



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO DE  
69KV**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO**

**POR**

**MIRELLE MOREIRA PEDROZA**

**Orientador: Prof.<sup>a</sup> Ana Paula Cabral Seixas Costa**

**RECIFE, SETEMBRO/2005**

P372a Pedroza, Mirelle Moreira

Análise dos modos de falhas em linhas de transmissão de 69KV /  
Mirelle Moreira Pedroza. – Recife: O Autor, 2005.

38 folhas, il., figs., tabs.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Ana Paula Cabral Seixas Costa.

TCC (graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Departamento de Engenharia Química, 2005.

Inclui referências.

1. Engenharia de produção. 2. Linhas de transmissão de 69KV. 3.  
Ferramentas árvores de falhas (FTA). 4. Modos e efeito das falhas. I. Ana  
Paula Cabral Seixas Costa (orientador). II. Título.

658.5 CDD (22. ed.)

UFPE

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, com amor e gratidão por ter me proporcionado às condições para que eu concluísse mais esta fase da minha vida, aos meus irmãos que sempre estiveram por perto me apoiando, principalmente nas horas mais difíceis e aos meus tios, especialmente Tia Lúcia. Aos meus avós que eu tanto amo, e principalmente à Deus, que me deu o dom de viver e prazer de tê-los como família. Aos meus amigos que moraram comigo, Lílian e Klênio, e aos amigos da CELPE pela contribuição de cada um na realização deste trabalho, e principalmente, na minha formação profissional e pessoal.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que eu atingisse esse objetivo de concluir a graduação em Engenharia de Produção, numa faculdade pública e de qualidade.

## RESUMO

Este trabalho consiste numa análise dos modos de falha nas Linhas de transmissão de 69 kV da Companhia Energética de Pernambuco. O estudo descreve inicialmente conceitos da área de manutenção e as ferramentas Árvores de Falhas (FTA) e Análise dos modos e efeito das falhas (FMEA) que foram utilizadas no trabalho.

Como entrada para análise tem-se os modos de falha e as falhas funcionais que foram identificados pela FTA, a realização da análise é feita por meio do FMEA. Como produto da análise apresenta-se o tipo de ação de manutenção a ser tomada, ou seja, o tipo de manutenção mais adequado ao modo e efeito da falha detectada.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>6</b>
1.1	JUSTIFICATIVA	6
1.2	OBJETIVOS	7
1.2.1	<i>OBJETIVO GERAL</i>	7
1.2.2	<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	7
1.3	METODOLOGIA	7
1.4	ORGANIZAÇÃO	8
<b>2</b>	<b>BASE CONCEITUAL</b>	<b>9</b>
2.1	MANUTENÇÃO	9
2.1.1	<i>TIPOS DE MANUTENÇÃO</i>	10
2.1.2	<i>ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO</i>	11
2.2	CONFIABILIDADE	11
2.2.1	<i>MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE</i>	13
2.2.2	<i>MANTENABILIDADE</i>	14
2.2.3	<i>DISPONIBILIDADE</i>	14
2.3	FALHA	15
2.3.1	<i>ÁRVORE DE FALHAS</i>	16
2.3.2	<i>FMEA</i>	19
2.3.3	<i>O USO CONJUNTO DA FTA E FMEA</i>	21
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA</b>	<b>23</b>
3.1	CELPE	23
3.2	LINHA DE TRANSMISSÃO (LT)	24
3.3	PROBLEMÁTICA	25
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b>	<b>26</b>
4.1	ÁRVORE DE FALHAS E FMEA	26
4.2	ANÁLISE	29
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>30</b>
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
5.2	LIMITAÇÕES	30
5.3	SUGESTÕES	30
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>31</b>
	“SITES” INTERNET	32

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Suprimento de Energia.....	6
<b>Figura 2.2:</b> Estrutura da árvore de falhas.....	12
<b>Figura 2.3:</b> Símbolos de Eventos.....	13
<b>Figura 2.4:</b> Portas Lógicas.....	14
<b>Figura 2.5:</b> Modelo de formulário FMEA.....	15
<b>Figura 2.6:</b> Relação entre FTA e FMEA.....	16
<b>Figura 2.7:</b> Comparação entre FTA e FMEA.....	17
<b>Figura 4.1:</b> Árvore de Falhas.....	21
<b>Figura 4.2:</b> Formulário FMEA.....	22

## ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Árvore de Falhas.....	32
<b>Anexo 2:</b> Formulário FMEA.....	33

# 1 INTRODUÇÃO

A evolução da expectativa dos clientes com requisitos de qualidade cada vez maiores tem exigido que as empresas do setor elétrico busquem superar patamares de segurança e confiabilidade no suprimento de energia, com conseqüente e indispensável análise dos custos envolvidos.

Diante desta realidade este estudo foi desenvolvido com objetivo de reduzir os custos da manutenção e garantir a disponibilidade do sistema a partir da Análise das Falhas nas Linhas de Transmissão. Para viabilizar esta análise foi necessário mapear os modos de falhas responsáveis pela interrupção no sistema de transmissão de energia elétrica da Companhia Energética de Pernambuco.

O contexto operacional na qual estão inseridos os equipamentos, suas funções e inter-relações, bem como as conseqüências para o processo produtivo merece atenção especial da área de manutenção, na eventualidade da ocorrência de falhas. No contexto deste trabalho, pretende-se realizar uma Análise dos Modos de Falha de uma Linha de Transmissão de 69kV. Para tal, julga-se importante primeiramente, versar sobre os principais conceitos que vão fundamentar este estudo, posteriormente descrever a problemática em análise, seguida da análise dos modos de falha, apresentada como um estudo de caso e por fim apresentar as conclusões obtidas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de aplicar os conceitos, vistos no curso de graduação em Engenharia de Produção, numa situação real e assim contribuir para o desenvolvimento da Companhia Energética de Pernambuco, especificamente a Unidade de Engenharia que está subdividida nas unidades de Manutenção de Linhas de Transmissão e Redes de Distribuição (EMTD) e na unidade de Manutenção de Subestações (EMS). Tendo a EMTD proporcionado uma ocasião oportuna de unir a teoria e a prática vivenciada diariamente no período de um ano de estágio curricular, resultando num maior aprendizado e crescimento profissional. E sobretudo, a oportunidade de estudar mais a fundo os conceitos relacionados à área de manutenção, bem como as ferramentas Árvore de falha e Análise dos Modos e Efeito das Falhas, cuja aplicação já está bastante difundida nesta área.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os Modos de Falha de uma Linha de Transmissão de 69 kV com o propósito de identificar as falhas funcionais, os modos de falhas dominantes e o efeito resultante de cada falha, bem como o tipo de ação mais adequada para cada situação. A fim de contribuir para o desenvolvimento de um plano de manutenção eficaz, formado por ações eficientes que garantam a confiabilidade e a segurança operacional ao menor custo e que atenda aos requisitos dos clientes no que diz respeito ao suprimento de energia.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar a falha relacionada a cada função da linha de transmissão;
- Identificar os diferentes modos de falha de cada subsistema da linha de transmissão;
- Determinar o efeito resultante de cada falha identificada;
- Determinar o tipo de manutenção de acordo com a avaliação da falha.

## 1.3 METODOLOGIA

O presente estudo originou-se da necessidade de apresentar alternativas que tornem ainda mais eficientes as ações da manutenção, visando à melhora do atendimento ao cliente com o menor custo possível. O mesmo foi realizado em duas etapas:

Na primeira etapa realizou-se uma revisão dos principais conceitos da área de manutenção que estão relacionados à solução do problema identificado. No decorrer desta fase percebeu-se a oportunidade da utilização de duas ferramentas de aplicação similar, porém com enfoques diferentes. Assim, a Árvore de Falhas (FTA) foi utilizada para identificar as causas básicas das falhas e a Análise dos Modos e Efeitos de Falhas (FMEA) para visualizar os possíveis modos das falhas de cada componente.

A segunda etapa do estudo caracterizou-se pela coleta dos dados junto aos especialistas da Companhia Energética de Pernambuco. Na qual foram levantados os dados necessário a realização do estudo, tais como as partes da Linha de Transmissão, os componentes de cada parte e em seguida fez-se a aplicação das ferramentas FTA e FMEA.

Diante do exposto acima, observa-se que a metodologia utilizada para desenvolver o presente estudo foi do tipo explicativa, uma vez que o objetivo deste trabalho é identificar os fatores que determinam a ocorrência das falhas e também a ação de manutenção mais adequada.

Adotada esta metodologia, percebeu-se que o procedimento técnico que mais se adequava seria a pesquisa documental do tipo levantamento, caracterizado pela interrogação direta dos especialistas sobre o problema estudado. O método escolhido foi o Estudo de Caso realizado nas Linhas de Transmissão de 69 kV da Companhia Energética de Pernambuco.

#### **1.4 ORGANIZAÇÃO**

Esta monografia está estruturada da seguinte forma: O presente capítulo traz a introdução, na qual constam a justificativa, metodologia e os objetivos do estudo. No segundo capítulo tem-se a argumentação teórica que fundamenta a análise, enquanto que o terceiro capítulo contextualiza o estudo através de uma breve explanação sobre a Companhia Energética de Pernambuco e o equipamento em estudo. No capítulo quatro faz-se a aplicação das ferramentas utilizadas para realização deste trabalho. E por fim, são feitas as considerações finais sobre a pesquisa desenvolvida.

## **2 BASE CONCEITUAL**

O planejamento da manutenção, atualmente vem obtendo uma maior visibilidade dentro das organizações, uma vez que deve conciliar objetivos conflitantes, tais como a minimização dos custos e a maximização do desempenho dos sistemas, que são cada vez mais complexos. Dentro deste contexto encontra-se a gestão da manutenção, a qual deve incorporar uma ótica diretamente associada aos impactos na competitividade do negócio deste sistema.

Diante do exposto acima, um estudo no contexto da gestão da manutenção requer uma visão abrangente dos principais conceitos referentes a esta área. Para isto é necessário definir manutenção e os principais tipos de manutenção, explanar sobre confiabilidade e sobre os conceitos relacionados, bem como descrever as ferramentas utilizadas, FTA e FMEA.

### **2.1 MANUTENÇÃO**

A manutenção está intimamente ligada com a percepção que o cliente tem da qualidade do produto para os tipos de sistemas de produção, podendo ser de Bens ou Serviços. Na produção de serviços, este impacto está diretamente associado com o atendimento das expectativas do cliente, enquanto que na produção de bens, as exigências cada vez maiores de desempenho competitivo dos sistemas de produção, requerem que os sistemas estejam disponíveis em tempo hábil, atendendo a credibilidade nos prazos acordados, bem como na qualidade desejada. (Almeida e Souza, 2001).

Assim, se percebe que a manutenção está em constante relacionamento com o cliente. Ainda que nem sempre exista interação direta entre ambos.

O termo manutenção tem origem no vocabulário militar, cujo sentido era manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material de nível constante. Segundo Slack (1997) manutenção aborda a forma pela qual as organizações tentam evitar as falhas, cuidando de suas instalações físicas. Esta definição enfatiza a prevenção e recuperação de falhas, uma importante área de atuação da manutenção. (Possamai et al, 2001).

Segundo a ABNT-TB 116 manutenção são todas as ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a poder permanecer de acordo com uma condição especificada.

De acordo com Pinto e Xavier (2001), a atual missão da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender ao processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados.

A missão básica da manutenção está associada ao atendimento de um sistema sujeito a eventos de comportamento aleatório, não tem muito sentido proceder a um gerenciamento da manutenção, sem levar em consideração os conceitos básicos associados ao funcionamento de dois elementos importantes do sistema em estudo:

- Equipamentos, cujo comportamento de falhas deve ser compreendido e está associado ao conceito de confiabilidade;
- Estrutura organizacional que inclui as equipes de manutenção, cujo comportamento de atendimento às falhas dos equipamentos deve ser compreendido, estando diretamente relacionada à definição de manutenibilidade.

### 2.1.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Conforme Kardec e Nascif (2001) a maneira pela qual é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações caracterizam os vários tipos de manutenção existentes, destacam-se os seguintes:

1. **Manutenção Corretiva** é a atuação para a correção da falha ou do desempenho deficiente, apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais, menor que o esperado. Na qual a ação principal é corrigir ou restaurar as condições de funcionamento do equipamento, sendo assim, uma manutenção que não é, necessariamente, a manutenção de emergência. Pode ser do tipo Não Planejada que corrige falha de maneira aleatória e Planejada caso contrário.
2. **Manutenção Preventiva** procura obstinadamente evitar a ocorrência de falhas, ou seja, prevenir. Dá se através da atuação de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.
3. **Manutenção Preditiva** também conhecida por manutenção Sob Condição ou Manutenção com Base no Estado do Equipamento, seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na Realidade o termo associado a este tipo de manutenção é predizer as condições dos equipamentos, privilegiando a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, visto que as medições e verificações são efetuadas com o equipamento em funcionamento.

4. **Manutenção Detectiva** é a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. A identificação dessas falhas é primordial para garantir a confiabilidade.

### 2.1.2 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

Segundo Almeida e Souza (2001) a Engenharia de Manutenção preocupa-se com o planejamento e gerenciamento de sistemas em operação. Para isto é necessário sistematizar as atividades de manutenção garantindo a confiabilidade das manutenções planejadas e dos serviços prestados.

## 2.2 CONFIABILIDADE

O termo confiabilidade na manutenção teve origem nas análises de falha em equipamentos eletrônicos para uso militar, durante a década de 50, nos Estados Unidos.

Confiabilidade é a probabilidade de que um item possa desempenhar sua função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de uso (Pinto e Xavier, 2001). Função requerida é o mesmo que cumprir a missão ou realizar o serviço esperado. Enquanto que as condições definidas de uso são as condições operacionais as quais o equipamento está submetido.

De acordo com Almeida e Souza (2001) A confiabilidade está associada à durabilidade de um item, considerando que esse item deve cumprir uma determinada missão durante certo intervalo de tempo. Podendo este item ser um componente, produto, sistema, etc.

Segundo Camargo (1981), confiabilidade esta definida como a probabilidade de um componente (aparelho, sistema, equipamento) cumprir suas funções pré-fixadas, dentro de um período de tempo desejado e debaixo de certas condições operativas.

No contexto de um sistema de fornecimento de energia elétrica a confiabilidade pode ser entendida como o grau de segurança com que o sistema de potência supre energia aos pontos principais de transmissão e distribuição (subestações). O fornecimento de energia elétrica pode ser explicitado pela figura 2.1:

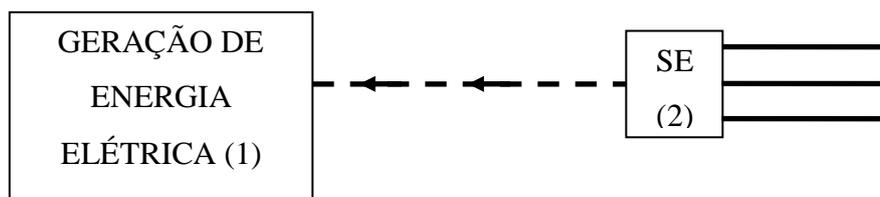


Figura 2.1: Suprimento de Energia

Fonte: O autor

Legenda:

Sistema de Potência (1)

Subestação (2)

Linha de Transmissão 69 kV - - -

Redes de Distribuição 13,8kV \_\_\_\_\_

Formalmente, Confiabilidade é definida como a probabilidade que este item irá realizar uma determinada função por um dado período de tempo  $t$ , sob condições operacionais específicas.

Adotando-se  $T$  como o tempo de vida do item, tem-se que a confiabilidade até o tempo  $t$  é probabilidade de que  $T > t$ , ou analiticamente:

Equação (2.1)

$$R(t) = \Pr(T > t)$$

$R(t)$  – Confiabilidade

$\Pr$  – Probabilidade

$T$  - Tempo de Vida

$t$  – tempo

A não operação desse item implica em falha, conforme Almeida e Souza (2001), a definição de falha pode ser efetuada em função do objetivo ao qual o item se destina, ou seja, a falha ocorre quando o item é incapaz de realizar sua função.

Segundo Pinto e Xavier (2001), falha pode ser definida como a cessação da função de um item ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho previsto.

A frequência na qual as falhas ocorrem é usada como parâmetro para formulação matemática da confiabilidade  $R(t)$  e é chamada de taxa de falhas. Esta é a probabilidade (instantânea) de falhas para um dado equipamento. Outro parâmetro empregado é o MTBF, que no modelo exponencial corresponde ao inverso da taxa de falhas; Vide Equação 2.2:

Equação (2.2)

$$\lambda = 1/MTBF$$

$\lambda$  - Taxa de Falhas

MTBF - Tempo Médio Entre Falhas

O modelo exponencial ocorre quando a variável aleatória segue uma distribuição exponencial. Sendo este modelo o mais utilizado devido a sua facilidade de utilização por requerer apenas a quantificação de um único parâmetro.

### 2.2.1 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

O Processo de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) foi desenvolvido em 1974 quando uma comissão do departamento de defesa dos Estados Unidos da América foi convocada para desenvolver um programa de manutenção para aviação civil. O resultado deste programa foi um relatório escrito por Stanley Nowlan e Howard Heap, da empresa United Airlines, que deram a ele o título de Reliability Centered Maintenance (RCM), (Moubray, 1997).

Segundo Moubray (1997), MCC é definida como “Um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer bem físico continue desempenhando a função que seus usuários desejam em contexto operacional presente”.

O objetivo principal é estabelecer um processo racional e sistemático de análise que permita a definição das tarefas de manutenção dos equipamentos para garantir a confiabilidade e a segurança operacional ao menor custo possível.

Assim, sem grandes preocupações formais, pode-se afirmar que a MCC envolve uma consideração sistemática das funções do sistema, o modo com estas funções falham e um critério de priorização explícito baseado em fatores econômicos, operacionais e de segurança para identificação das tarefas de manutenção que são aplicáveis e custo-benefício.

De acordo com Possamai e Nunes (2001) e Garcia et al (2001), a MCC é uma metodologia estruturada que tem por objetivo garantir que um equipamento desenvolva suas funções requeridas, nos padrões para o qual foi projetado, considerando seu contexto operacional.

Ainda conforme Possamai e Nunes (2001) e Garcia et al (2001), o processo de aplicação de manutenção centrada em confiabilidade indica que sistematicamente sejam aplicadas questões básicas sobre cada um dos itens em análise:

Quais são as funções e o padrão de desempenho do item no seu contexto operacional local? (identificação das funções)

De que forma ela falha em cumprir suas funções? (Identificação das falhas funcionais)

Que causa cada falha funcional? (Modo de falhas)

Que acontece quando ocorre cada falha? (Efeito das falhas)

De que forma cada falha tem importância? (Consequência das falhas)

Que pode ser feito para prevenir cada falha? (Tarefas de manutenção)

Que pode ser feito se não for encontrada uma tarefa preventiva adequada? (Reprojeto ou mesmo assim operar até a falha)

Para responder cada uma destas questões, a MCC utiliza ferramentas capazes de obter as devidas respostas. Dentre estas, destaca-se a Análise das Causas e Efeito das Falhas (FMEA), que será descrita posteriormente.

### 2.2.2 MANTENABILIDADE

A Manutenibilidade originou-se no contexto de projeto de equipamentos, cuja preocupação era buscar concepções de projeto que permitissem uma maior facilidade na realização de manutenção ou reparo de um item. Estando, assim, relacionada ao tempo para eliminar a falha, (Almeida e Souza, 2001).

Segundo Kardec e Nascif (2001), a manutenibilidade é a característica de um equipamento ou conjunto de equipamentos que permite, em maior ou menor grau de facilidade, a execução dos serviços de manutenção. Para a qual alguns princípios podem ser considerados como fundamentais em busca da melhoria da manutenibilidade. Destacam-se a associação aos conceitos de Qualidade, Segurança, Custo e Tempo; adotar critérios relacionados à área de suprimento tais como intercambiabilidade, padronização de sobressalentes e padronização de equipamentos na planta; sistema de monitoramento de falha e adoção de técnicas comuns, clássicas ou de domínio geral, que não exijam habilidade do pessoal da manutenção.

Formalmente, a manutenibilidade pode ser vista como a probabilidade de que um sistema falho retorne para operação dentro de certo período de tempo quando manutenção é realizada de acordo com procedimentos preestabelecidos.

Dentro deste contexto, a manutenibilidade assim como a confiabilidade, tem sua característica definida na fase de projeto e instalação, o que torna possível alcançar objetivos operacionais com o mínimo de desperdício de ações inerentes à manutenção, como homem-hora gasto, treinamento, tempo de preparação, tempo de deslocamento, tempo de localização, etc.

### 2.2.3 DISPONIBILIDADE

Disponibilidade, do Inglês Availability, pode ser conceituada como sendo o tempo em que o equipamento, sistema ou instalação está disponível para operar ou em condições de produzir. (Kardec e Nascif, 2001).

Disponibilidade pode ser definida como a probabilidade que um sistema está operacional (realizando sua função) em um dado instante de tempo quando utilizado em condições específicas. Podendo ser calculada pela Equação 2.3:

Equação (2.3)

$$A = \frac{\textit{TempoOperacional}}{\textit{TempoOperacional} + \textit{TempoForadeServiço}}$$

A - Disponibilidade

Conseqüentemente, a disponibilidade leva em conta o tempo operacional do sistema (quando o mesmo se encontra em um estado não falho-confiabilidade) e o tempo fora de serviço – manutenibilidade.

Almeida e Souza (2001) dizem que um item estará mais provavelmente disponível se tiver uma boa confiabilidade (falhar pouco) e uma boa manutenibilidade (quando falhar ser reparado rapidamente).

### 2.3 FALHA

Por falhas (avaria, defeito ou pane) se entende a perda parcial ou total de um componente, ou ainda uma modificação nas propriedades do mesmo que reduz sensivelmente, ou totalmente, as suas condições de trabalho. (Camargo, 1981).

Prevenir e corrigir falhas constituem os objetivos primários da manutenção. Para isto é necessário conhecer as formas como os sistemas falham e assim, evitar novas falhas.

A investigação deve determinar as causas básicas da falha e essa informação deve ser utilizada para permitir a introdução de ações corretivas que impeçam a repetição do problema. A função do componente ou equipamento deve ser considerada uma análise, uma vez que a falha pode ser conceituada como a ocasião em que o componente ou equipamento não é mais capaz de executar a sua função com segurança (Affonso, 2002).

Analisar uma falha é interpretar as características de um sistema ou componente deteriorado para determinar por que ele não mais executa sua função com segurança, visto que a falha consiste na interrupção ou alteração da capacidade de um item desempenhar sua função requerida ou esperada. (Siqueira, 2003)

As falhas podem ser vistas em termos dos diferentes modos de falhas, ou seja, pelos diferentes mecanismos e pelos diversos componentes do sistema. (Siqueira, 2003)

Comumente utiliza-se de ferramentas de representação de sistema para a identificação destas. De acordo com o foco deste trabalho serão descritas apenas a Árvore de Falhas e a ferramenta utilizada para Análise dos Modos e Efeitos das Falhas – FMEA.

### 2.3.1 ÁRVORE DE FALHAS

A FTA (Fault Tree Analysis) é um método sistemático e padronizado, capaz de fornecer bases objetivas para funções diversas, tais como análise de modos comuns de falhas em sistemas, justificação de alterações de sistemas e demonstração de atendimento a requisitos regulares e/ou contratuais, dentre outros (Andery e Helmas, 1995).

O conceito de análise da árvore de falhas foi criado em 1961, desenvolvido por H.A. Watson, na Bell Telephone laboratories, para avaliar o grau de segurança do sistema de controle de lançamento dos mísseis Minuteman. Sua plena utilização, no entanto, data início da década de 70, principalmente como uma ferramenta valiosa para os estudos de confiabilidade na indústria dos reatores nucleares.

Segundo Camargo (1981), a árvore de falhas constitui - se numa representação gráfica da lógica BOOLEANA, associada ao desenvolvimento de uma determinada falha no sistema.

A árvore de falha sintetiza como as falhas ou as falhas funcionais nas saídas do sistema são causadas por combinações lógicas de falhas nos componentes. Estas árvores de falhas podem compartilhar eventos básicos que resultam em causas comuns de falhas, isto é, as falhas nos mesmos componentes contribuem com falhas de mais de um sistema, (Papadopoulos *at all*, 2004).

A análise da árvore de falha é uma técnica dedutiva da análise de segurança que geralmente é aplicada durante a fase do projeto. Caracteriza-se por ser uma seqüência lógica desenvolvida de cima para baixo, cuja entrada consista no conhecimento das funções do sistema e suas modalidades de falha. O resultado da árvore de falhas é um jogo das combinações das falhas dos componentes que podem resultar em um mau funcionamento específico, (Xiang *at all*, 2004).

A análise se inicia a partir de uma falha do sistema, motivo do estudo, denominado de “Evento Topo”, e continua com a elaboração da seqüência ou combinação de fatos capazes de conduzir ao tal evento. O evento topo é um estado do sistema considerado anormal.

A árvore de falhas apresenta, de maneira simples e lógica, o encadeamento dos diferentes eventos que podem resultar no evento topo.

A análise é conduzida até atingir eventos ou situações básicas cujas análises não se consideram necessárias aprofundar. Os quais são denominados de eventos primários ou

básicos. A análise parte de uma situação em que há irregularidade do sistema e desce até as causas mais básicas responsáveis por ela. Assim o raciocínio é caracterizado como sendo “de cima para baixo”.

Uma vez obtido o conjunto de eventos que constituem a árvore e identificadas as determinadas causas básicas, deve-se elaborar um plano de ação para bloquear as mesmas, resultando na não ocorrência do evento topo. (Helman e Andery, 1995)

### 2.3.1.1 Estrutura da Árvore de Falhas

A estrutura da árvore de falhas é apresentada na Figura 2.1. Nela pode-se observar que o evento indesejado aparece no topo, ligado a eventos mais básicos por meio de símbolos de evento e portas lógicas.

A árvore finaliza nos seus eventos considerados como causas fundamentais ou causas básicas. Na FTA parte-se do efeito e chega-se à causa.

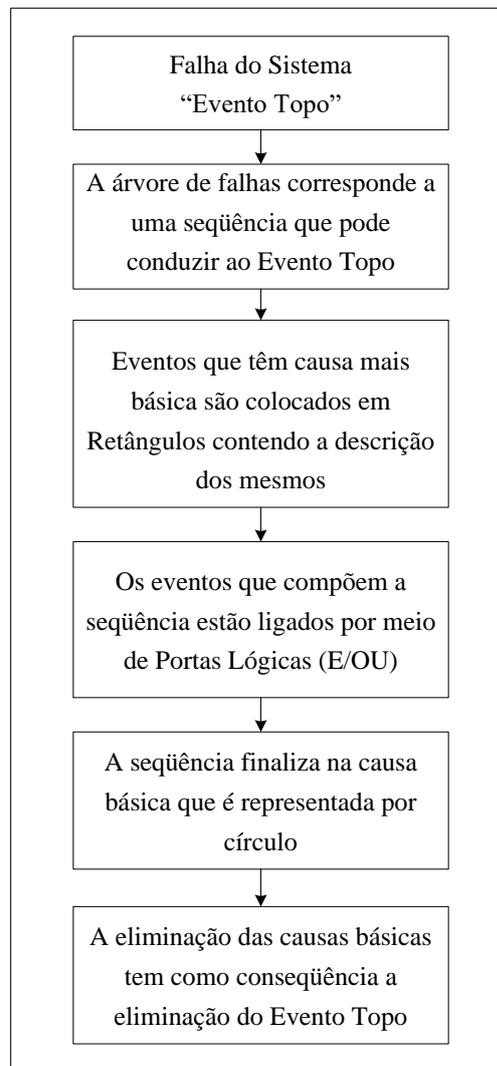


Figura 2.2: - Estrutura da árvore de falhas

Fonte: Helman e Andery (1995, p. 67).

2.2.1.2 Elementos da Árvore de Falhas

Os eventos são representados por meio de símbolos e unidos mediante pontos de união denominados “portas lógicas”. Destaca-se a seguir, os diferentes símbolos utilizados para os eventos e para as diferentes portas lógicas.

Na figura 2.2 são apresentados os símbolos mais usados para caracterizar os diferentes Eventos, com seus respectivos significados.

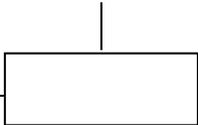
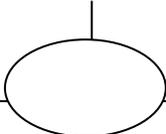
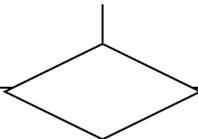
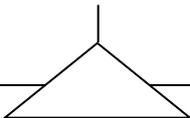
SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	EVENTOS QUE SÃO SAÍDAS DE PORTAS LÓGICAS
	EVENTOS ASSOCIADOS A FALHAS BÁSICAS
	EVENTOS NA REALIZADOS (OMITIDOS)
	INDICA A CONEXÃO COM OUTRO SÍMBOLO OU EVENTO
	PARÂMETRO ASSOCIADO A UM EVENTO QUE DEVE SER MONITORADO

Figura 2.3: - Símbolos de Eventos  
 Fonte: Helman e Andery (1995, p. 69).

Na figura 2.3 são apresentados os dois principais símbolos que caracterizam as Portas Lógicas, juntamente com sua definição.

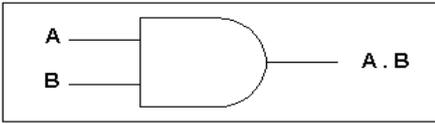
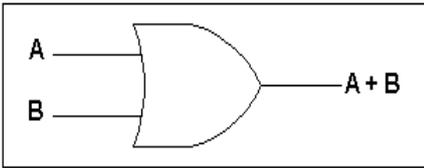
SÍMBOLO	NOME	RELAÇÃO CAUSA
	E	EVENTO DE SAÍDA SÓ OCORRE SE TODOS OS DE ENTRADA OCORREREM
	OU	EVENTO DE SAÍDA OCORRE SE PELO MENOS UM DOS DE ENTRADA OCORRER

Figura 2.4: - Portas Lógicas

Fonte: Adaptado de Helman e Andery (1995, p. 70).

### 2.3.1.2 Construção da Árvore de Falhas

A árvore de falhas será desenvolvida no capítulo 4 de Estudo de Caso no tópico 4.1 do presente estudo.

### 2.3.2 FMEA

Após a identificação das possíveis falhas de um item, o próximo passo deve ser em busca das formas como elas ocorrem, ou seja, dos modos de falhas. Os Modos de falhas resultam em falhas funcionais, ou falhas num componente do sistema. Ele expõe o que está errado na funcionalidade do item ou que parte deste está gerando a falha. Conseqüentemente, cada parte de um item pode ser responsável por um conjunto de modos de falhas. (Siqueira, 2003)

O Modo de falha está associado ao evento ou fenômeno físico que provoca a transição do estado normal para o estado anormal, descrevendo como as falhas funcionais acontecem, ou como se dá o mecanismo de falha, ou ainda o que pode falhar.

FMEA – Análise dos Modos e Efeitos das falhas – é um método de análise de sistemas (de produtos ou processos, industriais ou administrativos) usado para identificar todos os possíveis modos potenciais de falhas e determinar o efeito de cada falha sobre o desempenho do sistema (produtivo ou processo), mediante um raciocínio bastante dedutivo (Helmas e Andery, 1995).

De acordo com Pinto e Xavier (2001), FMEA é uma abordagem que ajuda a identificar e priorizar falhas potenciais em equipamentos, sistemas ou processos. Resultando num sistema lógico que hierarquiza as falhas potenciais, fornecendo recomendações para as ações preventivas, as quais são obtidas por meio de um processo formal que utiliza especialistas dedicados a analisar as falhas e solucioná-las.

A planilha FMEA determina para cada componente do sistema a modalidade de falha desse componente, o efeito da falha no sistema e como a mesma contribui para uma ou mais falhas de sistema. Sendo estas os eventos superiores de árvores de falha. (Papadopoulos *at all*, 2004).

Na planilha FMEA raciocina-se de “baixo para cima”, ou seja, preocupa-se em determinar os modos de falhas dos componentes mais simples, as suas causa e de que maneira eles afetam os níveis superiores do sistema.

Perguntas básicas são feitas pelo FMEA para identificação dos determinados modos: (Heman e Andery (1995) apud Garcia *at all* (2001)

- Que tipos de falhas são observadas?
- Que partes do sistema são afetadas?
- Quais são os efeitos das falhas sobre o sistema?
- Qual é a importância da falha?
- Como preveni-la?

Com o propósito de facilitar a identificação dos modos de falhas fez-se a utilização da planilha denominada de formulário FMEA, apresentada na figura 2.4, contudo o preenchimento é feito no capítulo 4 denominado de Estudo de Caso, tópico 4.2, intitulada Figura 4.1 deste trabalho.

LINHA DE TRANSMISSÃO (LT)								
ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DAS FALHAS							TIPO DE MANUTENÇÃO	
TIPO DE INSTALAÇÃO	SISTEMA	SUBSISTEMA	FUNÇÃO	FALHA	MODO DE FALHA	EFEITO	TIPO DE AVALIAÇÃO	AÇÃO

Figura 2.5: - Modelo de formulário FMEA

Fonte: Adaptada de Helman e Andery (1995, p. 30).

### 2.3.3 O USO CONJUNTO DA FTA E FMEA

São dois métodos para previsão de falhas em componentes (aparelho, sistema, equipamento), a utilização conjunta dos dois métodos resulta num efeito sinérgico, ou seja, uma beneficia-se com a utilização do outro. (Helman e Andery, 1995).

De acordo com Papadopoulos *at all* (2004), a vantagem de gerar um FMEA da FTA é que a FTA registra efeitos de combinações de componentes de falhas e essas informações podem ser transferidas para o FMEA.

Neste estudo, a FTA vai ser utilizada para estabelecer, de maneira lógica, o encadeamento das falhas do sistema a fim de facilitar a elaboração do FMEA.

Dessa forma cada um dos eventos básicos da FTA vai representar um item do FMEA.

#### 2.3.3.1 Comparação entre FTA e FMEA

A figura 2.5 sintetiza, respectivamente, a relação e a comparação dos dois métodos.

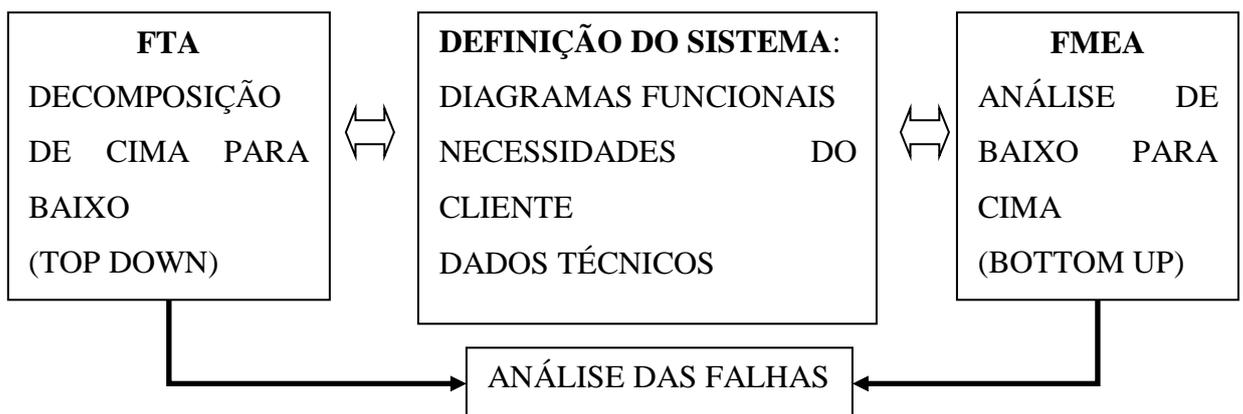


Figura 2.6. Relação entre FTA e FMEA

Fonte: Helman e Andery (1995, p. 23)

	<b>FTA</b>	<b>FMEA</b>
<b>OBJETIVO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificação das causas primárias da falhas</li> <li>• Elaboração de uma lógica entre falhas primárias e falhas final do produto</li> <li>• Análise da confiabilidade do sistema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificação das falhas críticas em cada componente, suas causas e conseqüências.</li> <li>• Hierarquizar as falhas</li> <li>• Análise da confiabilidade do sistema</li> </ul>
<b>PROCEDIMENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificação da falha (evento) que é detectada pelo usuário do produto</li> <li>• Relacionar essa falha com falhas intermediárias e eventos mais básicos por meio de símbolos lógicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise das falhas em potencial de todos os elementos do sistema, e previsão das conseqüências.</li> <li>• Relação de ações corretivas (ou preventivas) a serem tomadas</li> </ul>
<b>CARACTERÍSTICA BÁSICA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhor método para análise de uma falha específica</li> <li>• O enfoque é dado à falha do sistema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode ser utilizado na análise de falhas simultâneas ou correlacionadas</li> <li>• Todos os componentes do sistema são passíveis de análise</li> </ul>

Figura 2.7: Comparação entre FTA e FMEA

Fonte: Helman e Andery (1995, p. 23).

Neste capítulo foram apresentados os principais conceitos da área de manutenção, tais como a definição de Manutenção e dos principais tipos de manutenção, de confiabilidade, de falha, e das ferramentas FTA e FMEA utilizadas no estudo. No capítulo a seguir tem-se a descrição do problema em estudo.

### **3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA**

O presente capítulo tem como objetivo descrever o ambiente de estudo, feito através da apresentação da organização por meio de um breve histórico, das características do equipamento em análise e da definição da problemática.

#### **3.1 CELPE**

A Companhia de Eletricidade de Pernambuco (CELPE), juridicamente constituída como Sociedade de Economia Mista, foi criada no dia 10 de fevereiro de 1965. Naquele ano, a Empresa tinha 462 empregados e atendia a 156 localidades em Pernambuco, com 112.132 clientes e um consumo de 141.170 MWh. O sistema elétrico era composto de 14 linhas de 69 kV, com uma extensão de 344 km e 126 linhas em 13.8 kV, totalizando 1.150 km. A potência instalada das seis subestações de 69/13.8 kV era de 33 MVA, além de 156 redes de distribuição.

Com 2 milhões e 200 mil clientes, a Companhia atende 186 municípios e investe fortemente para prestar um serviço de qualidade. No último ano, a Empresa construiu 134 quilômetros de linhas de transmissão, 245 km de alimentadores, 740 km de redes de distribuição e eletrificou mais 21 mil propriedades rurais.

No dia 17 de fevereiro de 2000, a CELPE foi comprada por R\$1,7 bilhão pelo Consórcio Guaraniana, formado pela Iberdrola Energia, Caixa de Previdência dos Funcionários do Banco do Brasil (Previ) e BB Banco de Investimentos S.A O grupo adquiriu 79,62% do capital social da empresa e 89,60% do capital ordinário. Formando assim, a holding Guaraniana S/A.

A holding Guaraniana S/A, que controla as distribuidoras: Companhia de eletricidade do Estado da Bahia (Coelba), Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) e Companhia Energética do Rio Grande do Norte (Cosern), as geradoras de Itapebi (BA) e Termopernambuco (PE), e a comercializadora GCS Energia, passou a se chamar Neoenergia S/A desde outubro de 2004.

Em 2004 o grupo foi renomeado, passando a chamar-se Neo Energia, que atualmente constitui-se o terceiro grupo de maior investidor privado do setor de energia elétrica do Brasil e o maior da Região Nordeste, atendendo 6,6 milhões de clientes, abrangendo uma população de 24 milhões de pessoas.

A mudança no nome tem o objetivo de alinhar as empresas controladas a visão estratégica da holding, consolidando a grupo com um novo posicionamento, focado em resultados, rentabilização de ativos e oportunidade de crescimento profissional, mantendo o compromisso da qualidade do serviço aos consumidores, buscando conciliar o interesse público do serviço por concessão como os objetivos do acionista.

Como novo nome da holding, a empresa comercializadora de energia do Grupo também muda a sua denominação, passando a se chamar NC Energia.

No setor responsável pelo Planejamento da Manutenção de Linhas e Redes de Distribuição – EMTD, o planejamento da manutenção das linhas de transmissão é elaborado com base na confiabilidade, de modo que as correções de defeitos encontrados, exceto as emergências, são programadas para datas posteriores. Para garantir uma programação eficiente dessas manutenções, a CELPE vem investindo na utilização de sistemas de informação, tais como PRIMAN – Sistema de Priorização da Manutenção e o SECAM – Sistema Estatístico de Controle e Acompanhamento da Manutenção, uma vez que esse planejamento era feito apenas com o conhecimento a priori dos especialistas.

### **3.2 LINHA DE TRANSMISSÃO (LT)**

Conforme Camargo (1984), o objetivo final de um sistema de energia elétrica consiste em fornecer aos consumidores um produto (energia elétrica) de boa qualidade e economicamente acessível, procurando ao mesmo tempo minimizar possíveis impactos ecológicos.

Entende-se aqui um produto de boa qualidade o fornecimento contínuo de energia elétrica dentro de certos padrões ou faixas previamente especificadas.

De um modo geral, a energia elétrica é gerada e transmitida de grandes blocos, por unidades geradoras impulsionadas por turbinas a vapor, hidráulicas ou a gás e ligadas a estruturas de transmissão.

A rede de transmissão geralmente ocupa e se desenvolve por grandes extensões territoriais, integrando-se aos sistemas de distribuição mediante abaixadores e possibilitando ainda interligar sistemas vizinho.

Assim, as Linhas de Transmissão são os principais meios de transporte de energia elétrica em sistemas de potência, sendo caracterizadas por sua habilidade de conduzir a energia eletromagnética e limitar esta energia à proximidade da própria linha de transmissão. (Hedman, 1979)

As Linhas aéreas de transmissão de energia elétrica constam fundamentalmente de duas partes distintas. Um aparte ativa, representada pelos cabos condutores, que, segunda ensina a teoria eletromagnética, servem de guias aos campos elétrico e magnético, agentes de transporte de energia. E a parte passiva constituída pelos isoladores, pelas estruturas, pela base das estruturas, pelo estai, pelo aterramento e pelas ferragens da cadeia, (Almeida e Fuchs, 1982).

As estruturas que asseguram o afastamento dos condutores do solo e entre si, constituem os elementos de sustentação dos cabos das linhas de transmissão e terão tantos pontos de suspensão quanto forem os cabos condutores e cabos pára-raios a serem suportados.

As bases das estruturas são a base do poste, a base da torre e a defesa, as quais têm por objetivo proteger a estrutura de possíveis colisões de veículos e de intempéries do solo. Enquanto que o estai é uma cordoalha de aço que trabalha à tração, que liga um determinado ponto de um suporte de linha aérea a uma âncora ou contraposte, para assegurar ou reforçar a estabilidade do suporte, na medida em que absorve parte dos esforços horizontais, transmitindo-os diretamente ao solo.

O aterramento destina-se a descarregar ao solo as ondas de sobretensão de origem atmosférica, com finalidade distinta da proteção contra choque elétrico.

As ferragens da cadeia são as partes que proporcionam a ligação entre a estrutura e a cadeia de isolador, podendo ter vários tipos de configuração que variam de acordo como tipo de estrutura. Isoladores são dispositivos destinados a isolar e a suportar mecanicamente um equipamento ou um condutor ou outros isoladores.

### **3.3 PROBLEMÁTICA**

A problemática consiste na busca da otimização dos investimentos disponibilizados à manutenção, para isto faz-se necessário desenvolver um plano de ações eficazes que conduzam a eficiência na gestão da manutenção da companhia energética de Pernambuco.

Em tais ações deve-se estar claramente definido onde atuar, quando atuar e o quanto gastar. Para responder a essas questões é de fundamental importância conhecer os modos de falhas, as falhas funcionais, o efeito resultante da falha e o tipo de ação realizada diante da falha.

O próximo capítulo apresenta o Estudo de Caso, realizado na CELPE. A coleta dos dados foi feita no período de agosto de 2005, os quais foram definidos pela equipe de especialistas da instituição e o autor. Sendo retirados do sistema SAP/R3, os mesmos correspondem aos defeitos levantados em campo pelos executores da manutenção no período de agosto de 2004 a agosto de 2005.

## 4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso surgiu da necessidade de investigar as causas das falhas funcionais e os modos de falhas dominantes de equipamentos da Companhia Energética de Pernambuco, com a finalidade de proceder com ações de manutenção eficazes que atuem na causa geradora do problema, evitando retrabalho, perda de tempo e capital e elevando o moral dos decisores.

A escolha por Linhas de Transmissão de 69kV é resultante de uma disponibilidade facilitada dos dados necessários.

Para análise dos modos de falhas e das causas funcionais foi necessário o mapeamento do sistema, através da ferramenta FMEA, possibilitando a visualização da seqüência que identifica a falha, o efeito e a ação tomada.

O Estudo foi feito na Companhia Elétrica de Pernambuco - CELPE, como bases de dados foram utilizados os defeitos coletados nas inspeções em campo das linhas de transmissão de 69 kV. As inspeções são provenientes das ordens de manutenção planejada no sistema SAP/R3.

O sistema SAP/R3 é o Sistema de Informação Integrado utilizado na CELPE, o qual permite controlar os principais processos empresariais, tais como contabilidade, produção, vendas e recursos humanos com uma única arquitetura de software, em tempo real. Resultando em vantagens desde o aumento da eficiência até aumento da qualidade, produtividade e rentabilidade da empresa. (Turban at all, 2003).

### 4.1 ÁRVORE DE FALHAS E FMEA

A figura 4.1 representa uma parte da árvore de falha das Linhas de Transmissão da CELPE, a árvore completa está no apêndice 1 – Árvore de falhas (FTA).

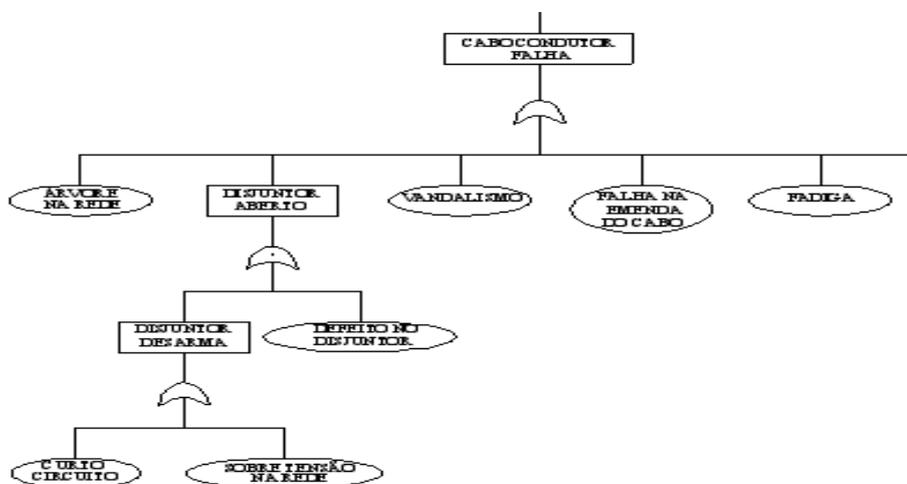


Figura 4.1: - Árvore de Falhas

Fonte: o autor

Nas reuniões internas, na unidade de manutenção de Linhas de Transmissão (LT) e Redes de Distribuição (RD) da CELPE, eram discutidos os problemas que ocorrem na unidade e as possíveis soluções. O gasto excessivo com a manutenção das linhas de transmissão e principalmente a repetição das possíveis falhas eram bastante notáveis, diante disto percebeu-se a necessidade de identificação destas falhas com o intuito de minimizar o retrabalho e, sobretudo, poder atuar na causa geradora da falha e solucioná-la.

O grupo de especialistas, que é formado por dois Engenheiros Eletricistas, um Engenheiro Elétrico, dois técnicos, um engenheiro em Engenharia Eletrotécnica e o autor perceberam a necessidade deste estudo, definindo o tema e os dados necessários para realização do mesmo.

Dessa forma, desenvolveu-se a árvore de falhas, representada pela Figura 4.1, a partir das sugestões dos especialistas que dividiram a LT nos seguintes sistemas: Cabo Condutor, base, estrutura, estai, aterramento, isolador e ferragens da cadeia. De posse dos sistemas o próximo passo foi identificar os componentes de cada sistema, os quais foram classificados como os elementos básicos da árvore de falhas.

Após levantamento dos eventos básicos da árvore de falhas iniciou-se o preenchimento do formulário FMEA, uma vez que cada um dos eventos básicos da FTA correspondeu a um sistema do FMEA. Para cada sistema foram determinados os componentes, sendo classificados como subsistema e para cada subsistema identificou-se a respectiva falha. Bem como, os modos de falhas e os efeitos das falhas resultantes nos subsistemas.

A figura 4.2 representa o formulário do FMEA, o formulário completo encontra-se no anexo 2 – Formulário FMEA.

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DAS FALHAS (FMEA)								
INSTALAÇÃO	SISTEMA	SUBSISTEMA	FUNÇÃO	FALHA	MODE DE FALHA	EFEITO	TIPO DE AVALIAÇÃO	AÇÃO DA MANUTENÇÃO
LINHA DE TRANSMISSÃO	Estrutura	Poste	Sustentação de condutores e/ou equipamentos	Falha na sustentação de condutores e/ou equipamentos	Poste oxidado	Depende do grau da oxidação ele pode causar curto circuito	manutenção	Manutenção Preventiva
		Torre	Sustentação de condutores e/ou equipamentos	Falha na sustentação de condutores e/ou equipamentos	Torre oxidada		manutenção	Manutenção Preventiva
		Cruzeta	Sustentação de condutores	Falha na sustentação de condutores	Parafuso da cruzeta faltando	Gerar uma avaria que resulta numa torção da cruzeta	falha	Manutenção Corretiva
	Fundação	Promover a fixação da estrutura no solo	Falha na fixação da estrutura no solo	intemperismo	Poste tombar	Análise	Manutenção Preventiva	
				Fundação alagada		Análise	Manutenção Preventiva	
				Fundação danificada		manutenção	Manutenção Preventiva	
	Base	Proteger a estrutura	Falha na Proteção da estrutura	Defensa faltando	Batida de automóvel a estrutura tombar interrupção no fornecimento de energia	manutenção	Manutenção Preventiva	
					defensa mal projetada	Batida de automóvel a estrutura tombar interrupção no fornecimento de energia	Análise	Manutenção Preventiva

Figura 4.2: - Formulário FMEA

Fonte: O autor

No formulário do FMEA, observa-se o local de Instalação que é a Linha de Transmissão (LT), o sistema que corresponde partes que compõem a LT, a saber, são Cabos Condutores, Estruturas, Base, Estai, Isolador, Ferragens da cadeia e Aterramento. Os subsistemas são as partes dos sistemas considerados, que são: Condutor, conexão, poste, torre, cruzeta, fundação, defesa, alça para estai, cordolha, haste de ancoragem, bloco de ancoragem, sapatilha, cadeia de isolador, grampo, cantoneira, concha olhal, manilha, elo bola, prolongador garfo-garfo, fio terra, conector do

aterramento e haste de aterramento. A função de cada subsistema, a falha relacionada a cada função, os modos de falhas, o efeito que cada modo de falha pode acarretar na LT. O tipo de avaliação que é um campo específico deste FMEA, visto que dele resulta a avaliação dada a cada relação do subsistema e o modo de falha a ele relacionado. Essa combinação pode ser classificada como Falha Iminente, Falha, Manutenção e Análise. As denominações são feitas a partir da probabilidade que a combinação subsistema X modo de falha resulte na interrupção no fornecimento de energia, sendo que a seqüência mencionada decresce o valor da probabilidade e conseqüentemente a prioridade da correção. Assim, se um item que for classificado como falha iminente significa que ele tem uma elevada probabilidade de interromper o fornecimento de energia tendo que ser corrigido imediatamente após detecção, enquanto que o classificado como análise pode ser planejada para posterior correção por apresentar uma pequena probabilidade na interrupção no fornecimento de energia. A Ação é o tipo de manutenção que é realizada em cada situação, ou seja, o tipo de manutenção realizada para corrigir a falha.

O tipo de avaliação é determinado pelo sistema de Apoio a Decisão (SAD), cujo objetivo é dar suporte as decisões relacionadas à manutenção, o mesmo realiza o cruzamento do subsistema com o modo de falha resultando no tipo de avaliação e conseqüentemente a ação da manutenção mais adequada.

## 4.2 ANÁLISE

A análise dos modos de falhas e das falhas funcionais foi realizada após preenchimento do formulário do FMEA apresentado no anexo 2 – Formulário FMEA.

Por meio deste levantamento observou-se que os principais modos de falha são os classificados com falha, a partir dessa avaliação tem-se que a manutenção corretiva planejada predomina na CELPE, uma vez que é corrigido e / ou substituído o subsistema defeituoso que foi identificado anteriormente nas inspeções feitas em campo.

Atualmente, as manutenções corretivas planejadas são responsáveis por 75% das ações realizadas, os 25% restantes são das manutenções corretivas não planejadas, ou para correções dos modos de falhas iminentes.

A utilização conjunta da FTA e FMEA possibilitou identificar a ação da manutenção mais adequada para cada relação subsistema X modo de falha, desta forma a unidade de manutenção da CELPE poderá desenvolver ações mais eficientes, reduzindo seu retrabalho e otimizando seus gastos com a manutenção das linhas de transmissão.

## **5 CONCLUSÃO**

### **5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A partir do estudo realizado, percebeu-se a oportunidade de mudança na ação realizada nos Tipos de Avaliações denominadas de manutenção e análise. Podendo fazer o monitoramento do defeito e detectar o momento exato da correção, a fim de evitar a falha e o custo antecipado com a correção do equipamento que ainda apresenta condições de uso.

Após as inspeções de campo realizadas deve-se elaborar um plano de manutenção para atuar apenas nos Tipos de Avaliações manutenção e análise, e gerar um banco de dados dessas correções objetivando evoluir para um estágio de prevenção das falhas, resultando na manutenção preventiva e posteriormente detectiva.

O objetivo do trabalho foi obtido, uma vez que os modos de falha, as falhas funcionais, os efeitos e o tipo de ação realizada foram identificados, possibilitando avançar para o próximo passo, que seria estudar a criticidade destes, realizar a priorização e gerar um plano de manutenção que possibilite a evolução por todos os tipos de manutenção e resulte na prática de Engenharia da Manutenção na CELPE.

### **5.2 LIMITAÇÕES**

Destaca-se a indisponibilidade dos especialistas, por falta de tempo, e conseqüentemente a dificuldade de obtenção dos dados necessários à construção da árvore, ao preenchimento do formulário do FMEA e a realização da análise necessária ao estudo. Acarretando numa análise menos abrangente do que sugere o tema proposto.

### **5.3 SUGESTÕES:**

Continuar o trabalho desenvolvido através da elaboração de uma nova etapa, a qual contemple a avaliação das conseqüências das falhas a partir da priorização das falhas funcionais e/ou modos de falhas dominantes. Tendo em vista o desenvolvimento de um plano de manutenção aplicável e custo-eficiente.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFFONSO, L. O. A., (2002), Equipamentos mecânicos: análise de falhas e soluções de problemas. Rio de Janeiro, Qualitymark: Petrobrás.
- ALMEIDA, A. T. DE; SOUZA, F. M. C. DE; (2001), Organizadores, et al. Gestão da Manutenção na direção da competitividade. Recife, Ed. Universitária da UFPE.
- ALMEIDA, A. T. DE, (1987) “Aspectos conceituais Considerados na Avaliação de Desempenho de sistemas”, IX SNPTEE, Belo Horizonte, MG.
- CAMARGO, C., CELSO DE B., (1981), Confiabilidade a Sistemas de Potência Elétrica. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- CAMARGO, C. DE B., (1984), Transmissão de energia elétrica: aspectos fundamentais. Florianópolis, Ed. da UFSC, Eletrobrás.
- FUCHS, R. D.; ALMEIDA, M. T., (1982), Projetos Mecânico das linhas aéreas de Transmissão. São Paulo – SP, Editora Edgard Blucher Ltda.
- Garcia, P. A. de A., Neves, J. C. S., Luz, V.; (2001) “Aplicação de um modelo DEA para Priorização de Modos de Falhas”, XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção; Salvador-BA, 17-19/Outubro/1997, pp. 188.
- HEDMAN, D.E., (1979), Teoria das Linhas de Transmissão I, tradução Kaehlet, J. W. M., Santa Maria.
- .HELMAN, H., ANDERY, P. R. P, (1995), Análise de Falhas (Aplicação dos métodos de FMEA – FTA). Belo Horizonte, MG, Fundação Chritiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG.
- KARDEC, A., NASCIF, J., (2001), Mnautenção: Função Estratégica. Rio de Janeiro, qualimark Ed.
- MOUBRAY, J., (1997), Reliability – centered maintenance, Oxford: Butterworth Heinemann.

- PAPADOPOULOS, Y., PARKER, D., GRANTE, C., Automating the failure Modes and Effects Analysis of safely critical Systems, “Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on High Assurance Systems Engineering” (HASE’04), 2004.
- PINTO, A., K, XAVIER. J. A. N., (2001), Manutenção: Função estratégica, Rio de Janeiro, Qualitymark Ed.
- POSSAMAI, O.; NUNES, E. L.; MOREIRA, E.; (2001) “A Prevenção de Falhas e as Macrofunções de um Método de manutenção”, XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção; Salvador-BA, 17-19/Outubro/1997, pp. 187.
- PAVLIK, B. L., (1989); Tecnologia da ferragem para Linhas de Transmissão de AT e EAT. São Paulo – SP, Editorial Gente.
- POSSAMAI, O.; NUNES, E. L.; (2001) “Falhas Ocultas e a Manutenção Centrada em Confiabilidade”, XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção; Salvador-BA, 17-19/Outubro/1997, pp. 171.
- SLACK, N., et al. Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 1997.
- SIQUEIRA, I. P., (2003). Manutenção Centrada na Confiabilidade, Apostila.
- TURBAN, E.; JUNIOR, R. K. R.; POTTER, R. E.; tradução de Souza, T. C. F. de; (2003) “Administração de Tecnologia da Informação”, Rio de Janeiro, Campus.
- XIANG, J., FUTATSUGI, K., HE, Y., fault tree and Formal method in System safety Analysis, “Proceedings of the Fourth International Conference on Computer and Information Technology” (CIT’04),2004.

## “SITES” INTERNET

<http://www.CELPE.com.br/intranet/aempresa>

[http://www.cemar-ma.com.br/html/conteudo\\_princ2g3.htm#cons\\_C](http://www.cemar-ma.com.br/html/conteudo_princ2g3.htm#cons_C)



LINHA DE TRANSMISSÃO (LT) ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DAS FALHAS								
INSTALAÇÃO	SISTEMA	SUBSISTEMA	FUNÇÃO	FALHA	MODO DE FALHA	EFEITO	TIPO DE AVALIAÇÃO	AÇÃO
L I N H A  D E  T R A N S M I S S Ã O  ( L T )	Cabos condutores	Condutor	Permitir a fluxo de corrente elétrica	Curto circuito	Condutor Desnivelado	Interrupção no fornecimento de energia	Falha	Manutenção Corretiva
					Condutor Tentos Partido		Falha	Manutenção Corretiva
					Condutor Corpo estranho		Falha	Manutenção Corretiva
					Condutor Deteriorado		Falha	Manutenção Corretiva
					Condutor mal tensionado		Análise	Manutenção Preventiva
					Condutor Entrançado		Falha	Manutenção Corretiva
					Condutor Vão baixo		Análise	Manutenção Preventiva
					Emenda mal aplicada		Falha Iminente	Manutenção Corretiva
					Emenda danificada		Falha Iminente	Manutenção Corretiva
					Emenda ponto quente		Falha Iminente	Manutenção Corretiva
	Conexão	Permitir a continuidade elétrica entre condutores	Diminuição ou falha na continuidade elétrica entre condutores	conexão oxidada	curto circuito seguido da interrupção no fornecimento de energia	Falha Iminente	Manutenção Corretiva	
				conexão ponto quente		Falha Iminente	Manutenção Corretiva	
	Estrutura	Poste	Sustentação de condutores e/ou equipamentos	Falha na sustentação de condutores e/ou equipamentos	poste oxidado	depende do grau da oxidação ele pode causar curto circuito	manutenção	Manutenção Preventiva
		Torre	Sustentação de condutores e/ou equipamentos	Falha na sustentação de condutores e/ou equipamentos	torre oxidada		manutenção	Manutenção Preventiva
		Cruzeta	Sustentação de condutores	Falha na sustentação de condutores	parafuso da cruzeta faltando	gerar uma avaria que resulta numa torção da cruzeta	falha	Manutenção Corretiva

INSTALAÇÃO	SISTEMA	SUBSISTEMA	FUNÇÃO	FALHA	MODO DE FALHA	EFEITO	TIPO DE AVALIAÇÃO	AÇÃO
L I N H A  D E  T R A N S M I S S Ã O  ( L T )	Base	Fundação	Promover a fixação da estrutura no solo	Falha na fixação da estrutura no solo	intemperismo	poste tombar	Análise	Manutenção Preventiva
					fundação alagada		Análise	Manutenção Preventiva
					fundação danificada		manutenção	Manutenção Preventiva
		Defensa	Proteger a estrutura	Falha na Proteção da estrutura	defensa faltando	batida de automóvel a estrutura tomba interrupção no fornecimento de energia	manutenção	Manutenção Preventiva
	defensa mal projetada				batida de automóvel a estrutura tomba interrupção no fornecimento de energia	Análise	Manutenção Preventiva	
	Estai	Alça para estai	Prender o cabo tornando cada vez rígido	Deixar o cabo solto/folegado	Alça para estai faltando	desequilíbrio da estrutura	falha	Manutenção Corretiva
					Alça para estai danificada		falha	Manutenção Corretiva
					Alça para estai folgada		falha	Manutenção Corretiva
					Alça para estai oxidada		falha	Manutenção Corretiva
		Cordolha	Fixar estrutura para que ela resista aos esforços direito e esquerdo	Deixar a estrutura solta resultando na inclinação desta	Cordolha para estai faltando		falha	Manutenção Corretiva
					Cordolha para estai danificada		falha	Manutenção Corretiva
					Cordolha para estai folgada		falha	Manutenção Corretiva
					Cordolha para estai oxidada		falha	Manutenção Corretiva
		Haste de Ancoragem	Fixar a cordoalha no chão	soltar a cordoalha	Haste de Ancoragem desenterrada		falha	Manutenção Corretiva
					Haste de Ancoragem danificada		falha	Manutenção Corretiva
					Haste de Ancoragem faltando		falha	Manutenção Corretiva
					Haste de Ancoragem oxidada		falha	Manutenção Corretiva
		Bloco de Ancoragem	Fixar a haste de ancoragem	soltar a haste de ancoragem	Bloco de Ancoragem danificada		falha	Manutenção Corretiva
					Bloco de Ancoragem faltando		falha	Manutenção Corretiva
		Sapatilha	Permite a proteção e passagem o cabo	falha na passagem do cabo	Sapatilha para estai faltando		falha	Manutenção Corretiva
Sapatilha para estai oxidada					falha		Manutenção Corretiva	

INSTALAÇÃO	SISTEMA	SUBSISTEMA	FUNÇÃO	FALHA	MODO DE FALHA	EFEITO	TIPO DE AVALIAÇÃO	AÇÃO
L I N H A  D E  T R A N S M I S S Ã O  ( L T )	Grupo Isolador	Cadeia de isolador	Isolar eletricamente e suportar mecanicamente os condutores da estrutura	Falha na isolação levando a corrente para terra	Cadeia de Isolador fora de prumo	curto circuito seguido da interrupção no fornecimento de energia	falha	Manutenção Corretiva
					Contapino da Cadeia de Isolador faltando		falha	Manutenção Corretiva
					Contapino da Cadeia de Isolado solto		falha	Manutenção Corretiva
					Contapino da Cadeia de Isolado danificado		falha	Manutenção Corretiva
					Presilha da Cadeia de Isolador danificada		falha	Manutenção Corretiva
					Cadeia de Isolador oxidada		Falha Iminente	Manutenção Corretiva
					Isolador trincado		falha	Manutenção Corretiva
					Isolador quebrado		falha	Manutenção Corretiva
					Isolador vazando		falha	Manutenção Corretiva
					Isolador poluído		Análise	Manutenção Preventiva
					Isolador oxidado		Falha Iminente	Manutenção Corretiva

INSTALAÇÃO	SISTEMA	SUBSISTEMA	FUNÇÃO	FALHA	MODO DE FALHA	EFEITO	TIPO DE AVALIAÇÃO	AÇÃO
L I N H A  D E  T R A N S M I S S ÃO  ( L T )	Ferragem da Cadeia	Grampo	Fixação na cadeia de isolador e nivelamento do condutor	Falha na fixação da cadeia	parafuso do grampo faltando	Desprendimento do cabo da cadeia de isolador	manutenção	Manutenção Preventiva
		Cantoneira	Fixar a cadeia de isolador e gerar estabiidade a estrutura	Falha na fixação da cadeia	parafuso cantoneira faltando		manutenção	Manutenção Preventiva
		Concha Olhal	Permitir a conexão da cadeia de isolador ao gancho de suspensão	Falha na fixação da cadeia	contapino concha olhal faltando		falha	Manutenção Preventiva
					concha olhal oxidada			Manutenção Corretiva
		Manilha	prende a cadeia de isolador a estrutura	Falha na fixação da cadeia	contapino manilha danificado		Falha Iminente	Manutenção Corretiva
		Elo Bola	Conexão entre a cadeia de isolador a manilha	Falha na fixação da cadeia	contapino elo bola danificado		falha	Manutenção Corretiva
		Prolongador Garfo-Garfo	Afastar a cadeia de isolador da estrutura para permitir o nivelamento do cabo condutor	falha no afastamento/ nivelamento do cabo condutor	parafuso prolongador garafo-garfo danificado		curto circuito	manutenção
	Aterramento	Fio Terra	Permitir o escoamento de correntes indesejáveis	Impedir o escoamento da corrente para terra	Fio terra partido	Tensão de passo elevada	manutenção	Manutenção Preventiva
		Conector do Aterramento	Proporcionar a ligação elétrica entre o condutor e a terra	falha na fixação do fio terra a haste de terra	Conexão oxidada		falha	Manutenção Corretiva
					Conexão faltando		Falha Iminente	Manutenção Corretiva
		Haste do aterramento	Liga o fio a terra permitindo o escoamento de correntes indesejáveis	falha no escoamento de corrente	Haste exposta		falha	Manutenção Corretiva
					Haste faltando		manutenção	Manutenção Preventiva

SISTEMA	SUBSISTEMA	FUNÇÃO	FALHA	MODO DE FALHA
Estrutura	Poste	Sustentação de condutores e/ou equipamentos	Falha na sustentação de condutores e/ou equipamentos	poste oxidado
Base	Fundação	Promover a fixação da estrutura no solo	Falha na fixação da estrutura no solo	intemperismo
Aterramento	Fio Terra	Permitir o escoamento de correntes indesejáveis	Impedir o escoamento da corrente para terra	Fio terra faltando

EFEITO	TIPO DE AVALIAÇÃO	AÇÃO
depende do grau da oxidação ele pode causar curto circuito	manutenção	Manutenção Preventiva
poste tombar	Análise	Manutenção Preventiva
Tensão de passo elevada	manutenção	Manutenção Preventiva