os prazos de entrega dos produtos passaram a ser importantes para todas as empresas, a partir desse contexto surgiu a motivação para se prevenir contra as falhas de máquinas e equipamentos. Além disso, outra motivação para o avanço da manutenção foi a maior exigência por qualidade. Essas motivações deram origem a uma manutenção mais planejada.

Segundo Campos (2004), até o início dos anos 2000, a gerência de nível médio e corporativo não valorizava o poder da operação da manutenção sobre a qualidade do produto, custos de produção e, mais importante, no lucro básico. A partir da década de 80 do século XX, a opinião era de que a manutenção era um mal necessário, ou que nada poderia ser feito para melhorar os custos de manutenção, porém as técnicas de gerenciamento e sistemas de manutenção que surgiram no século XXI estão mudando essa visão, buscando a redução nos custos da manutenção em relação ao faturamento.

## 2.1 Manutenção Preventiva

Nas instalações industriais, as paradas para a manutenção constituem em uma preocupação constante para a programação da produção. Se as paradas não forem previamente agendadas ocorrem problemas como atrasos no cronograma de fabricação, máquinas paradas e indisponíveis, aumento dos custos, entre outros, Mamede (2011).

Buscando evitar que esses problemas ocorram, a empresa em estudo introduziu um programa de manutenção preventiva. A manutenção preventiva é a parte inicial da manutenção planejada, e segue uma padronização esquematizada previamente, estabelecendo paradas periódicas, a fim de permitir reparos agendados e programados, o que assegura que o maquinário funcione corretamente dentro de um período de tempo determinado.

Na tabela 1 abaixo, podemos encontrar os principais conceitos e suas ações dentro da manutenção.

Tabela 1 – PRINCIPAIS CONCEITOS x AÇÃO

Principais conceitos	Ação
Planejamento da manutenção	Conhece melhor os trabalhos e recursos que auxiliam na tomada de decisão, respondendo a perguntas: Como? Quanto? O que?
Programação da manutenção	Determinar quem executará os trabalhos, assim como dia e hora da execução, respondendo: Em quanto tempo? Quem? Quando?
Controle da manutenção	É a etapa em que os dados são coletados e lançados, para assim poder se interpretá-los.
Organização da manutenção	É como o serviço será feito, ordenado e estruturado, fazendo-se alcançar os objetivos desejados.
Administração da manutenção	Significa normatizar as atividades, ordenar os fatores de produção, contribuir para a produção e a produtividade com eficiência, sem desperdícios e retrabalho.

FONTE: ADAPTADO DE MAMEDE (2011)

## 2.2 Objetivos da Manutenção Preventiva

Segundo Goldratt (1991), o objetivo principal das empresas não é a redução de custos, aumento da qualidade e da produtividade e sim o lucro sobre o capital investido pelos acionistas. O papel da manutenção preventiva é colaborar para que esses objetivos sejam alcançados da melhor maneira possível, Mamede (2011). Uma máquina ou equipamento sob manutenção preventiva tem a tendência de não parar em serviço e se mantém regulado. Abaixo na tabela 2, listamos a vantagens e desvantagens em manter a manutenção preventiva:

Tabela 2 – VANTAGENS E DESVANTAGENS EM MANTER A MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Itens Verificados	Vantagens	Desvantagens
Paradas programadas ao invés de paradas imprevistas	X	
Maior vida útil do equipamento	X	
Maior preço em uma eventual troca do equipamento	X	
Maior qualidade do produto final	X	
Diminuição de horas extras	X	
Maior número de pessoas envolvidas na manutenção		X
Possibilidade de introdução de erros durante as intervenções		X

FONTE: ADAPTADO DE MAMEDE (2011)

## 2.3 Documentação da Manutenção Preventiva

Segundo Mamede (2011), um plano de manutenção bem elaborado precisa ser controlado. As informações geradas podem ser processadas de diversas maneiras: manual, semi-automatizado, e totalmente informatizado. Para o autor, qualquer que seja a forma adotada, a estratégia a ser tomada tem como base:

- Codificação do equipamento: cada um dos equipamentos dentro da empresa será identificado e codificado em relação à sua posição dentro de determinada seção;
- Arquivo de máquinas: para cada equipamento deverá ser aberta uma pasta de informações onde constarão quaisquer informações necessárias;

- Codificação das peças: para facilitar a substituição de peças, cada equipamento será dividido em sistemas, conjuntos e peças, sendo que cada um deles receberá um código de identificação;
- Criação de fichas de informação e controle.

Na empresa em estudo as informações referentes à manutenção preventiva da rede de média tensão são gerenciadas no departamento de infraestrutura e utilidades através do sistema SAP.

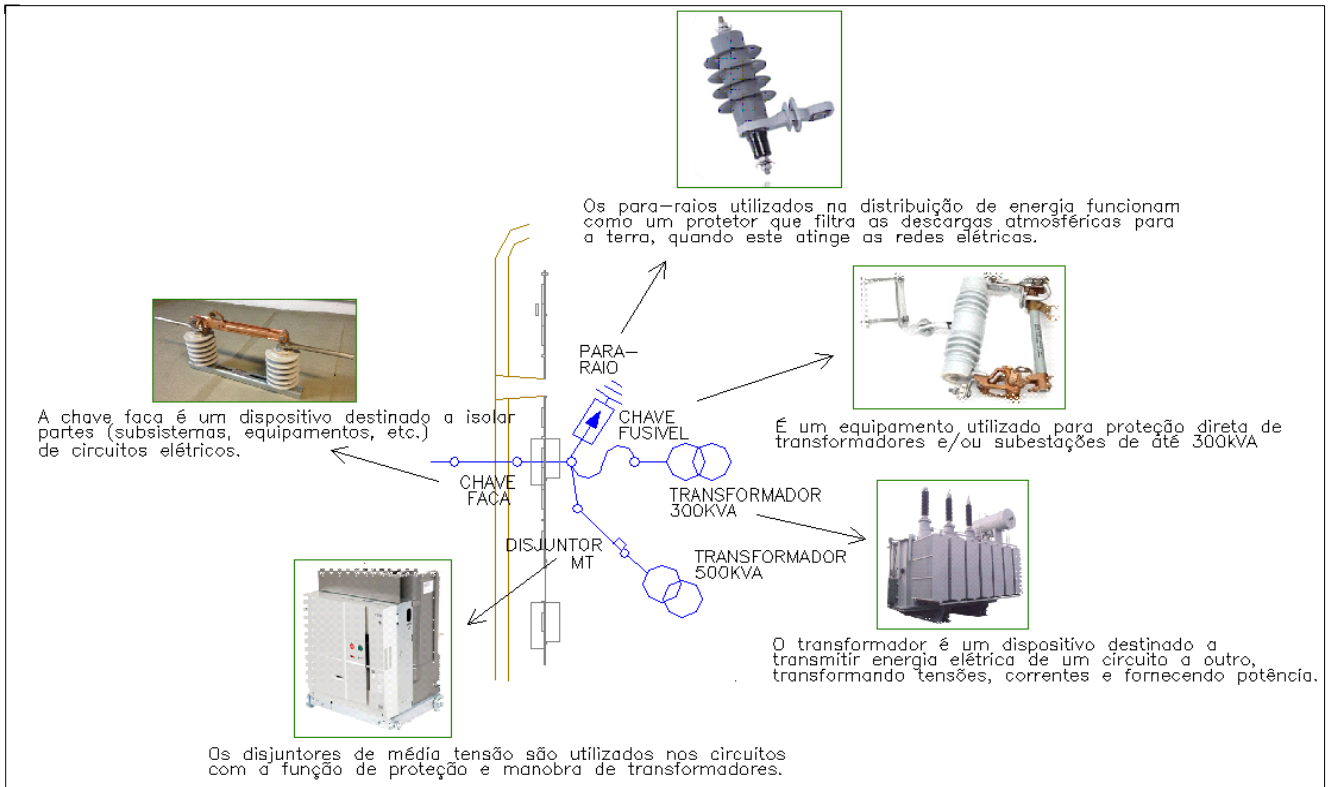
## 2.4 Rede de Média Tensão

A energia, entendida como capacidade de promover mudanças de estado, pode apresentar-se fisicamente em diversas formas. De uma maneira geral, um potencial energético corresponde sempre ao produto entre uma variável extensiva, cujo módulo depende da quantidade considerada, e uma variável de desequilíbrio, expressando uma disponibilidade de conversão entre as formas energética, segundo Santos (2001).

De modo sucinto, pode-se definir energia como o fluxo energético decorrente da diferença de temperatura. Formas de energia: nuclear e atômica, química, elétrica, térmica, mecânica e magnética. Fonte: Santos, Afonso Henrique; Simões, Alexandre Augusto; Martins, André Ramon; et al (Conservação de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos, 2001, p. 4).

## 2.5 Diagrama Unifilar

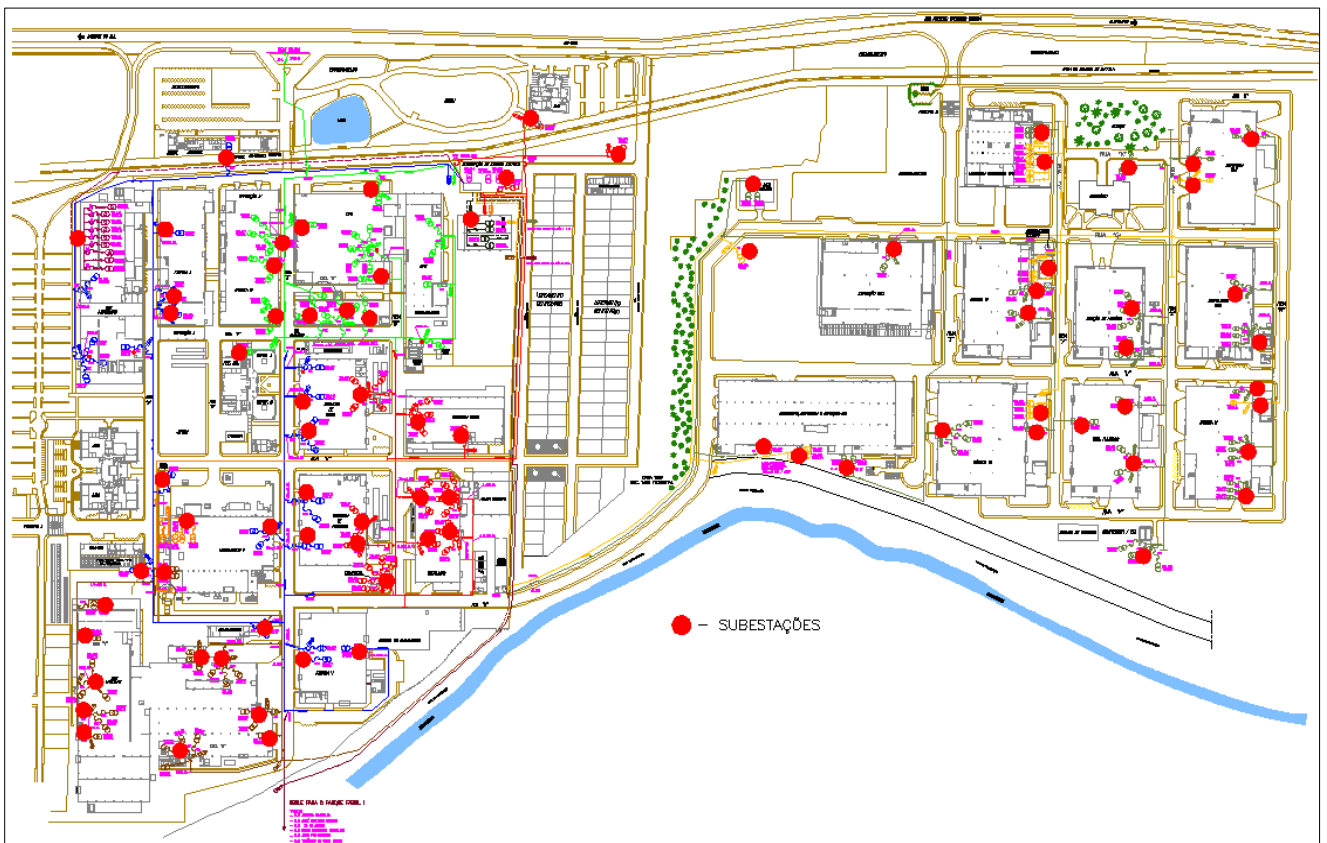
Segundo Mamede (2011), o diagrama Unifilar, objetiva mostrar as interligações entre equipamentos sem minúcias quanto aos pontos de conexão existentes nesses equipamentos. É uma ilustração básica de um circuito elétrico que mostra todos os componentes sem detalhes dos contatos a serem ligados. Com o circuito unifilar você consegue saber por onde passa a corrente elétrica, mas não consegue saber ponto a ponto onde estão ligados os componentes, um exemplo de diagrama unifilar é mostrado na figura 2.



FONTE: O AUTOR

FIGURA 2 – DIAGRAMA UNIFILAR COM EQUIPAMENTOS

Na figura 3 são apresentadas as subestações da empresa em estudo indicados por um ponto vermelho, compostas pelos mesmos equipamentos da figura 2.



FONTE: EMPRESA EM ESTUDO

FIGURA 3 – DIAGRAMA UNIFILAR COMPLETO, EM DESTAQUE AS SUBESTAÇÕES (●)

## 2.6 Programa de Manutenção Preventiva

O programa de manutenção preventiva de equipamentos da empresa em estudo é gerenciado através do Sistema SAP. Existe um plano específico para cada equipamento, ou para cada instalação com descrição detalhada das atividades a serem executadas. Após aprovação é elaborado e validado um cronograma de inspeções e revisões junto aos executores. Este cronograma é elaborado de acordo com a periodicidade exigida por cada equipamento / máquina e instalação. A periodicidade pode ser em dias, meses, ou horas de trabalho.

Quando a intervenção tem impacto na produção, exigindo parada, é negociado com os chefes e gerentes a data que os mesmos possam sofrer intervenções sem comprometer o processo produtivo.

A figura 4 mostra a visão do sistema SAP e relação dos itens do programa de manutenção preventiva e sua frequência.

Sala	Pln.manuten.	Descrição item de manutenção
0030059	714	INSPEÇÃO REGULADORES DE TENSÃO
	14264	TERMOGRAFIA ALIMENTADOR 5
	14265	TERMOGRAFIA REDE
	14266	TERMOGRAFIA REDE
	14267	TERMOGRAFIA
	14268	TERMOGRAFIA SER. PLANALTO
	15527	SPDA - INSPEÇÃO VISUAL NBR 5419
	15528	SPDA - INSPEÇÃO VISUAL NBR 5419
	15529	SPDA - INSPEÇÃO VISUAL NBR 5419
	15530	SPDA - INSPEÇÃO VISUAL NBR 5419
	15551	SPDA - INSPEÇÃO VISUAL NBR 5419

FONTE: O AUTOR

FIGURA 4 – IMAGEM DA TELA SAP

Abaixo na tabela 3, são apresentados outros itens de manutenção que são monitorados pelo sistema SAP, fazendo parte do programa de manutenção preventiva da empresa em estudo.



Tabela 3 – ITENS DE MANUTENÇÃO - PROGRAMA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA  
(ATIVIDADES x FREQUÊNCIA)

Atividades	Frequência
Controle de manutenção em Banco de Capacitores	Quadrimestral
Revisão de iluminação predial	Mensal
Revisão de iluminação de emergência nos prédios	Semestral
Inspeção nas subestações	Mensal
Inspeção na rede de média tensão e poda de árvores	Bimestral
Inspeção nas malhas de aterramento	Anual
Inspeção em relés de sobrecorrente	Trimestral
Termografia na rede de distribuição e subestação	Semestral

FONTE: O AUTOR

Santos (2001) menciona que a rede de média tensão 13.8kV nos parques fabris é composta por alimentadores. Os alimentadores são responsáveis pelo transporte de energia elétrica desde a subestação até os grandes centros de consumo (fábricas / cargas).

A empresa em estudo monitora as falhas desde a instalação da subestação de 138kV. A seguir relacionamos os defeitos na rede de média tensão. Essas informações foram obtidas através de um livro ata que existe na subestação desde 1987, onde se registram os eventos ocorridos.

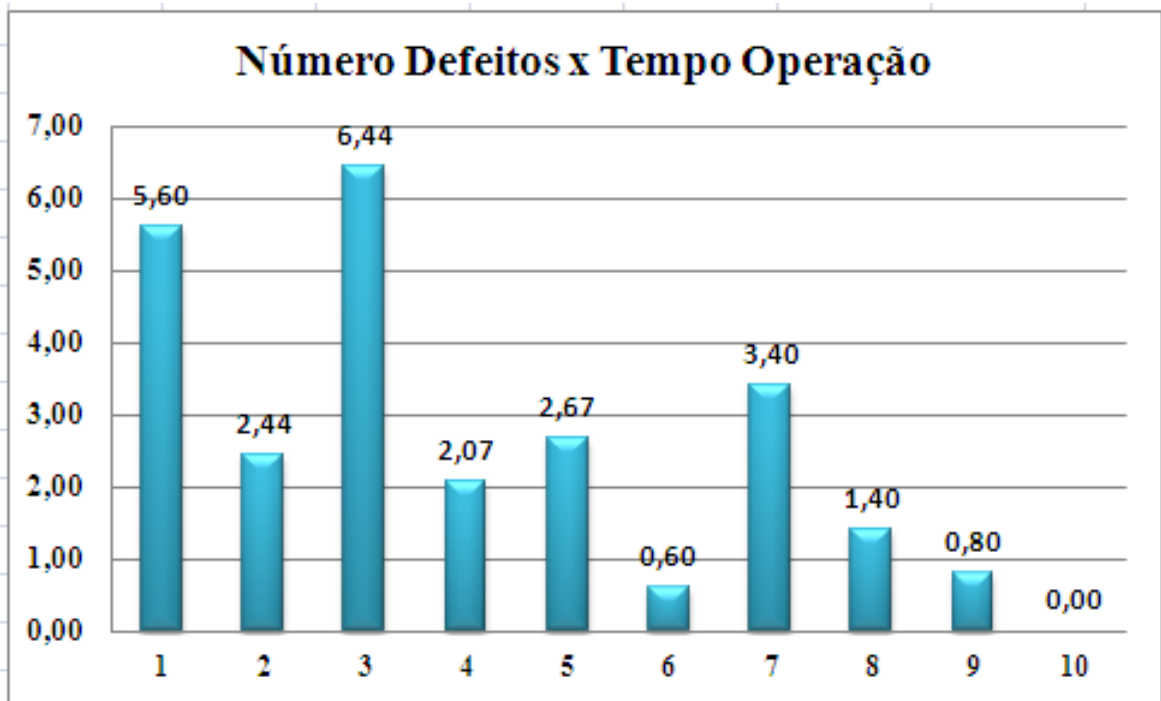
## 2.7 Defeitos na rede 13.8kV por Alimentador

Através do livro ata, coletaram-se todos os eventos acontecidos na rede de média tensão. As figuras 5 e 6, mostram os eventos por alimentadores, defeitos na rede por alimentador de 1987 a 2012 e a quantidade de defeitos por alimentador por ano, desde o início da operação.

Alimentadores		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
<b>Defeitos</b>	Chave-Faca	5	4	3								12
	Chave-Fusível	22	7	28	2	2		2		1		64
	Para-Raio	5	4	3	5	2						19
	Conector Cunha								1			1
	Isoladores	3	2	1		2		2	1			11
	Transformadores	3	1	2	4	3	2	3	1			19
	Disjuntor de Média Tensão	47	18	65	5	10		4	3	1		153
	Manutenção (Desligamentos Programados)	29	15	32	7	7	1	3				94
	Desligamento Geral (Causa Desconhecida)	12	4	8	2	3		2		1		32
	Outros (Queda de Galho / Cabo Rompido / Poste Quebrado)	14	6	19	6	11		1	1	1		59
<b>Total</b>	<b>140</b>	<b>61</b>	<b>161</b>	<b>31</b>	<b>40</b>	<b>3</b>	<b>17</b>	<b>7</b>	<b>4</b>		<b>464</b>	
<b>Início da Operação da Subestação</b>	<b>1987</b>	<b>1987</b>	<b>1987</b>	<b>1997</b>	<b>1997</b>	<b>2007</b>	<b>2007</b>	<b>2007</b>	<b>2007</b>	<b>2012</b>		
Alimentadores		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
<b>Total Defeitos por Alimentador</b>		<b>140</b>	<b>61</b>	<b>161</b>	<b>31</b>	<b>40</b>	<b>3</b>	<b>17</b>	<b>7</b>	<b>4</b>		<b>464</b>
<b>Início da Operação da Subestação</b>		<b>1987</b>	<b>1987</b>	<b>1987</b>	<b>1997</b>	<b>1997</b>	<b>2007</b>	<b>2007</b>	<b>2007</b>	<b>2007</b>	<b>2012</b>	

FONTE: O AUTOR

FIGURA 5 – PLANILHA DEFEITOS NA REDE 13.8kV POR ALIMENTADOR (1987 – 2012)



FONTE: O AUTOR

FIGURA 6 – GRÁFICO COMPARATIVO DA MÉDIA ANUAL DE DEFEITOS x ANO PARA CADA ALIMENTADOR (1987 – 2012)

Pode-se observar que desde o início da operação da subestação no ano de 1987, foram registrados 464 defeitos na rede de média tensão 13.8kV.

Porém a cronologia de implantação dos alimentadores na rede de média tensão 13.8kV foi a seguinte: no ano de inauguração da subestação de 138kV da empresa em estudo em 1987, foram implantados os alimentadores 1, 2 e 3. Estes alimentadores garantiram o abastecimento de energia elétrica no parque fabril por 9 anos, até 1996, os alimentadores 1, 2 e 3 totalizaram 27 anos de operação em 2014. No ano de 1997 foram implantados mais dois alimentadores, 4 e 5 para cargas de fundição (fornos) e outro parque fabril à distância, sendo que os mesmos atingiram 15 anos de operação em 2014. Os alimentadores 6, 7, 8 e 9 passaram a fazer parte de rede de média tensão em 2007 com a ampliação do parque fabril atual, acrescentando novas cargas ao sistema elétrico, no qual seria impossível alimentá-las pelos alimentadores existentes, totalizando 7 anos de operação em 2014. No ano de 2012 mais um alimentador foi concebido em função de um novo laboratório, encontrando-se em operação sem falhas à dois anos.

Diante disso, pode-se constatar a ocorrência de mais falhas nos alimentadores 1 e 3, com respectivamente 5,60 e 6,44 defeitos ao ano. Nesta época o programa de manutenção preventiva existia precariamente, somente com a revisão da subestação 138kV, o demais equipamentos da rede de média tensão em sua grande parte eram substituídos através das manutenções corretivas.

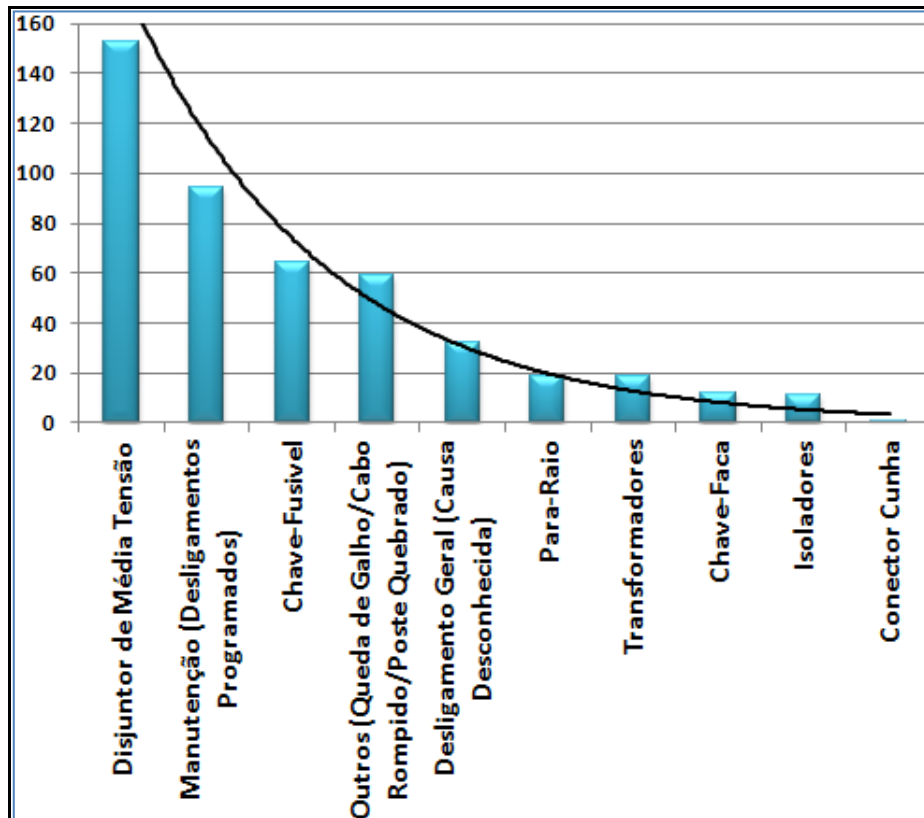
## 2.8 Defeitos na rede 13.8kV por Evento

Na figura 7, encontram-se os alimentadores, listados de 1 a 10 e os defeitos em equipamentos, desde o início da operação.

Alimentadores		1 a 10
<b>Defeitos</b>	Disjuntor de Média Tensão	153
	Manutenção (Desligamentos Programados)	94
	Chave-Fusível	64
	Outros (Queda de Galho/Cabo Rompido/Poste Quebrado)	59
	Desligamento Geral (Causa Desconhecida)	32
	Para-Raio	19
	Transformadores	19
	Chave-Faca	12
	Isoladores	11
	Conector Cunha	1
<b>Total</b>		<b>464</b>

FONTE: O AUTOR

FIGURA 7 – PLANILHA DEFEITOS NA REDE 13.8kV POR EVENTO (1987 – 2012)



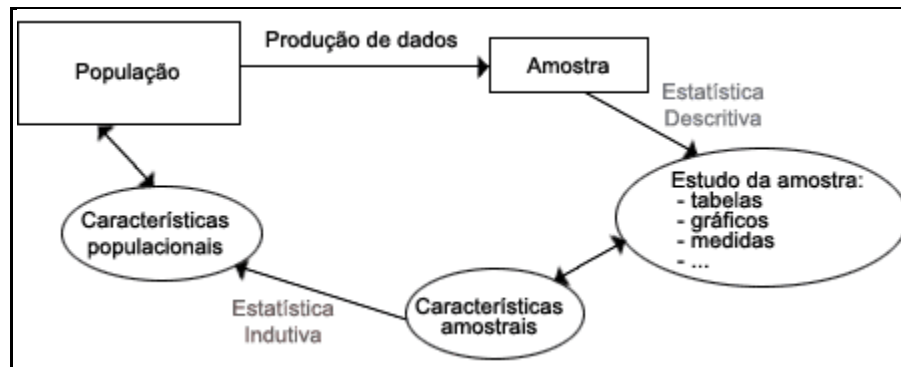
FONTE: O AUTOR

FIGURA 8 – GRÁFICO DEFEITOS NA REDE 13.8kV POR EVENTO (1987 – 2012)

Através do gráfico de barras da figura 8, verificou-se os equipamentos que mais apresentavam defeitos na rede de 13.8kV, desde o início da operação da subestação no ano de 1987, com destaque para disjuntor de média tensão, manutenção (desligamentos programados), chave-fusível, etc.

Segundo Anderson et al (2007) o método de Monte Carlo (MMC) é um método estatístico utilizado em simulações estocásticas com diversas aplicações em áreas como a física, matemática e biologia. A estatística pode ser dividida em duas áreas: estatística indutiva (inferência a estatística) e estatística descritiva. A estatística indutiva trata das condições sob as quais essas inferências são válidas. Se uma

amostra e representativa de uma população, conclusões importantes sobre a população podem ser inferidas de sua análise. Estatística descritiva procura somente descrever e avaliar certo grupo. Pode ser resumida das seguintes etapas: definição do problema, planejamento, coleta de dados, apresentação dos dados e descrição dos dados.



FONTE: ANDERSON (2007)

FIGURA 9 – ESQUEMA ORIENTATIVO ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Segundo Anderson et al (2007):

Existem vários tipos de gráficos que podem ser utilizados com o objetivo de descrever um conjunto de dados resumidamente: distribuição de frequência, diagrama dos pontos e histograma.

Quando falamos em organização tubular dos dados em classes de ocorrências, ou não segundo suas respectivas frequências absolutas, estamos tratando de distribuição de frequência. Em alguns casos há o interesse de apresentar os dados em frequências relativas ou acumuladas. O diagrama útil para se apresentar um pequeno conjunto de dados (até cerca de 20 observações), trata-se no diagrama de pontos, onde através deste, pode-se ver de maneira rápida e fácil a tendência central dos dados, além da sua distribuição ou variabilidade.

Outro modelo estatístico com representação gráfica é o histograma, no qual se divide valores em grupos, ou intervalos de classe. O que se faz na prática é tentar variados números de classes e verificar o número ideal para os dados em questão.

O método de Monte Carlo é utilizado como forma de obter aproximações numéricas de funções complexas. Este método envolve a geração de observações de alguma distribuição de probabilidades e o uso da amostra obtida para aproximar a função de interesse. As aplicações mais comuns são em computação numérica para avaliar integrais. A ideia do método é escrever a integral que se deseja calcular como um valor esperado.

Segundo Anderson et al (2007), a fórmula de Sturges calcula o número aproximado de classes de frequências em modelos estatísticos com grande número de amostras. O número  $k$  de intervalos (classes de frequência) para cada conjunto de observações com  $n$  valores pode ser calculado como:

$$k = 1 + 3,322 (\log n).$$

Para o nosso caso, onde listamos um espaço amostral com 10 amostras, obtemos:

$$k = 1 + 3,322 (\log 10)$$

$$k = 1 + 3,322 (1)$$

$$k = 1 + 3,322 = 4,322.$$

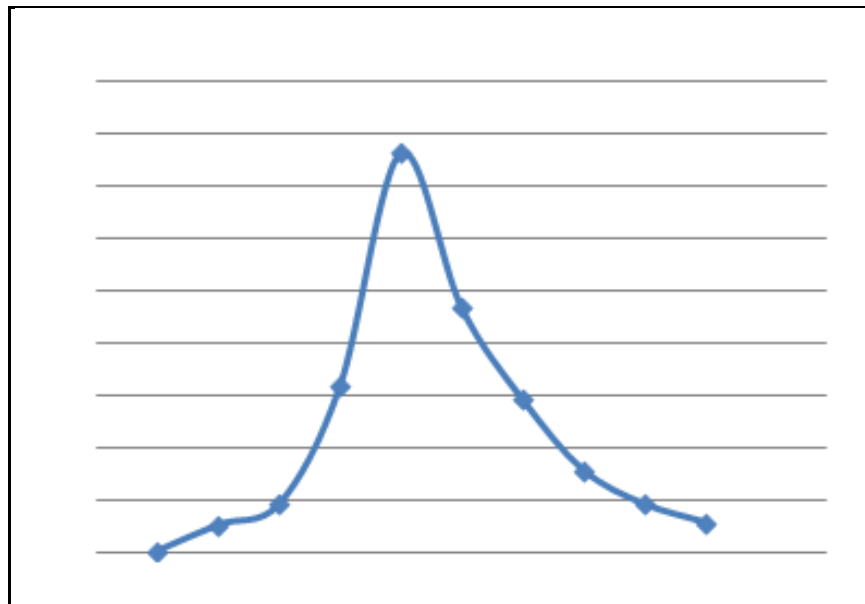
Logo o número de intervalos para o estudo das falhas da rede de média tensão será de  $4 \approx 4,322 = k$ .

Alimentadores		1 a 10
Defeitos	Conector Cunha	1
	Isoladores	11
	Para-Raio	19
	Chave-Fusível	64
	Disjuntor de Média Tensão	153
	Manutenção (Desligamentos Programados)	94
	Outros (Queda de Galho/Cabo Rompido/Poste Quebrado)	59
	Desligamento Geral (Causa Desconhecida)	32
	Transformadores	19
	Chave-Faca	12
<b>Total</b>		<b>464</b>

FONTE: O AUTOR

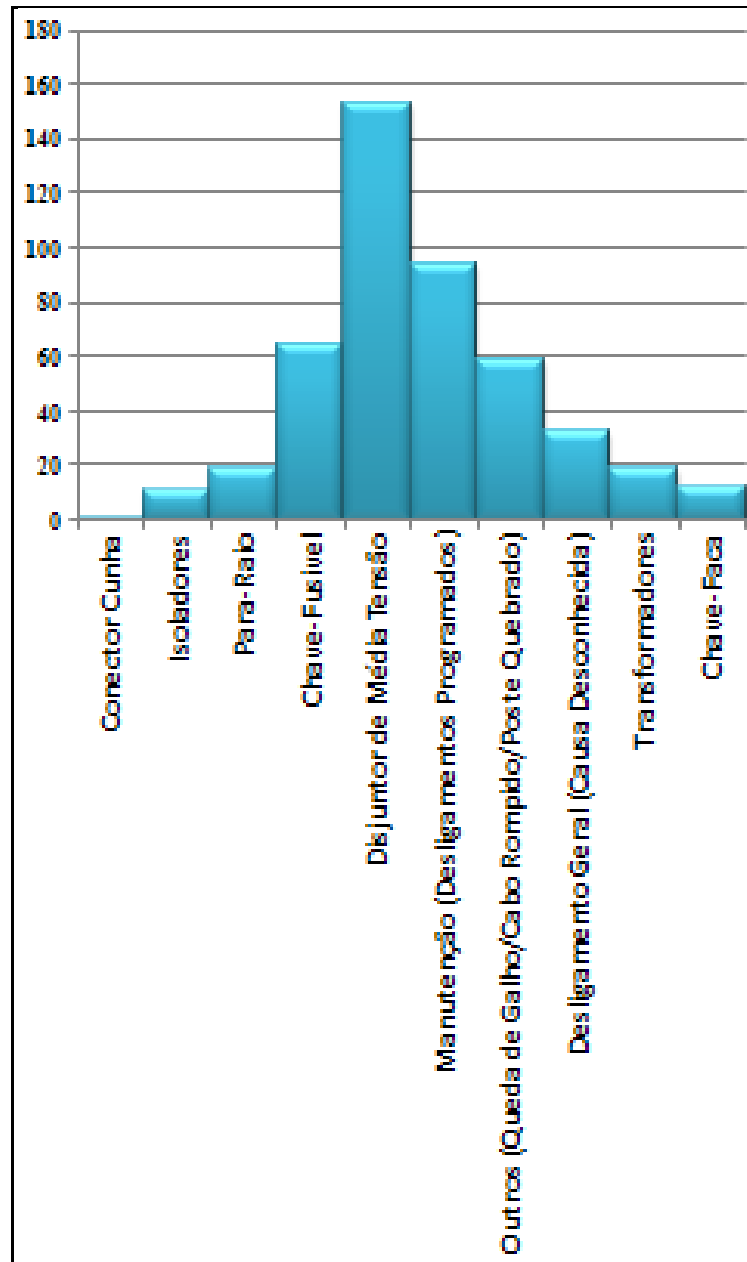
FIGURA 10 – PLANILHA DEFEITOS NA REDE 13.8kV – STURGES (1987 - 2012)

Nas figuras 11 e 12 apresenta-se a curva de Sturges e o Histograma, evidenciando os quatro defeitos encontrados em todos os alimentadores de empresa em estudo desde a sua operação em 1987.



FONTE: O AUTOR

FIGURA 11 – CURVA DE STURGES DEFEITOS NA REDE 13.8kV



FONTE: O AUTOR  
 FIGURA 12 – HISTOGRAMA DEFEITOS NA REDE 13.8kV (1987 – 2012)

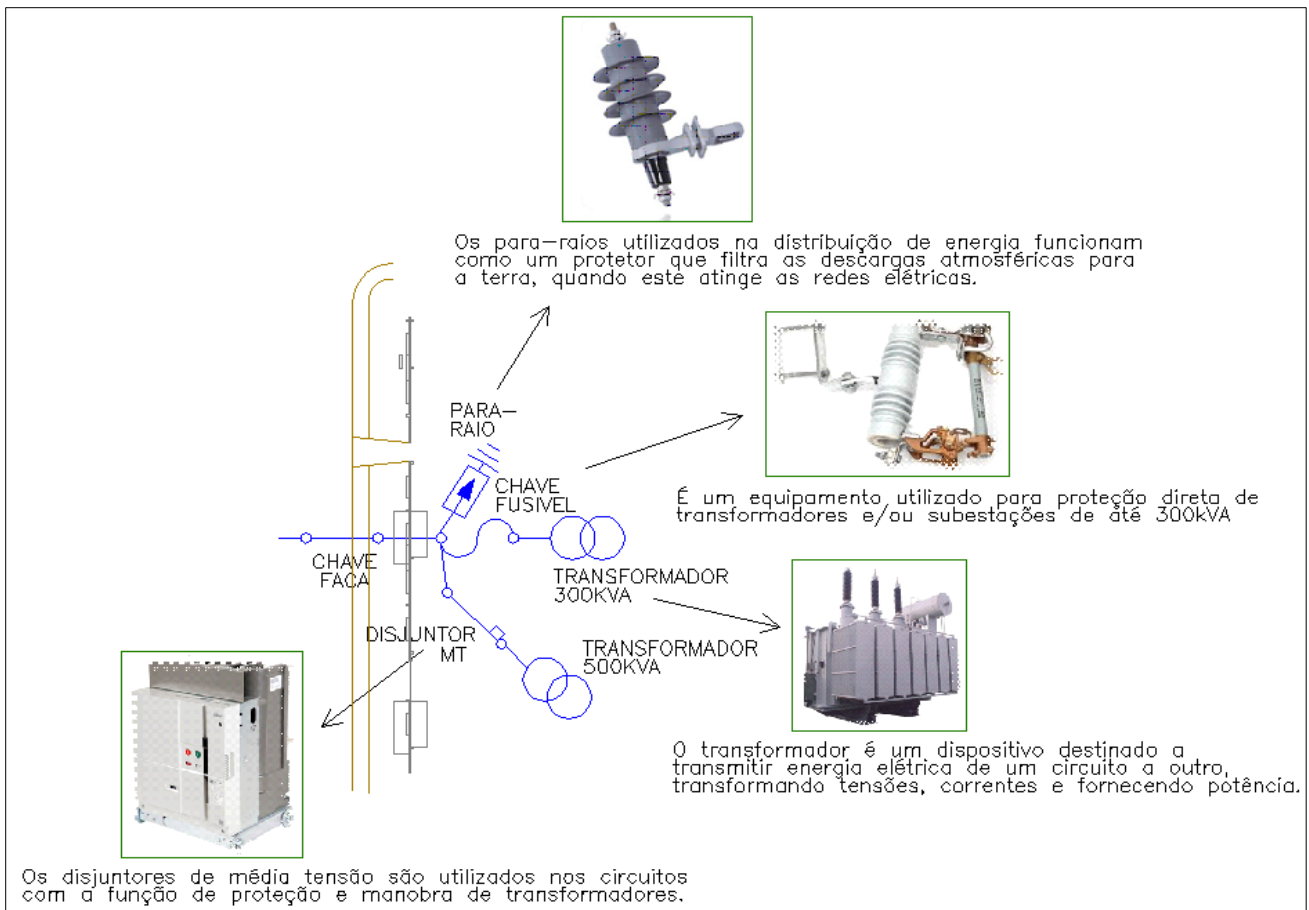
Diante dos resultados obtidos através da fórmula de Sturges, foram avaliados os seguintes problemas: disjuntor de média tensão, manutenção (desligamentos programados), outros (queda de galhos, cabo rompido e poste quebrado) e chave fusível.

Foi auditada a execução das atividades revendo a periodicidade das intervenções, promovendo a melhoria contínua do check list do programa de manutenção preventiva com base nos resultados apurados a fim de evitar interrupções na rede de média tensão.

Foram ainda realizados estudos de melhoria de desempenho com relação à confiabilidade e mantabilidade dos equipamentos, visando o aumento da disponibilidade operacional dos mesmos, conforme solicitações gerenciais.

Dos quatro problemas identificados do modelo, foi desconsiderado o relativo à manutenção (desligamentos programados), pois ocorre em função de alguma melhoria, alimentação de carga futura ou

solução programada de um defeito que poderia vir a causar um desligamento não programado. Cabe salientar que faz parte dos procedimentos de manutenção programar um desligamento, para evitar a ocorrência de um desligamento não programado ou imprevisto, portanto, não representa um problema. Diante disso, escolhemos o 5º defeito, que trata de desligamentos gerais por causas desconhecidas, estes decorrentes de fatores externos, relativos ao fornecimento de energia elétrica pela concessionária, e não temos com intervir. Os próximos defeitos seriam transformadores e para-raios, portanto estes passam a ser objeto de estudo deste trabalho.



FONTE: O AUTOR

FIGURA 13 – DIAGRAMA UNIFILAR COM EQUIPAMENTOS (OBJETOS DE ESTUDO)

## 2.9 Transformadores

O transformador é um dispositivo destinado a transmitir energia elétrica de um circuito a outro, transformando tensões, correntes e fornecendo potência.

Para fins de definir as práticas de manutenção preventiva a ser utilizada, ficam estabelecidos os seguintes critérios de classificação, conforme Norma TBG-0971:

- Transformadores de Subestação são os que alimentam os parques fabris;
- Transformadores Especiais são os que têm tensão no secundário (BT) diferente de 380/220V, trifásicos ou potência maior que 750kVA ( $V_{sec} \neq 380/220V\_P > 750kVA$ ) ou bifásicos independente da tensão, ambos pelo fato de não possuir reserva;

- Transformadores Normais são os que têm tensão no secundário (BT) igual 380/220V e potência menor/igual que 750kVA ( $V_{sec}=380/220V$ ,  $P \leq 750kVA$ ), ambos pelo fato de possuir reserva.

Atualmente a empresa em estudo dispõe de programa de manutenção preventiva para transformadores, são eles: análise de óleo (físico-químico e cromatográfico), termografia e ensaio de descargas parciais. Iremos avaliar a periodicidade dos mesmos e propor melhorias.

Visando minimizar a possibilidade de interrupção no fornecimento de energia elétrica por defeitos em transformadores e seguindo as recomendações do fabricante com relação à frequência e tipos de análise a ser realizada no óleo eletro isolante, crítico para a conservação dos transformadores isolados a óleo, foram propostas as seguintes ações:

- Para os transformadores de Subestação, será proposto uma avaliação por análise de óleo isolante (físico/químico e cromatográfica) semestral;
- Para os transformadores Especiais, será proposto uma avaliação por análise de óleo isolante (físico/químico e cromatográfica) a cada 2 anos;
- Para os transformadores Normais, será proposto uma avaliação por análise de óleo isolante (físico/químico e cromatográfica) a cada 5 anos;
- Para os trafos a seco será proposto a limpeza a cada 2 anos nos pontos de maior sujeira.

## 2.10 Para-raios

Os para-raios utilizados na distribuição de energia funcionam como um protetor que filtra os raios (descargas elétricas) para a terra, quando este atinge as redes elétricas. Esses equipamentos não possuem a função de atrair os raios, como fazem os para-raios instalados nas edificações, e sim de proteger o transformador contra queima e atenuar os problemas em eletricidade fornecida para os consumidores. Entretanto, quando um raio atinge a rede de distribuição de energia elétrica, a tensão normalmente é alterada para valores perigosos e os para-raios limitam o valor destas sobretensões e drenam a descarga elétrica para a terra.

Desta forma foram listados no programa de manutenção preventiva as seguintes atividades para minimizar os problemas com relação aos para-raios, conforme tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – PARA-RAIOS (ATIVIDADES x FREQUÊNCIA)

Atividades	Frequência
Limpeza do isolador de porcelana	Anual
Verificação dos pontos quentes através de termografia	Trimestral
Poda de árvores	Semestral

FONTE: O AUTOR

Adicionalmente, a empresa em estudo passará a executar a termografia em toda a rede de média tensão a cada três meses, visando identificar possíveis maus contatos entre as conexões ou nos próprios componentes. Existe um termovisor marca Flir e também um profissional capacitado, de forma que não ocorrerão custos externos para este trabalho.



A limpeza anual periódica auxiliará a minimizar a perda de isolamento ou fugas dos para-raios, que resultam em curto circuito.

## 2.11 Disjuntores de Média Tensão

Os disjuntores de média tensão apresentam uma estrutura robusta e compacta sendo utilizados para proteção de circuitos elétricos. A interrupção da corrente elétrica é feita dentro de uma estrutura cerâmica conhecida como ampola a vácuo. A ampola é completamente isolada permitindo uma taxa alta de vácuo em seu interior e abriga os contatos fixo e móvel. O arco elétrico inicia-se no momento em que os contatos se separam e, graças à estrutura em que estes contatos se encontram, é facilmente extinguido. O isolamento no interior da ampola previne a perda do vácuo e minimiza o desgaste dos contatos em caso de curto-circuito, também reduz eficientemente a energia gerada pelo arco.

Foram coletados em campo os dados de placa de todos os disjuntores de média tensão, os quais foram tabulados em uma planilha. O objetivo dessa coleta é informar o manutentor a prestar serviço de reparo com mais agilidade. Estuda-se também a possibilidade de manter algumas peças em estoque.

Foi proposto ainda um programa de manutenção preventiva periódica bienal nos disjuntores abrigados e anual nos disjuntores expostos ao tempo (cubículo fora edificação), conforme tabela 5.

Desta forma busca-se minimizar a probabilidade de paradas não programadas com manutenção corretiva.

Tabela 5 – DISJUNTORES MÉDIA TENSÃO (ATIVIDADES x FREQUÊNCIA)

Atividades	Frequência
Manutenção Preventiva no Disjuntor de Média Tensão	Bienal (abrigado)
Manutenção Preventiva no Disjuntor de Média Tensão	Anual (ao tempo)

FONTE: O AUTOR

## 2.12 Chave fusível

A chave fusível é utilizada para proteção de equipamentos e ramais das redes de distribuição de energia, principalmente para os troncos ou ramais que alimentam núcleos industriais e todas as cargas que não admitem interrupções prolongadas motivadas por falhas transitórias. Outro benefício de grande importância é a redução de deslocamento da equipe de manutenção, custos operacionais e interrupções prolongadas do fornecimento de energia.

Foi proposta a manutenção preventiva para minimizar os problemas com relação as chave fusível, conforme tabela 6 a seguir:

Tabela 6 – CHAVE FUSÍVEL (ATIVIDADES x FREQUÊNCIA)

Atividades	Frequência
Limpeza do isolador de porcelana e dos contatos	Anual
Verificação dos pontos quentes através de termografia	Trimestral

FONTE: O AUTOR

Outros problemas que ocorrem na rede de média tensão 13.8kV são queda de galhos, cabos rompidos e postes quebrados. Infelizmente estes são muitas vezes ocasionados pela natureza (ventos e descargas atmosféricas) e por erros de origem humana.

Para minimizar os problemas com relação à natureza, estamos propondo a revisão da rede de média tensão (amarração dos cabos nos isoladores, flecha dos condutores e outros), e sendo que já existe um programa de manutenção preventiva de poda de árvores. Com relação à ação humana, serão disponibilizados no curso de operadores de empilhadeira da empresa em estudo os cuidados ao se deslocar próximo da rede de média tensão, destacando os riscos com relação aos acidentes, os quais podem ser fatais. As alterações propostas no plano de manutenção preventiva estão mostradas na tabela 7, na qual foram destacadas em verde as ações com maior impacto na manutenção preventiva.

Tabela 7 – MANUTENÇÃO PREVENTIVA (ATUAL x PROPOSTO)

ITEM	ONDE?	O QUE?	PERIODICIDADE	
			ATUAL	PROPOSTO
1	Para-raios e chaves fusível	Termografia	Semestral	Trimestral
		Limpeza isolador de porcelana	Conforme identificado necessidade	Anual
		Poda de árvores	Semestral	Semestral
2	Transformadores	Análise de Óleo: Físico/Químico e Cromatográfica	Pontual	Semestral: Subestação Bienal: Especial A cada 5 anos: Normais
		Limpeza dos Trafos a Seco	Não é realizado	Bienal: pontos de maior sujeira
		Termografia	Semestral	Trimestral
		Descargas Parciais	Anual	Trimestral
3	Disjuntores de Média Tensão	Preventiva Geral	Não é realizado	Anual: instalados ao tempo Bienal: abrigado

FONTE: O AUTOR

Desta forma, a manutenção preventiva dos equipamentos da rede de media tensão, pode ser considerada como uma poderosa ferramenta para garantir o funcionamento contínuo das instalações responsáveis pelo suprimento e aproveitamento de energia elétrica. A avaliação em qualquer tipo de interrupção do processo, quando se trabalha com conceitos estatísticos, resulta na necessidade de implantação de programas de manutenção preventiva.

Diante dos resultados obtidos na coleta de dados do livro ata e histórico do SAP da empresa em estudo o objetivo principal foi adequar o intervalo de tempo e as condições da instalação a um novo período ininterrupto de funcionamento. Isto permitirá reduzir os custos dos problemas, que eventualmente ocorram durante os períodos de operação normal.

Observa-se que executar a manutenção preventiva da rede de média tensão não implica necessariamente em desmontagem e remontagem, mas na realização de uma série de procedimentos padrão.

Estes, por sua vez, devem se basear nas características técnicas e operativas, normalmente, suportadas por estudos estatísticos.

Com a prática proposta, a manutenção preventiva da rede de média tensão visa salvaguardar a rede contra interrupções e danos por meio da detecção e eliminação de causas potenciais de defeitos.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com a realização deste trabalho foi possível compreender a complexidade e a importância de um sistema eficaz de manutenção o qual deve ser considerados diversos fatores que vão desde a manutenção da produtividade até a segurança das pessoas envolvidas nas operações.

Através da estatística descritiva utilizando o Método de Monte Carlo e a Fórmula de Sturges, constatou-se que a maioria das causas de falhas na rede de média tensão foram resultantes da falta de controle e do envelhecimento dos equipamentos, apontando a necessidade da aplicação de um plano de manutenção preventiva.

Com base nos resultados deste artigo foi possível propor a implantação de um novo plano de manutenção preventiva, com o objetivo de melhorar principalmente a periodicidade das ações.

Depois de analisar a questão da manutenção preventiva sob os diversos aspectos envolvidos, foi possível concluir que a prevenção é a solução ideal contra as anomalias que afetam uma rede de média tensão industrial, além de garantir outros benefícios.

Podemos afirmar que a manutenção preventiva foi elaborada a fim de tornar a empresa competitiva em relação ao mercado globalizado, visto o aumento da competitividade crescente. Isso leva a necessidade de redução de custos, garantia da qualidade, atendimento de prazos estabelecidos pelos clientes cada dia mais exigente.

A manutenção preventiva permite que o maquinário e as redes de abastecimento de energia elétrica estejam em perfeitas condições, podendo assim garantir seu correto funcionamento, evitando paradas não programadas, conseguindo o cumprimento de prazos e custos estabelecidos pelos gestores e colaboradores.

Observa-se ainda que a manutenção estudada é de grande serventia na redução de custos de correção de falhas, diminui riscos de paradas de produção não programadas, evita falhas de produção, previne acidentes de trabalho, estende a vida útil do maquinário, entre outras vantagens citadas neste trabalho.

Enfim, após a elaboração deste artigo, podemos afirmar através do levantamento dos dados em campo e pelo histórico de falhas na rede de média tensão que a manutenção preventiva é mais conveniente quanto maior for a simplicidade na reposição, quanto mais altos forem os custos de falha, quanto mais as falhas prejudicarem a produção e quanto maiores forem as implicações das falhas na segurança das pessoas e no sistema operacional.

**REFERÊNCIAS**

ANDERSON et al. (2007) Estatística Aplicada à Administração e Economia. 2a ed. São Paulo: Cengage Learning.

CAMPOS, Vicente Falconi. Qualidade Total. Padronização de Empresas. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.

GOLDRATT, Elyahu M. A Síndrome do Palheiro: Garimpando Informações em um Oceano de Dados – 1. Ed – São Paulo: IMAM, 1991

MAMEDE Filho, João Instalações elétricas industriais / João Mamede Filho – 8. Ed. (reimpr.) – Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MARTINS, Gilberto de Andrade & DOMINGUES, Osmar. (2011) Estatística Geral e Aplicada. 4a ed. São Paulo: Atlas.

SANTOS, Afonso Henrique; Simões, Alexandre Augusto; Martins, André Ramon; et al. Conservação de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos. Itajubá, MG; Fupai, 2001.

XENOS, Harilaus Georgius d'Philippos. Gerenciando a Manutenção Produtiva. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.