



ENCARREGADO DE ELÉTRICA

ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO



Ministério de
Minas e Energia



ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO



© PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S.A.
Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei 9.610, de 19.2.1998.

É proibida a reprodução total ou parcial, por quaisquer meios, bem como a produção de apostilas, sem autorização prévia, por escrito, da Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS.

Direitos exclusivos da PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S.A.

CORRÊA, Carlos Jesus Anghinoni
Organização da Manutenção / CEFET-RS. Pelotas, 2008.

36P.:7il.

PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S.A.

Av. Almirante Barroso, 81 – 17º andar – Centro
CEP: 20030-003 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

ÍNDICE

UNIDADE I	7
1.1 Introdução	7
1.2 Manutenção em motores elétricos, transformadores e disjuntores.....	7
1.2.1 Manutenção de motores elétricos	7
1.2.2 Manutenção de transformadores.....	19
1.2.3 Manutenção de disjuntores	25
1.2.4 Noções sobre confiabilidade	27
BIBLIOGRAFIA.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Motor Assíncrono Trifásico com Rotor em Gaiola	8
Figura 1.2 – Aquecimento do motor durante partidas freqüentes.....	11
Figura 1.3 - Principais defeitos.....	16
Figura 1.4 - Principais defeitos (continuação).....	17
Figura 1.5 - Principais defeitos (continuação).....	18
Figura 1.6 - Curva representativa da diminuição da população útil.....	32
Figura 1.7 – Curva típica de falhas	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Variação do rendimento de motores de 75 cv	9
Tabela 1.2 - Manutenção dos Isolantes Elétricos	11
Tabela 1.3 – Medidas para prevenir vibrações	12
Tabela 1.4 – Recomendações para prolongar a vida útil dos rolamentos.....	13
Tabela 1.5 - Defeitos mais freqüentes	14
Tabela 1.6 - Razões de sobrecarga mais freqüentes	15

APRESENTAÇÃO

O conceito moderno de manutenção, significa que a empresa só conseguirá executá-la, se procurar em termos de sistema, um no qual todos os envolvidos no processo, passando inclusive pelo fornecedor, são responsáveis por atingir os padrões de qualidade na manutenção pré-determinados.

E o que isso significa para o funcionário? Em nível operacional, isso quer dizer que boa parte da responsabilidade pelo sucesso da implantação de qualquer programa de manutenção em uma empresa passa pelo pessoal que põe a mão na massa. E nesse esquema, os operários são convidados a participar de grupos que estudam e discutem temas e problemas relacionados ao ambiente de trabalho, no que tange a manutenção.

Para poder perceber os problemas, suas causas, e propor soluções, a gente precisa saber como agir. É preciso ter ferramentas que ajudem nessa tarefa, porque, na maioria das vezes, as pessoas sentem que há algo errado, vêem que as coisas não estão funcionando bem, mas não se sentem seguras para propor soluções, por não saber o que está errado.

Assim, uma maneira de ajudar as pessoas a perceberem e analisarem problemas operacionais, na manutenção, é mostrando as várias ferramentas que existem e podem ser usadas em cada caso, ou seja, dar uma noção do que se pode fazer para obter dados que ajudem a analisar qualquer problema que surja.

I – MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

1.1 Introdução

Sabemos que, para um profissional sobreviver tem de fornecer serviços com qualidade. Devemos ter, também, a noção que uma das formas de atingir a meta é adequando os processos de produção e manutenção a um sistema de normas chamado ISO.

Assim, esperamos mostrar que isso não é trabalho e nem responsabilidade exclusiva dos gerentes e dos supervisores. Esse trabalho é de responsabilidade de todos os envolvidos no processo!

Mas, como saber se o serviço de manutenção executado é mesmo bom?

Bem, o primeiro passo é colher alguns dados que possam ajudá-lo nessa tarefa. Depois de colher os dados, é preciso organizá-los e analisá-los. É aí que entram as ferramentas, ou seja, os vários tipos de manutenção em equipamentos elétricos.

1.2 Manutenção em motores elétricos, transformadores e disjuntores

1.2.1 Manutenção de motores elétricos

1.2.1.1 Introdução

Os motores elétricos são responsáveis por grande parte da energia consumida nos segmentos onde seu uso é mais efetivo, como nas indústrias, onde representam em média mais de 50% do consumo de eletricidade dessas instalações. São, portanto, equipamentos sobre os quais é preciso buscar, prioritariamente, a economia de energia. Nos motores elétricos as operações de controle de materiais e equipamentos têm na sua maioria um efeito direto sobre o estudo mecânico e elétrico destes equipamentos, agindo direta ou indiretamente sobre seus rendimentos. Neste capítulo são

apresentadas ações que, se adotadas pelos técnicos de manutenção, resultarão na melhoria do rendimento dos motores existentes em suas instalações, proporcionando economia de energia elétrica.

Cabe ainda observar que 90% dos motores elétricos instalados são assíncronos com rotor em curto-circuito, sendo portanto este tipo de equipamento objeto da análise a seguir apresentada. A figura abaixo mostra as principais perdas que ocorrem nos motores elétricos assíncronos:

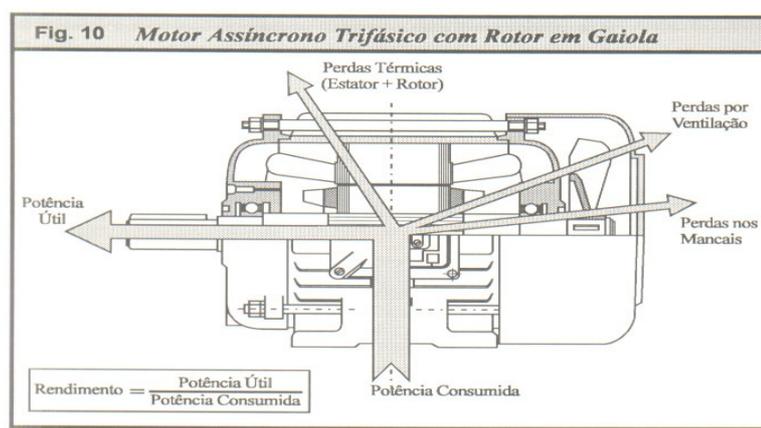


Figura 1.1 – Motor Assíncrono Trifásico com Rotor em Gaiola

1.2.1.2 Carregamento conveniente dos motores

Um motor elétrico é dimensionado para fornecer um conjugado nominal C_n , a uma velocidade nominal N_n . Isto é, para uma potência nominal P_n , temos:

$$P_n = C_n \times N_n$$

As perdas elétricas (ou perdas térmicas) variam com o quadrado do conjugado resistente (carga). Num motor bem dimensionado, o conjugado resistente deve ser menor que o conjugado nominal. Se for igual ou ligeiramente superior, o aquecimento resultante será considerável. Por outro lado, um motor "sub-carregado" apresenta uma sensível redução no rendimento. O carregamento ideal deveria corresponder à carga do trabalho a ser efetuado, o que nem sempre é fácil de determinar. Se o trabalho exigido da máquina acionada apresentar sobrecargas temporárias, a potência do motor deve ser ligeiramente superior à potência necessária. É importante limitar o crescimento das perdas, realizando adequada manutenção das máquinas e componentes mecânicos de acionamento, como por exemplo: regulagem das folgas, lubrificação adequada, verificação dos alinhamentos, etc.

Finalmente, devemos lembrar que motores individuais são geralmente mais econômicos em energia do que as transmissões múltiplas.

A título de ilustração, apresentamos no quadro a seguir a diminuição do rendimento de um motor assíncrono trifásico de 75 CV, 4 pólos, em função do carregamento apresentado em regime normal de operação.

Tabela 1.1 - Variação do rendimento de motores de 75 cv

Carregamento (%)	Diminuição do Rendimento (%)
70	1
50	2
25	7

1.2.1.3 Ventilação adequada

Nos motores auto-ventilados, o ar de resfriamento é fornecido por um ventilador interno ou externo acionado pelo eixo do motor. O fluxo de ar arrasta consigo poeira e materiais leves que obstruem aos poucos as aberturas ou canais e impedem a passagem do ar e a dispersão normal de calor, o que aumenta fortemente o aquecimento do motor. Por outro lado, é comum encontrar nas indústrias motores instalados em espaços exíguos que limitam a circulação do ar, provocando aquecimentos excessivos. Nos motores que utilizam ventilação forçada externa, a parada do grupo moto-ventilador pode causar os mesmos problemas.

Portanto, para assegurar o bom funcionamento das instalações, devem ser tomadas as seguintes precauções:

- Limpar cuidadosamente os orifícios de ventilação;
- Limpar as aletas retirando a poeira e materiais fibrosos;
- Cuidar para que o local de instalação do motor permita livre circulação de ar;
- Verificar o funcionamento do sistema de ventilação auxiliar e a livre circulação do ar nos dutos de ventilação.

1.2.1.4 Controle da temperatura ambiente

De forma geral, a temperatura limite suportada pelos isolantes do motor é calculada para o funcionamento num ambiente com temperatura de 40°C. Portanto, é importante verificar e controlar a temperatura ambiente para não ultrapassar os valores para os quais o motor foi projetado.

1.2.1.5 Cuidado com as variações de tensão

O equilíbrio térmico de um motor é modificado quando a tensão de alimentação varia. Uma queda de tensão limita o fluxo do circuito magnético, reduzindo as perdas no ferro e a corrente em vazio. Porém, o conjugado motor deve superar o conjugado resistente, para impedir o aumento excessivo do escorregamento. Como o conjugado motor é função do produto entre o fluxo e a intensidade da corrente absorvida, se o fluxo diminui a intensidade da corrente aumenta. Com a corrente em carga aumentada pela queda de tensão, o motor se aquecerá, aumentando as perdas. Um aumento de tensão de alimentação terá efeitos mais limitados, uma vez que a corrente em vazio aumenta enquanto a corrente em carga diminui.

1.2.1.6 Operação com partidas e paradas bem equilibradas

Devem ser evitadas as partidas muito demoradas que ocorrem quando o conjugado motor é apenas ligeiramente superior ao conjugado resistente: a sobreintensidade de corrente absorvida, enquanto a velocidade nominal não é atingida, aquece perigosamente o motor. Da mesma forma, uma frenagem por contra-corrente, ou seja, através de inversão do motor, representa, a grosso modo, o custo equivalente a três partidas. Em todos os casos, é fundamental assegurar-se que o conjugado de partida seja suficiente:

- Através da escolha de um motor adequado;
- Verificando se a linha de alimentação possui características necessárias para limitar a queda da tensão na partida;
- Mantendo a carga acoplada ao motor em condições adequadas de operação, de forma a não apresentar um conjugado resistente anormal.

1.2.1.7 Partidas muito freqüentes

Quando o processo industrial exige partidas freqüentes, essa característica deve ser prevista no projeto do equipamento e o motor deve estar adaptado para trabalhar desta forma. Porém, em consequência de reguladores de algumas máquinas, pode ser necessário proceder a várias partidas num tempo relativamente curto, não permitindo que o motor esfrie adequadamente.

A figura abaixo mostra que entre cada partida a curva de aquecimento tem sua origem e pico mais elevados e pode ultrapassar rapidamente o limite crítico de temperatura.

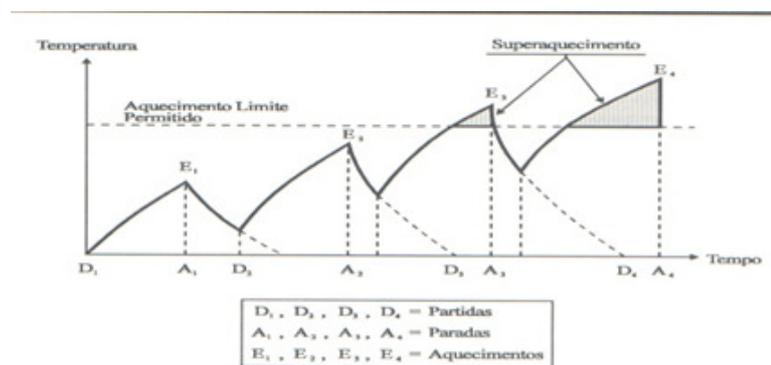


Figura 1.2 – Aquecimento do motor durante partidas freqüentes

Aconselha-se, durante essas regulagens, observar a temperatura do motor, proporcionando tempos de parada suficientes para que a temperatura volte a um valor conveniente.

1.2.1.8 Degradação dos isolantes térmicos

A vida útil de um isolante pode ser drasticamente reduzida se houver um sobreaquecimento representativo do motor. As principais causas da degradação dos isolantes são: sobretensão de linha, sobreintensidade de corrente nas partidas, depósito de poeira formando pontes condutoras, ataque por vapores ácidos ou gases arrastados pela ventilação. Para prevenir a degradação desses isolantes, recomendamos no quadro abaixo algumas medidas a serem tomadas:

Tabela 1.2 - Manutenção dos Isolantes Elétricos

Procedimentos para manutenção dos isolantes elétricos
Equipar os quadros de alimentação com aparelhos de proteção e comandos apropriados e verificar periodicamente o seu funcionamento.
Aproveitar os períodos de parada dos motores para limpar as bobinas dos enrolamentos.
Caso necessário, instalar filtros nos sistemas de ventilação dos motores, proporcionando-lhes manutenção adequada.
Colocar os motores em lugares salubres.
Verificar qualquer desprendimento de fumaça.
Verificar periodicamente as condições de isolamento.
Equipar os motores com dispositivos de alarme e proteção contra curtos-circuitos.
Observar ruídos e vibrações intempestivas.
Observar sinais de superaquecimento e anotar periodicamente as temperaturas durante a operação.
Observar o equilíbrio das correntes nas três fases.
Verificar se a freqüência prevista para o motor é realmente igual à freqüência da rede de alimentação.

1.2.1.9 Fixação correta dos motores e eliminação de vibrações

O motor standard é construído para funcionar com eixo horizontal. Para funcionamento com eixo vertical ou outras inclinações, o motor deve ser construído para esse fim, geralmente equipado com um mancal de encosto. Em poucas palavras, um motor nunca deve ser fixado numa inclinação qualquer de seu eixo sem que se tenha certeza de suas características próprias. Vibrações anormais causam uma conseqüência no rendimento do motor: elas podem ser conseqüência de uma falha no alinhamento, de uma fixação insuficiente ou defeituosa do motor em sua base, de folgas excessivas dos mancais, ou ainda de um balanceamento inadequado nas partes giratórias. Para controlar este problema, podemos tomar algumas medidas preventivas, mostradas no quadro abaixo.

Tabela 1.3 – Medidas para prevenir vibrações

Medidas para prevenir vibrações
Observar o estado dos mancais
Observar a vida útil média dos mancais (informação fornecida pelos fabricantes)
Controlar e analisar as vibrações de forma muito simples: basta colocar uma ferramenta sobre o mancal, aproximando o ouvido e detectando as falhas pelos ruídos produzidos
Tomar cuidado ao substituir um rolamento por outro
Nas paradas de longa duração, trocar periodicamente a posição de repouso dos rotores dos motores elétricos, assim como das partes móveis das máquinas.

1.2.1.10 Lubrificação correta dos mancais

É importante saber que a uma temperatura de 40°C, a vida útil de um rolamento de esferas em funcionamento contínuo pode ser de 3 a 4 anos ou mais. No entanto, para cada 10°C de elevação da temperatura de trabalho a vida útil diminui, em média, 50%. A correta lubrificação dos rolamentos, além de permitir um melhoria de rendimento, evita a elevação da temperatura que prejudica a vida útil desses equipamentos. A lubrificação dos rolamentos é feita geralmente com graxa mineral. Quando as temperaturas de operação forem elevadas (de 120°C a 150°C) ou as velocidades de rotação forem acima de 1.500 rpm, usa-se óleo mineral para a lubrificação. Esses óleos devem ter características lubrificantes adequadas às condições de trabalho. Nos motores de pequena potência, a lubrificação inicial na montagem é prevista de modo a assegurar um número elevado de horas de funcionamento. Às vezes, a reserva de graxa é suficiente para toda a vida útil do equipamento. Nos motores maiores há necessidade de lubrificação externa. A freqüência de lubrificação depende do projeto dos mancais e das características dos lubrificantes utilizados. No quadro abaixo são apresentadas algumas

recomendações que podem garantir maior vida útil para os rolamentos e um menor consumo de energia.

Tabela 1.4 – Recomendações para prolongar a vida útil dos rolamentos

Recomendações para prolongar a vida útil dos rolamentos
Respeitar os intervalos de lubrificação
Não engraxar excessivamente os rolamentos e limpá-los com gasolina antes de colar a graxa nova (salvo se houver evacuador automático de graxa)
Utilizar as graxas recomendadas pelo fabricante em função do serviço e da temperatura.
Para os mancais lubrificados a óleo, verificar os anéis de retenção e utilizar o óleo recomendado.
Observar a temperatura dos mancais em operação.
Cuidar para que a temperatura ambiente permaneça dentro dos limites normais.
Se o motor precisa funcionar num ambiente anormal, assinalar este fato ao fabricante no momento do pedido.
Durante a limpeza, evitar dos epósitos de poeira nas caixas de rolamentos.

1.2.1.11 Defeitos mais freqüentes

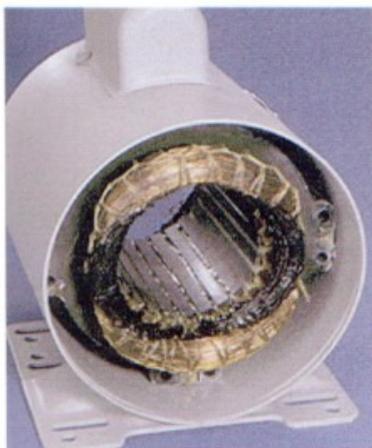
Tabela 1.5 - Defeitos mais freqüentes

Nº	Defeito	Sistemas Externos	Sintomas Internos	Causas	Razões mais freqüentes	Cuidados Futuros
01	Estator queimado por sobrecarga	- Temperatura alta da carcaça; - Cheiro de queimado; - Atuação das proteções; - Baixa Resistência de Isolamento nas 3 fases.	- Cabeças das bobinas uniformemente carbonizadas nas 3 fases.	Sobrecarga baixa durante um tempo longo ou sobrecarga forte por tempo curto.	Ver tabela 1.6	
02	Fase queimada	- Costuma acontecer em motores delta; - Baixa resistência de isolamento à massa de 1 fase; - Baixa resistência ôhmica da fase.	- Bobinas de fase carbonizada; - As duas outras fases intactas; - Sinais de curto na fase.	Falta de uma fase da alimentação. O motor ficou rodando como monofásico (com toda a carga).	- Fusível queimado numa fase; - Condutor de fase com interrupção.	- Verificar cabos e painéis; - Verificar o nível de rorina das proteções.
03	Duas Fases queimadas	- Costuma acontecer em motores Y; - Duas fases com baixa resistência de isolamento à massa; - Resistência ôhmica alterada em uma ou nas duas fases queimadas.	- Duas fases carbonizadas; - Uma fase intacta; - Às vezes, sinais de descarga entre espiras nas fases queimadas.	- Falta de uma Fase- motor rodando em monofásico.	- Cabo de fase interrompido; - Fusível queimado; - Falha no disjuntor térmico.	Idem item II
04	Curto entre duas fases	- As três fases com resistência de isolamento boa para a massa; - Resistência de isolamento nula entre 2 fases.	- Sinal de descarga entre duas fases, quase sempre na cabeça das bobinas.	- Colapso do isolante; - Sobretensão momentânea (manobra)	- Umidade excessiva; - Baixa resistência de isolamento entre fases; - Motor parado muito tempo.	Idem item II
05	Curto entre 1 fase e massa	- 2 fases com boa resistência de isolamento entre si; - 1 fase "furada" para a massa; - Resistência ôhmicas certas em duas fases; - Resistência boa ou nula na fase "furada".	- Muitas vezes não são visíveis; NOTA: Algumas proteções não atuam com o defeito se não houver interrupções por arco.			
06	Fase Interrompida	- Nos motores Y: interrupção ôhmica entre um borne e os outros dois; - Nos motores estrela: Nas 3 medições ôhmicas, uma é dupla das outras duas.				

Tabela 1.6 - Razões de sobrecarga mais freqüentes

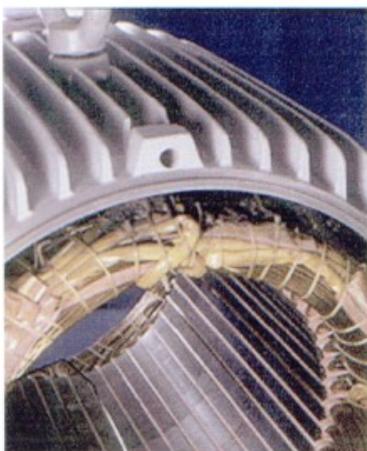
	Razões	Fazer	Determinar	Comparar	Soluções Futuras
01	Motores acoplados a ventiladores e a telas transportadoras com alto tempo de partida.	Análise da partida de motores a partir da curva de binário motor e binário resistente.	Curva de aceleração - Tempo de partida.	Rotor bobinado versus dupla gaiola.	- Gaiola dupla alta resistência; - Acoplador hidráulico;
02	Roçamento do motor no estator devido a falha do rolamento.				Verificar as causas de falha do rolamento.
03	Sobrecarga (pequena) deliberada - regulagem alterada da proteção térmica.				- Proibir sobrecarga; - Colocar motor de maior potência;
04	Tensão excessivamente pequena - sobre- itnensidade resultante e má regulagem do relé (ou térmico) de sobre- intensidade.				Ver causa da queda de tensão.

Nas figuras abaixo temos as ilustrações dos principais defeitos listados acima.



Diagnóstico: Queima na bobina auxiliar ou de partida.

Causa: Causada normalmente pela não abertura do conjunto centrífugo-platinado, deixando esta bobina ligada por mais tempo que o especificado. Objetos estranhos que penetrem no interior do motor poderão provocar este defeito.



Diagnóstico: Curto na conexão.

Causa: Defeito de isolamento, causado, caracteristicamente, por contaminações, abrasão, ou oscilação de tensão.



Diagnóstico: Curto contra a massa, na saída da ranhura.

Causa: Defeito de isolamento, causado, caracteristicamente, por contaminações, abrasão, ou oscilação de tensão.

Figura 1.3 - Principais defeitos



Diagnóstico: Curto entre espiras.

Causa: Defeito de isolamento, causado, caracteristicamente, por contaminações, abrasão, ou oscilação de tensão.



Diagnóstico: Queima por sobrecarga.

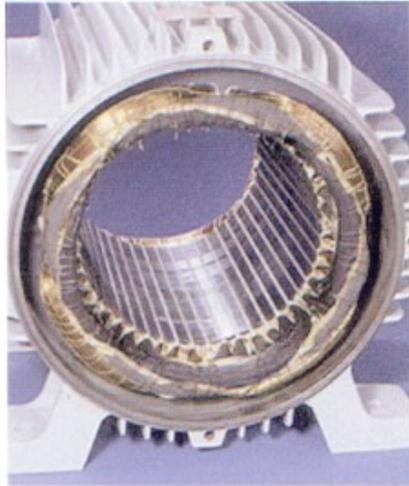
Causa: A queima total do isolamento em todas as fases do enrolamento trifásico, origina-se na sobrecarga do motor. Subtensões e sobretensões provocarão o mesmo tipo de falha.



Diagnóstico: Curto entre fases.

Causa: Defeitos de isolamento, causados, caracteristicamente, por contaminações, abrasão ou oscilação de tensão.

Figura 1.4 - Principais defeitos (continuação)



Diagnóstico: Fase danificada por desbalanceamento da tensão da rede.

Causa: Tensões desiguais normalmente são motivadas por cargas não balanceadas na rede de alimentação, por conexões deficientes junto aos terminais do motor ou por mau contato. Um desequilíbrio de corrente de 6% a 10% da nominal.



Diagnóstico: Falta de fase, motor ligado em estrela.

Causa: Surge em consequência de interrupção numa fase da rede de alimentação do motor. Geralmente, é um fusível queimado, um contator aberto, uma linha de força interrompida ou conexão deficiente.



Diagnóstico: Queima na bobina principal.

Causa: A sobrecarga do motor provoca a queima total do isolamento da bobina principal do enrolamento monofásico. Subtensões, sobretensões ou ainda, a bobina auxiliar não conectada no momento da partida, causam o mesmo tipo de falha.

Figura 1.5 - Principais defeitos (continuação)

1.2.2 Manutenção de transformadores

1.2.2.1 Otimização e monitoramento da operação dos transformadores

Os transformadores são máquinas estáticas que transferem energia elétrica de um circuito para outro, mantendo a mesma frequência e, normalmente, variando valores de corrente e tensão. Esta transferência de energia é acompanhada de perdas que dependem basicamente da construção do transformador, do seu regime de funcionamento e da manutenção nele efetuada. As principais perdas de energia em transformadores são as perdas no cobre e as perdas no ferro. As perdas no ferro são determinadas pelo fluxo estabelecido no circuito magnético e são praticamente constantes para cada transformador, estando ele operando com carga ou em vazio. As perdas no cobre correspondem à dissipação de energia por efeito Joule, determinada pelas correntes que circular nos enrolamentos do primário e do secundário e dependem da carga elétrica alimentada pelo transformador, sendo proporcionais ao quadrado dessa carga. Com relação às perdas no cobre, para se determinar o carregamento econômico de cada transformador devem ser considerados os parâmetros de construção, operação, tempo de utilização com carga e em vazio e o preço da eletricidade. Na prática, deve-se evitar o funcionamento dos transformadores com carga superior à potência nominal. O carregamento máximo deve situar-se em torno de 80%.

Para as perdas no ferro, deve-se avaliar o regime de operação em vazio de cada transformador, verificando-se a possibilidade de desligamento nos períodos onde eles não fornecem energia útil, evitando essas perdas. Essa avaliação deve levar em consideração as características construtivas de cada transformador e os custos de operação e manutenção envolvidos. Por exemplo, pode ser interessante dispor-se de um transformador de menor porte, exclusivo para a alimentação da iluminação, de modo que seja permitido mantê-la ligada para a execução dos serviços de limpeza e vigilância nos horários em que a empresa não estiver funcionando.

1.2.2.2 Considerações importantes quanto à instalação de transformadores

Altitude de instalação

Os transformadores são projetados conforme as normas da ABNT, para altitudes de até 1.000 m acima do nível do mar. Em altitudes superiores, o transformador terá sua capacidade reduzida, ou necessitará de um sistema de arrefecimento mais eficaz.

Ligações

As ligações de transformador devem ser realizadas de acordo com o diagrama de ligações de sua placa de identificação. As ligações das buchas deverão ser apertadas adequadamente, cuidando para que nenhum esforço seja transmitido aos terminais, o que viria a ocasionar afrouxamento das ligações, mau contato e posteriormente vazamentos por sobreaquecimento no sistema de vedação. As terminações devem ser suficientemente flexíveis a fim de evitar esforços mecânicos causados pela expansão e contração, que poderão quebrar a porcelana dos isoladores.

Aterramento do tanque

O tanque deverá ser efetiva e permanentemente aterrado através do seu conector de aterramento. Uma malha de terra permanente de baixa resistência é essencial para uma proteção adequada.

Componentes de proteção e manobra

Os transformadores devem ser protegidos contra sobrecarga, curto-circuito e surtos de tensão. Normalmente, usam-se chaves flexíveis, disjuntores, seccionadores, pára-raios, etc. Devem ser instalados o mais próximo possível do transformador.

1.2.2.3 Manutenção corretiva de transformadores

Generalidades

A partir das informações das rotinas periódicas, a Manutenção propõe à operação e, em caso de dúvida, à Superintendência Geral, o procedimento que deve ser adotado para Manutenção Preventiva ou Corretiva.

Para alguns tipos de informações colhidas impõe-se uma atuação urgente, pois, no caso de demora, podem ocorrer avarias muito grave no transformador.

Em outros casos, a atuação de manutenção pode aguardar algum tempo. Será possível, neste caso, a programação detalhada das verificações e trabalhos de beneficiação a executar. A data de paragem pode ser programada de acordo com os interesses do planejamento e da operação.

A título de exemplo, vão ser indicadas algumas ocorrências típicas que levam a atuações urgentes ou programadas.

Atuações de emergência

Certas ocorrências, verificadas pela manutenção nas visitas de rotina ou pelo próprio pessoal da operação, exigem desligamento imediato. Nos casos a seguir indicados não podem ser permitidas demoras no desligamento, qualquer que seja o estado de carga da rede ou os interesses imediatos da operação. É preciso que tenha havida negociação prévia e acordo entre manutenção e operação para que a atuação seja imediata, sem dúvidas e sem necessidade de consultas.

Eis algumas dessas situações:

a) Ruído Interno Anormal

Numa máquina estática, estes ruídos significam normalmente a ocorrência de arcos elétricos de partes em tensão para as partes metálicas ligadas à terra ou entre partes de tensão. Como exemplos, pode ocorrer um arco entre camadas numa bobina de A.T. ou uma disrupção entre uma conexão e o tanque, etc.

Numa fase inicial, um arco deste tipo, sendo um evento grave, pode manter-se localizado e correspondendo a danos limitados. A reparação pode ser parcial (refazer ou substituir uma bobina, refazer um isolamento, alterar uma distância, tratar o óleo) e demorar relativamente pouco tempo. Porém, qualquer demora no desligamento do transformador pode significar uma extensão do defeito e

conduzir a danos gravíssimos, com desligamento, evidentemente, das proteções de máxima e diferenciais. Nestes casos o defeito pode ir até o nível de destruição do transformador.

b) Vazamento forte de óleo

Também neste caso não é possível aguardar pois corre-se o risco de o nível baixar a valores inferiores ao mínimo admissível e de se estabelecerem disrupções do ar das partes superiores em tensão.

c) Dispositivo de pressão atuado

Neste caso o disparo pode ser automático. Não se deve tentar o religamento antes de se ter verificado e corrigido a causa da sobre-pressão. A causa é, normalmente, um arco interno que pode não ser audível.

d) Relé de gás atuado

O relé de gás tem habitualmente dois níveis de atuação: alarme e disparo. A atuação do alarme corresponde a pequenas liberações de gás. É necessário verificar por testes simples, a natureza deste gás. Pode ser constituído por gases dissolvidos, vapores de compostos voláteis formados pelo aquecimento, pequenas bolhas devidas à decomposição por descargas corona, etc.

O gabinete de métodos deve indicar os testes a efetuar e os critérios em que a liberação é admissível. Se a natureza dos gases for indicativa de possível arco, então, o transformador deve ser desligado o mais rapidamente possível mesmo que apenas tenha ocorrido alarme. Se houver atuação do flutuador e contatos de disparo do relé de gás, então o transformador, desligado por disparo do disjuntor, não pode ser novamente religado. É necessário investigar, por exame da parte ativa, qual foi a causa da ocorrência e proceder aos reparos necessários.

e) Quebra do diafragma da válvula de segurança (tubo de explosão)

A atuação é idêntica a do item 3

f) Sobreaquecimento excessivo nos conectores, verificado por termovisão

Este aquecimento pode significar a iminência de um mau contato franco e de um arco com destruição do conector. Também nesta ocorrência não é possível aguardar que a anomalia degenera até o nível de destruição. O transformador tem que ser retirado de serviço.

g) Anomalias dos acessórios de proteção e medição

Neste grupo de anomalias, a listagem das que exigem desligamento deve basear-se nas particularidades do transformador e ser estabelecida pelo gabinete de métodos, de acordo com o fabricante.

Desligamentos programados

Outras anomalias verificadas, apesar de não oferecerem riscos a curto prazo, devem exigir um desligamento do transformador no prazo mais curto possível, sem grande prejuízo das condições de exploração do sistema. Algumas dessas condições anormais são as seguintes:

1. Vazamentos de óleo pequenos ou moderados, não oferecendo o risco de abaixamento perigoso do nível.
2. Aquecimento pequeno nos conectores (indicado pelos critérios de termovisor).
3. Anormalidades no ensaio de óleo, isto é, valores nas tabelas (pg.26 - NBR-7037/1981) ou valores considerados anormais por comparação com medições anteriores.
4. Anomalias na atuação do comutador de derivação em carga. Bloquear a atuação do comutador, de acordo com a operação e aguardar para desligamento em ocasião mais propícia.

Secagem da parte ativa dos transformadores

Sempre que no ensaio de rigidez dielétrica e determinação do teor de água se verificam índices excessivos de umidade no óleo é necessário:

- Desidratar o óleo;
- Secar a parte ativa do transformador.

De fato a capacidade de absorção de água nos isolantes sólidos é muito alta, maior do que no óleo. No equilíbrio que se estabelece entre o óleo e os dielétricos sólidos, a quantidade de água retirada por absorção nos isolantes de papel e papelão atinge uma proporção ponderal superior. Será útil proceder ao tratamento e secagens do óleo se a parte ativa contiver retida água nos isolantes.

Ao fim de pouco tempo o óleo voltará quase ao mesmo estado de umidade anterior. Os métodos a adotar para as secagens da parte ativa (núcleo, enrolamentos e conexões) dependem da dimensão do transformador e das facilidades disponíveis.

Enchimento com óleo

Antes de se iniciar o enchimento de um transformador, com óleo provindo do tanque de armazenamento é necessário circular o óleo pelo equipamento de tratamento e pelo tanque até se obterem para o óleo características iguais ou superiores às estabelecidas para o óleo novo. Nos casos em que o tanque suporta vácuo, o enchimento deve ser feito com a pressão no interior do tanque reduzida até o valor de cerca de 2mmHg, durante a fase inicial. O tempo durante o qual é aplicado o vácuo deve ser suficiente para a secagem do transformador. Uma regra é aplicar o vácuo durante um tempo igual ao período durante o qual esteve aberto acrescida de mais 4 horas. Antes de iniciar o enchimento, deve-se aterrar o tanque e os terminais e também as mangueiras, tubulações e todo o equipamento de tratamento e enchimento. Esta precaução destina-se a evitar cargas estáticas que possam produzir descargas e incendiar o óleo.

A temperatura do óleo deve estar entre 400 C e 600 C.

O enchimento deve ser efetuado pela parte inferior do transformador e deve ser realizado até que toda a parte ativa esteja coberta de óleo.

Durante a operação de enchimento deve ser verificado o valor da rigidez dielétrica do óleo de hora em hora. O vácuo deve ser verificado todos os 5 minutos. Os valores de rigidez dielétrica devem ser concordantes com os obtidos antes do início do enchimento e devem respeitar os limites indicados na tabela da NBR-7037/1981.

Medição da resistência dos enrolamentos

Alguns ensaios dão indicações quanto ao estado interno do transformador. Um ensaio que é executado durante a recepção, mas que é necessário após reparação dos enrolamento ou após a ocorrência de arcos internos, com fins de diagnóstico, é o ensaio de medição da resistência dos enrolamentos.

Após manutenção, desequilíbrio na resistência das fases pode indicar erros no número de espiras, diferenças nas seções das barras ou até alterações na qualidade do cobre eletrolítico usado. Depois da ocorrência de ruídos internos que levam à suspeita de arcos, a medição cuidadosa das resistências ôhmicas dos vários enrolamentos pode indicar se houve corte de condutores ou curto-circuito entre espiras de camadas antes mesmo da abertura do tanque.

1.2.3 Manutenção de disjuntores

1.2.3.1 Generalidades

A manutenção dos disjuntores de pequeno volume de óleo requer, fundamentalmente, cuidados com os seguintes componentes: Óleo isolante, contatos, buchas, atuador mecânico e circuitos auxiliares.

Os cuidados com o óleo são idênticos, em grande parte, aos que são realizados na manutenção de transformadores. Devem ser adotadas, por exemplo, as práticas:

- Extração do óleo para ensaios de umidade e de rigidez dielétrica;
- Técnica de ensaio de rigidez dielétrica;
- Enchimento com óleo.

Há porém diferenças no que concerne às características admissíveis para o óleo de enchimento de disjuntores, como se indicará.

Também a degradação do óleo num disjuntor, após um certo número de atuações, é muito rápida, devido às decomposições e carbonizações produzidas pelo arco elétrico. Os ensaios de verificação e os tratamentos de óleo serão muito mais freqüentes.

A parte mecânica requer cuidados especiais pois dela depende o bom desempenho do disjuntor.

Deve ser verificada, no teste de recepção e após manutenções, ou mesmo preventivamente, a simultaneidade dos pólos.

Também deve-se proceder, quando necessário, testes de medição dos tempos de abertura e fechamento.

Outras verificações muito importantes para a manutenção são:

- Verificação da resistência ôhmica dos contatos principais;
- Verificação dos contatos auxiliares;
- Verificação dos resistores de fechamento (se existirem);

Nos disjuntores de corrente alternada de alta e extra tensão é necessário proceder a ensaios mais elaborados que a manutenção deve dominar. Estes ensaios são executados não só na recepção como também após trabalhos de revisão mecânica e elétrica ou de manutenção corretiva.

Estes ensaios são normalmente designados como: ensaios sintéticos com métodos de injeção. Pela sua complexidade, só podem ser, normalmente, feitos no fabricante.

Ensaio sintéticos com métodos de injeção

Estes ensaios estão descritos em grande detalhe teórico na NBR 7102/1981. Os circuitos de ensaio direto estão, por sua vez, normalizados pela NBR 7118.

Designa-se como ensaio sintético um ensaio de curto-circuito no qual a corrente total de curto ou uma grande porcentagem desta corrente é fornecida por uma fonte (circuito de corrente à frequência industrial), ao passo que a tensão de restabelecimento transitória provém na sua totalidade ou parcialmente de outras fontes separadas (circuitos de tensão).

A tensão nos bornes da fonte de corrente à frequência industrial, é normalmente, uma fração da tensão da fonte de tensão. a potência necessária para o ensaio é, assim, muito menor.

Há duas variantes do ensaio sintético:

- Método de injeção de corrente: A fonte de tensão é ligada ao circuito de ensaio "antes" do zero de corrente (antes do apagamento do arco); a fonte de tensão fornece deste modo a corrente através do disjuntor sob ensaio durante o período de zero de corrente.
- Método de injeção de tensão: A fonte de tensão é ligada ao circuito em ensaio "após" o zero de corrente. Então o circuito de corrente à frequência industrial, fornece a corrente através do disjuntor durante o período de zero de corrente.

Verificação da simultaneidade dos pólos (disjuntores trifásicos)

Após a manutenção de disjuntores é necessário proceder a testes para verificar a simultaneidade de fechamento dos pólos. As técnicas mais correntes são descritas a seguir:

Disjuntores de grande volume de óleo

O método adotado é muito simples. São estabelecidos três circuitos alimentados, por uma baixa tensão alternada ou contínua, e constituídos cada um pelo contato do disjuntor e por uma lâmpada.

O disjuntor é fechado lentamente, por meios manuais. Antes da regulagem de espaço entre contatos, as três lâmpadas acendem em momentos diferentes.

O ajuste da simultaneidade dos pólos consiste, evidentemente, em levar as lâmpadas a acender no mesmo momento.

DISJUNTORES DE M.T e E.M.T.

Nos disjuntores a ar ou a SF6 o ensaio de fechamento simultâneo é, habitualmente, realizado nas seguintes condições:

- Disjuntor no local de instalação, já montado;
- Alimentação dos 3 pólos com uma tensão auxiliar contínua de 12 volts (dada, por exemplo, por uma bateria);
- Limitação da corrente (após o fechamento) com 3 resistores com um valor na ordem das dezenas de ohms;
- Conexão de um osciloscópio de 3 canais, com entrada ligadas aos terminais dos resistores;
- Estabelecimento do circuito da bobina de fechamento;
- Envio de um sinal de corrente da bobina de fechamento para o osciloscópio;
- Envia-se sinal de fechamento do disjuntor;
- Mede-se os tempos de fechamento a partir dos resultados mostrados no osciloscópio, verificando-se a simultaneidade (ou não) dos pólos;
- Os ajustes mecânicos permitirão a melhor simultaneidade possível.

1.2.4 Noções sobre confiabilidade

1.2.4.1 Introdução

A operação prolongada e eficaz dos sistemas produtivos de bens e serviços é uma exigência vital em muitos domínios. Nos serviços, como a Produção, Transporte e Distribuição de Energia, ou no serviço de transportes, as falhas súbitas causadas por fatores aleatórios devem ser entendidas e contrabalançadas se se pretende evitar os danos não só econômicos mas especialmente sociais. Também nas Indústrias, hoje caracterizadas por unidade de grande volume de produção e de alta complexidade, dotadas de sistemas sofisticados de automação, impõe-se, com grande acuidade, a necessidade de conhecer e controlar as possibilidades de falhas, parciais ou globais, que possam comprometer, para lá de certos limites, a missão produtiva. As perdas operativas traduzem-se aqui por elevados prejuízos econômicos para a empresa e para o país.

Estas exigências impulsionaram a criação e desenvolvimento de uma nova ciência: A TEORIA DA CONFIABILIDADE. Esta disciplina tem por escopo os métodos, os critérios e as estratégias que devem ser usados nas fases de concepção, projeto, desenvolvimento, operação, manutenção e distribuição de modo a se garantir o máximo de eficiência, segurança, economia e duração.

Em especial, visa-se ao prolongamento da atividade do sistema a plena carga e de modo contínuo, sem que o sistema seja afetado por defeitos nas suas partes integrantes.

Fundamentalmente, a teoria da Confiabilidade tem como objetivos principais:

- Estabelecer as leis estatísticas da ocorrência de falhas nos dispositivos e nos sistemas.
- Estabelecer os métodos que permitem melhorar os dispositivos e sistemas mediante a introdução de estratégias capazes da alteração de índices quantitativos e qualitativos relativos às falhas.

A teoria da Confiabilidade (ou, apenas, Confiabilidade) usa como ferramentas principais:

- A Estatística Matemática
- A Teoria das Probabilidades
- O conhecimento experimental das causas das falhas e dos parâmetros que as caracterizam nos diversos tipos de componentes e sistemas.
- As regras e estratégias para melhorar o desempenho dos sistemas de várias naturezas e as técnicas para o desenvolvimento dos sistemas.

Uma das finalidades da Confiabilidade é a elaboração de regras que permitam a concepção de sistemas muito complexos (computadores, redes elétricas, usinas químicas, sistemas de geração elétrica, aviões, naves espaciais, sistema de controle e proteção, etc) capazes de funcionar satisfatoriamente mesmo com a ocorrência de falhas em alguns dos seus componentes mais críticos.

Os princípios da Teoria da Redundância nasceram deste problema.

Um dos primeiros domínios onde, por força da necessidade foram usados computos estatísticos para a determinação da confiabilidade foi o da Produção e Distribuição de Energia Elétrica. Mas foram, especialmente, o advento dos computadores de altíssima complexidade de circuito e com enorme número de componentes, as missões espaciais e as necessidades militares que forçaram à maturação, em termos mais elaborados, da Teoria da Confiabilidade.

Para citar alguns domínios onde a Teoria da Confiabilidade é de aplicação necessária, nomeamos os seguintes:

- Sistemas elétricos de potência, de geração, transmissão e distribuição.
- Concepção de sistemas eletrônicos analógicos e digitais.
- Redes de transporte, aéreas, marítimas e terrestres.
- Organização da Manutenção Corretiva e Preventiva dos processos e serviços.
- Cadeias de produção de peças.
- Estocagem de peças.

- Usinas nucleares.
- Missões Espaciais.
- Concepção de sistemas de controle e proteção.
- Planejamento da expansão dos Sistemas de Produção e Transporte de Energia Elétrica, etc.

1.2.4.2 Conceitos básicos de confiabilidade

Confiabilidade - É a probabilidade de um sistema (componente, aparelho, circuito, cadeia de máquinas, etc) cumprir sem falhas uma missão com uma duração determinada.

Por exemplo, se a confiabilidade de um computador de um Centro de Operações do Sistema (COS) for de 99,95% (para um período de 1 ano) isto significa que a probabilidade de o computador funcionar sem defeito durante um ano é de 99,95%.

Tempo médio entre falhas (TMF ou MTBF) - É o tempo médio de trabalho de um certo tipo de equipamento (reparável) entre 2 falhas seguidas.

Duração de vida - Tempo durante o qual um componente ou um sistema mantém a sua capacidade de trabalho, fora do intervalo dos reparos, acima de um limite especificado (de rendimento, de pressão, etc).

Tempo médio para a falha (MTFF) - É o valor médio dos tempos de funcionamento, sem contar o tempo de manutenção.

$$\text{MTBF} = \text{MTFF} + \text{Tempo de Reparo}$$

Confiabilidade medida (ou estimada) - É a confiabilidade de um certo equipamento medida através de ensaios empíricos (normalmente no fabricante).

Confiabilidade prevista (ou calculada) - É a confiabilidade observada durante a operação real dos componentes e dos sistemas. É este valor da confiabilidade média de grande número de casos que permite a aferição das confiabilidades medida e prevista.

Eficácia de um componente ou sistema - É a capacidade de desempenho da função pretendida, incluindo a frequência de falhas, o grau de dificuldades da manutenção e reparação e a adequação ao trabalho projetado.

É interessante notar que o projetista e o utilizador tem conceitos diferentes sobre o melhor modo de desempenhar a função pretendida. Assimilando o sistema a um ser vivo, poderíamos dizer que o projetista fornece a hereditariedade do sistema e o utilizador contribui com o meio ambiente. A eficácia do sistema depende da interação entre os 2 conjuntos de fatores.

Dependabilidade - Medida da condição de funcionamento de um item em um ou mais pontos durante a missão, incluindo os efeitos da Confiabilidade, Mantenebilidade e Capacidade de sobrevivência, dadas as condições da seção no início da missão, podendo ser expressa como probabilidade de um item:

- a) Entrar ou ocupar qualquer um dos seus modos operacionais solicitados durante uma missão especificada, ou
- b) Desempenhar as funções associadas com aqueles modos operacionais.

Disponibilidade - Medida do grau em que um item estará em estado operável e confiável no início da missão, quando a missão for exigida aleatoriamente no tempo.

Envelhecimento acelerado - Tratamento prévio de um conjunto de equipamentos ou componentes, com a finalidade de estabilizar suas características e identificar falhas iniciais.

Mantenebilidade - Facilidade de um item em ser mantido ou recolocado no estado no qual pode executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante os procedimentos e meios prescritos.

1.2.4.3 Tipos de falhas

Entende-se por falhas a diminuição parcial ou total da eficácia, ou capacidade de desempenho, de um componente ou sistema.

De acordo com o nível de diminuição da capacidade, pode se classificar as falhas em:

- Falhas Totais
- Falhas Parciais

Por exemplo, um rolamento de esferas defeituoso pode ainda operar durante algum tempo, apesar de ruidoso e com sobreaquecimento (falha parcial) ao passo que a capacidade de desempenho de uma lâmpada fundida é nula, sem qualquer meio termo.

Conforme o modo como a falha evolui no tempo, desde o seu início, podemos considerar duas possibilidades de falhas:

- Falhas Catastróficas
- Falhas Graduais

Como falhas catastróficas, cita-se um curto-circuito numa linha de transporte de energia elétrica ou um bloco motor de explosão quebrado.

A alteração gradual da emissão catódica de um monitor de computador ou o desgaste na camisa de um cilindro de um motor diesel, constituem casos de falhas graduais (ou paramétricas). Em alguns domínios da indústria e dos serviços podem ocorrer, quanto à duração da falha:

- Falhas Temporárias (curto-circuito linha terra ou entre fases, devido a uma causa passageira).
- Falhas Intermitentes (mau contato no borne de um relé)
- Falhas Permanentes (lâmpada fundida, bobina queimada)

As falhas de vários componentes podem, ou não, estar ligadas causalmente entre si. Se uma falha em um elemento induz falhas em outros, diz-se que a falha é do tipo DEPENDENTE. Por exemplo, um resistor aberto no circuito anódico de uma válvula, pode levar esta à destruição. Uma folga excessiva no mancal de um motor elétrico, pode levar a um roçamento do rotor na massa estatórica e produzir a destruição do motor.

Se não houver inter-relação entre falhas, elas são do tipo INDEPENDENTE.

1.2.4.4 A função confiabilidade

A confiabilidade constitui a probabilidade de funcionamento sem falhas durante um tempo t , cuja função designativa é:

$$P(\circ) = R(t) = e^{-\lambda t}$$

É interessante deduzir diretamente esta expressão da Confiabilidade. Considere-se o caso de uma população inicial de N_0 Componentes idênticos, todos em funcionamento (ou sob teste). Ao fim do tempo t há um número $N_s(t)$ de sobreviventes. O número $N_f(t)$ de elementos falhados ao fim do tempo t é:

$$N_f(t) = N_0 - N_s(t).$$

Por definição, a confiabilidade será dada pela probabilidade de sobrevivência, ou seja:

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N_0}$$

Admitamos uma população homogênea de componentes para os quais a taxa de falha λ seja constante. Taxa de falhas constante significa que, em intervalos de tempo elementares, de duração Δt , o número de componentes falhados (mortalidade) é dado por:

$$\Delta N(t) = -N(t) \lambda \cdot \Delta t$$

Sendo: $N(t)$ a população no instante t .

De modo que:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

A curva representativa da diminuição da população útil em função do tempo está ilustrada na figura abaixo:

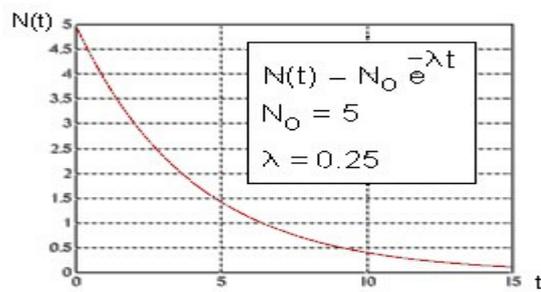


Figura 1.6 - Curva representativa da diminuição da população útil

1.2.4.5 Curva típica de falhas

A curva da taxa de falhas de grande número de componentes e sistemas é caracterizada por uma curva, designada por Curva em Banheira, na qual se distinguem 3 regiões:

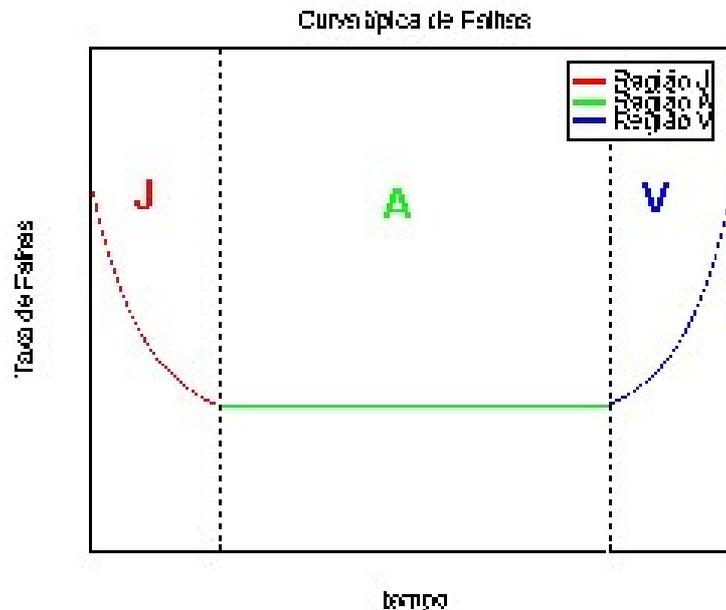


Figura 1.7 – Curva típica de falhas

- **Região J**, designada como Período de Taxa de Falhas Inicial (ou período Juvenil). Corresponde ao período de partida da componente ou sistema e é caracterizado por uma taxa de falhas relativamente alta, a qual decresce com o tempo tendendo para um valor mais baixo e constante. Na população humana verifica-se uma curva deste tipo para a mortalidade dos indivíduos. A taxa de mortalidade é mais alta nos primeiros meses de vida (mortalidade infantil); essa taxa cai rapidamente e, por exemplo, é muito menor para crianças de 2 anos do que para recém-nascidos. O mesmo acontece com circuitos eletrônicos, rolamentos, lâmpadas elétricas, etc.
- **Região A**, designada como Período de Taxa de Falhas Constante (ou período adulto). Durante este período, que normalmente abrange a maior parte da vida útil do componente ou sistema, a taxa de falhas é, aproximadamente, constante. Corresponde à idade adulta nas populações humanas. Durante este período, a mortalidade, devida as causas aleatórias, verifica-se a uma taxa constante.

Pretende-se que os equipamentos de responsabilidade funcionem dentro deste período, depois de ultrapassado o período inicial de taxa alta. Com esta finalidade, exigem-se, em certos casos, tratamentos prévios designados por Envelhecimento, com a finalidade de estabilizar as características de equipamentos ou componentes e identificar falhas iniciais. Esta exigência é corrente em instrumentos, circuitos eletrônicos de comando, etc.

- **Região V**, designada como Período de Falhas devidas à Deterioração (ou período Senil). É um período que se segue ao de taxa de falhas constante e durante o qual a taxa de falhas sobe rapidamente, devido a processos de deterioração (mecânica, elétrica, química, etc.). As avarias, se não forem tomadas precauções prévias (manutenção preventiva), acabam por se suceder catastróficamente em toda a população.

BIBLIOGRAFIA

SANTOS, J. J. Horta. Manual de Manutenção Elétrica Industrial. NTT – Núcleo de Treinamento Tecnológico. 2005.

SEBASTIÃO, Arlindo Ferreira e NOVO, Luiz Antonio Quintanilha. Manutenção Elétrica Industrial. Manuais CNI. 2004.

KARDEC, Alan e NASCIF, Júlio. Manutenção: Função Estratégica. Ed. Qualitymark, Rio de Janeiro, 1998.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PARA ECONOMIA DE ENERGIA. Agência para aplicação de energia, CESP/CPFL/ELETROPAULO/COMGAS. São Paulo, 1993.