

Confiabilidade na manutenção industrial.

Acires Dias¹

1. Introdução

A atividade de engenharia é, nos dias de hoje, mais do que em qualquer outro momento, uma atividade coletiva. O trabalho de equipe (time), o assessoramento de especialistas, o registro de informações e a gestão de todo esse processo, encontra-se na atualidade, ao nível das necessidades básicas.

Esse paradigma vem sendo impulsionado pelo mercado que exige máquinas e equipamentos de baixo custo com qualidade, que execute tarefas cada vez mais complexas em menor tempo, com segurança e máxima disponibilidade.

A manutenção industrial e os agentes de manutenção, nesse contexto, são motivados a estudarem e reorganizarem o tempo em atividades que leve a tomada de decisão integrada ao sistema de produção. O foco da discussão está apontado para sistemas de gestão da manutenção, que possam fornecer resultados mais promissores do que os obtidos pela manutenção centrada no reparo - MCR. O destaque atual está na manutenção centrada na confiabilidade - MCC (*RCM - Reliability Centered Maintenance*) e manutenção para a produtividade total MPT (*TPM - Total Productive Maintenance*).

O que está colocado no presente momento é como se fará a adoção das novas práticas? Como correlacionar as atividades de manutenção praticada em nível de “chão de fábrica”, com a confiabilidade, que é um atributo do projeto do produto, e com a produtividade, que está num contexto gerencial mais amplo? O que deve ser identificado como atributo norteador da relação confiabilidade e manutenção?

Estas questões têm nos motivado a fazer vários estudos, procurando imprimir conceitos e procedimentos que considere estas questões e que as integre em todo o processo de produção.

Olhando ao longo da história do desenvolvimento tecnológico, nota-se que nos chamados países do “primeiro mundo”, tecnologias e métodos de controle de processo foram sendo testados e implementados. Algumas dessas experiências que tinham aplicações específicas, como por exemplo, no setor aeroespacial ou nuclear, como no caso da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), que se fundamenta na redundância, entre outras diretrizes, expandiram-se, após adequadamente formuladas e, hoje, estão presentes em diversos segmentos do setor produtivo e de serviços. Já a Manutenção para a Produtividade Total (TPM), nasceu dos programas de melhoria de qualidade, no “chão de fábrica”, portanto, adaptada ao setor industrial, fundamentando-se na capacitação e integração dos atores, entre outras diretrizes.

Esses e outros métodos gerenciais, têm o objetivo de tentar equilibrar a complexidade das organizações dotadas de modernas tecnologias com as ações requeridas para administrá-las com cada vez mais confiabilidade. Isso porque, mesmo com esses métodos, tem-se presenciado acidentes de grande consequência com repercussões mundiais: setor nuclear (Chernobyl); espacial (Challenge); petrolífero (vazamentos no Mar do Norte), cujas repercussões estarão presentes inclusive para as gerações futuras. Outros acidentes afetam o cidadão de todas as classes sociais, independente da idade ou do local onde se encontra. O blecaute do sistema de fornecimento de energia elétrica no Brasil, em Março de 1999, é bem

¹ Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 88101.970, Fone: 048.331.9264. E-mail: acires@emc.ufsc.br

característico. A Petrobrás tem dado a cada instante exemplos que demonstram o conflito entre confiabilidade e manutenção. Para garantir os índices de confiabilidade, posterga-se a manutenção. As conseqüências, infelizmente, são sofridas por nós e pela natureza.

Os sistemas complexos exigem sistemáticas de manutenção mais bem elaboradas. Exigem conciliar o conhecimento técnico com técnicas modernas de gestão. Nesse contexto a confiabilidade torna-se uma boa aliada, se utilizada para dominar o conhecimento relativo aos itens que precisam ser gerenciados. Por exemplo, o aumento da confiabilidade requer o aumento do tempo médio até a falha (MTTF) ou do tempo médio entre falha (MTBF). Para tanto é preciso de tecnologia apropriada e da presença humana, dotada de qualificação técnica e gerencial. Técnica porque necessita de conhecimento apurado da tecnologia que está trabalhando com possibilidade de interferir no próprio projeto. Gestão porque requer consciência sobre a importância de sua atividade profissional, no contexto da sociedade.

É preciso enfatizar que os sistemas falham. Não existe um único modo, uma “mágica” que previna ou elimine todas as falhas. Também não existe uma política de manutenção melhor que qualquer outra. Cada uma possui seu lugar, sendo que o verdadeiro desafio consiste em encontrar esta política e em que lugar ela deve ser aplicada. Esse desafio está presente e continuará no futuro, já que é preciso dar conta do padrão tecnológico de cada momento.

Neste trabalho objetiva-se apresentar alguns fundamentos para integrar as variáveis relacionadas com a confiabilidade e a manutenção. Além disso, chama-se a atenção para a manutenibilidade e a disponibilidade como variáveis de interesse fundamental à produção. A produção, é o objetivo de toda esta discussão. Ela fica prejudicada sempre que alguma falha acontece no sistema produtivo. A falha é a variável principal e a razão de todo o estudo em confiabilidade e tem relação direta com diversos aspectos da manutenção. É por isso que neste trabalho é apresentada a equação da confiabilidade em função da taxa de falha, como também, cinco estudos de casos onde a taxa de falha é a referência.

2. A função disponibilidade e a função manutenção

O principal objetivo de qualquer empresa, nos dias atuais, é otimizar o desempenho da planta produtiva, controlar e reduzir os custos de produção, aumentar ou pelo menos manter a lucratividade. Nesse sentido a atividade de manutenção passa a ter como objetivo fundamental, garantir patamares, cada vez mais altos, da disponibilidade do sistema produtivo. Sem essa visão, os resultados da atividade de manutenção ficam restritos ao desempenho de cada ação, perdendo a visão global.

Segundo a NBR-5462 (1994), disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

A disponibilidade de um dado produto ou sistema, está na verdade, diretamente associado com a “qualidade temporal” ou vida desse sistema, se considerado reparável. A FIGURA 1, ilustra uma sistemática de melhoria da qualidade temporal de itens reparáveis. Observa-se que a ênfase de melhoria para se obter mais confiabilidade (+C), mais manutenibilidade (+M), e por sua vez, mais disponibilidade (+D), deve ser dada no projeto do produto.

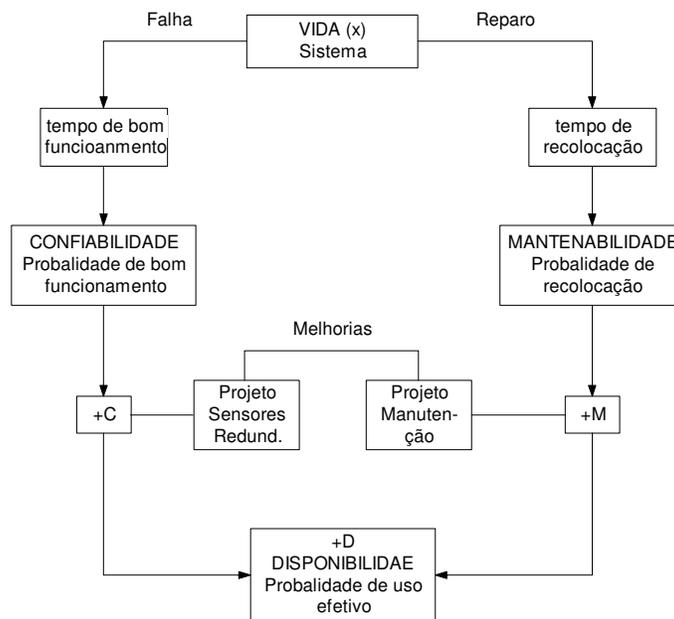


FIGURA 1
CONFIABILIDADE

CORRELAÇÃO ENTRE
(C),
MANTENABILIDADE

(M) E DISPONIBILIDADE (D) (DIAS, 1996)

A manutenibilidade é um parâmetro de projeto. A manutenção é uma consequência do projeto. A manutenibilidade é uma característica inerente ao projeto de um sistema ou de um produto. Então, atributos como precisão, segurança e economia relativa às ações de manutenção, devem estar contidos em cada item (componente, subsistema ou sistema) e em todas as fases do projeto. Isso significa que o produto deve ser projetado na perspectiva de que cada item que o constitui, quando do processo de perda da funcionalidade ou mesmo após a falha da função, seja recuperado para a condição de “tão bom quanto novo”, qualquer que seja a ação de manutenção executada: corretiva, preventiva ou preditiva.

A NBR-5462(1994) define manutenção como “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. Salienta-se que a norma define item como “qualquer parte, conjunto, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente”.

Manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma falha destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. Manutenção preventiva é efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou degradação do funcionamento de um item. E manutenção preditiva busca a qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de medições e análise, utilizando-se de meios de supervisão ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva. Moubrey (1992) cita também a manutenção detectiva como aquela associada a itens que só trabalham quando necessário e por isso não informam quando estão em estado de falha. Exemplo desses itens: sistemas de alarme, dispositivos de medição e controle. Estas falhas são denominadas de falhas ocultas.

Essas sistemáticas de manutenção têm algumas variantes, e tem evoluído no tempo. A adoção do projeto para a manutenibilidade do produto, melhora os procedimentos, o acesso aos itens, a detecção das falhas, a instrumentação associada, os materiais, as ferramentas, o treinamento da mão de obra e os procedimentos para executar a manutenção (Blanchard, 1995).

A exigência de disponibilidade proporcionou à manutenção, um destaque em relação ao grau de importância para o projeto do produto e para a gestão do processo produtivo. A política de manutenção imprimida ao produto ou ao processo, passou a era considerada como uma vantagem competitiva.

Essa política tem alcançado maior sucesso nas instituições que gerenciam o sistema produtivo sob o enfoque da qualidade, competitividade e lucratividade. Nesses casos o uso de um sistema de gestão fundamentado na Manutenção para a Produtividade Total (TPM) e/ou na Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), tem apresentado maior chance de sucesso.

3. *As métricas da confiabilidade para o planejamento da manutenção*

A definição de confiabilidade encerra um conceito que está diretamente associado às leis de degradação física do item. Embora a atenção com a degradação seja antiga, a confiabilidade como uma teoria específica é recente e vem sendo usada há aproximadamente 40 anos. É por isso que a confiabilidade torna-se tão bem integrada aos programas de manutenção. Muitas são as definições de confiabilidade.

Matematicamente a confiabilidade pode ser representada, simplesmente, como:

$$C(x) = 1 - \int_0^x f(x)dx \quad (1)$$

Sendo $C(x)$ a confiabilidade e $f(x)$ a função da densidade de probabilidade de falha e (x) a variável aleatória.

A função densidade mais utilizada é a de Weibull e é usada em muitas áreas, sendo por isso representada de maneira muito diversificada (Hallinan, 1993). Na forma triparmétrica apresenta-se:

$$f(x) = \beta(\alpha)^{-\beta}(x - \gamma)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^\beta} \quad (2)$$

onde $x > 0$, $\beta > 0$ e $\alpha > 0$.

x é a variável que define o período de vida útil.

γ é o parâmetro local, que caracteriza o período de vida inicial do item. Nas aplicações relativas à mecânica pode ser desconsiderado, [$\gamma = 0$], dado que é normalmente muito pequeno quando comparado ao período de vida útil. A distribuição de Weibull é por sua vez, definida para ser zero para todos os valores de $x < \gamma$. O valor de γ então, não deve ser maior do que o menor dos valores do tempo até falha do conjunto de dados. Se $\gamma = x$, tem-se que $\ln(x - \gamma) = \ln(0) = -\infty$. Quando $\gamma = 0$ ela pode ser escrita na forma biparmétrica:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta} \quad (3)$$

Integrando em relação à x , obtém-se a função confiabilidade

$$C(x) = e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta} \quad (4)$$

α é o parâmetro de escala ou vida característica. Representa uma distância percorrida, tempo ou número de ciclos. Vida característica significa o período de vida transcorrido desde o início da atividade até a ocorrência da falha, para itens não-reparáveis e o período de vida transcorrido entre falhas, para itens reparáveis. Na prática, é usada a taxa de falha característica λ_0 , inversamente relacionado com a vida, assim expresso: $\alpha = 1/\lambda_0$.

A falha é a perda da capacidade do item desempenhar a sua função. A taxa de falha é definida como:

$$\lambda(x) = \frac{\text{numero de falhas na unidade de uso}}{\text{numero de componentes expostos a falha}} \quad (5)$$

Observa-se que a taxa de falha está também associada à variável de tempo.

β é o parâmetro de forma. É aquele que dá a aparência da distribuição. A FIGURA 2 mostra a função densidade de probabilidade versus vida, para vários valores de β , com taxa de falha constante (λ). Se houver variação de λ , afetará o posicionamento das curvas sobre o eixo de vida, sem alterar a forma da distribuição.

$\beta < 1$: A função densidade de probabilidade diminui muito rapidamente na parte inicial da vida, período esse chamado de vida inicial ou fase de juventude. Nessa condição as falhas são caracterizadas como juvenis. Essas falhas, no entanto, de acordo com a definição da norma, deveriam ser chamadas de defeitos. Quer dizer, essas falhas são provocadas por defeitos originados no projeto, na produção ou na operação. Do ponto de vista de manutenção, não há o que prevenir, mas tão somente reparar. Para os itens nessa condição, é recomendável optar por manutenção do tipo corretiva ou preditiva.

$\beta = 1$: Neste caso a função densidade de probabilidade equivale a função distribuição exponencial, ou seja, $f(x) = \lambda e^{-\lambda t}$. Neste caso as falhas ocorrem de forma aleatória, principalmente, nos sistemas complexos. A taxa de falha é constante e independente do tempo. Essa fase é chamada de vida útil. Nesse caso, também a manutenção corretiva e a manutenção preditiva são as mais recomendadas.

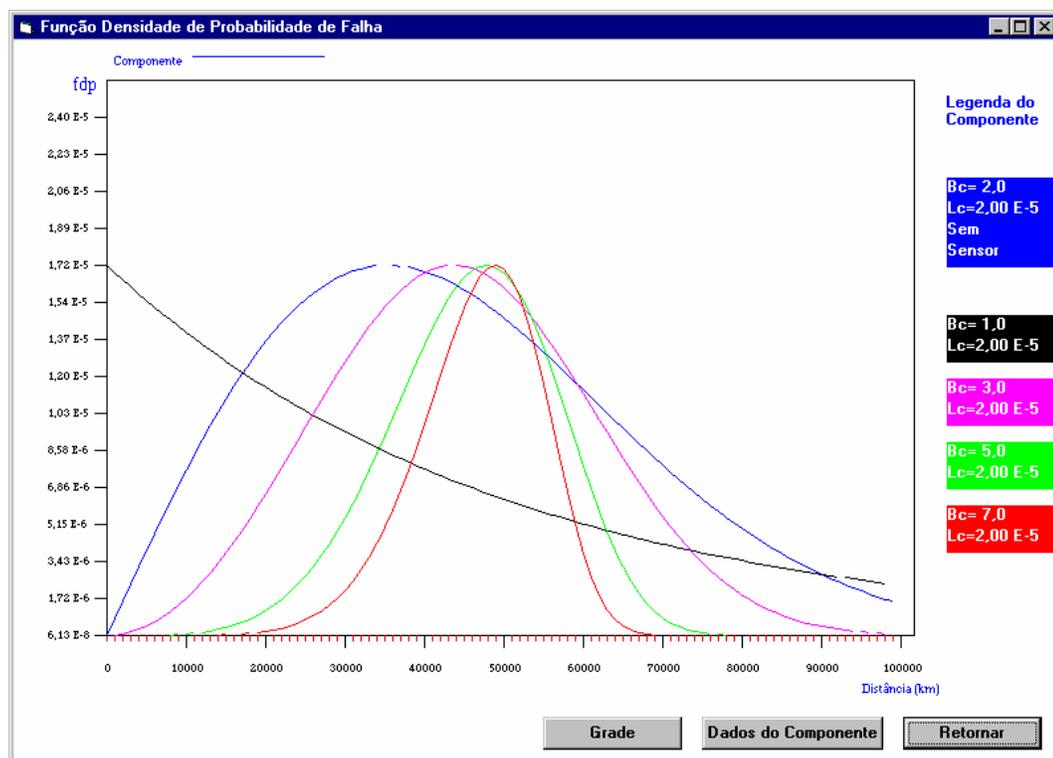


FIGURA 2 VARIAÇÃO DA FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DE FALHA EM FUNÇÃO DO PARÂMETRO DE FORMA β , PARA TAXA DE FALHA CONSTANTE.

$\beta > 1$ - Então existem modos de falhas predominantes. Para esses casos é possível a ação preventiva após efetuar-se detalhados estudos sobre os tempos médios entre falha (MTBF) e analisar o efeito e o modo da falha (FMEA) dos itens que estão sendo analisados.

Do ponto de vista do parâmetro de forma para a função densidade de probabilidade de falha de Weibull, algumas outras informações podem ainda ser obtidas:

$1 < \beta < 2$ - Nesta condição tem-se um rápido aumento da função densidade de probabilidade para curto período de vida. Após, a curva passa a ter uma taxa de crescimento, praticamente constante.

$\beta \geq 2$ - A medida que o parâmetro de forma aumenta a função vai ficando assintótica ao eixo da vida. Isso indica pouca falha no período inicial da vida e rápido descarte na fase final. Para $\beta = 2$, a função se aproxima da distribuição de Rayleigh ou logonormal. (Pallerosi 1995). Vale observar que a partir deste valor a função tem a tendência de tornar-se simétrica.

$\beta \geq 3,44$, a distribuição de Weibull se aproxima da distribuição Normal. Essa tendência é mantida, e no limite quando β assume valores muito grandes, a função tende a concentrar os eventos num determinado instante da vida.

A identificação desses parâmetros para componentes e sistemas permite fazer o planejamento das ações de manutenção no período de vida do item.

Além da definição matemática, tem também as definições que são expressas por normas ou por autores, que na maioria dos casos, exprimem suas experiências específicas. A opção por uma ou outra definição de confiabilidade fica a critério de quem está efetuando o estudo sobre o tema. De qualquer modo deve-se, em qualquer que seja a definição, considerar quatro estruturas fundamentais: a **probabilidade, o comportamento adequado, o período de uso (ou de vida) e a condições de uso** (Dias, 1996).

A **probabilidade** fornece a entrada numérica inicial para avaliação da confiabilidade. Para isso, não existe uma simples fórmula ou uma única técnica. Elas dependem do problema existente e das condições de contorno estabelecidas. A validade de análise do sistema está diretamente relacionada com a validade do modelo usado para representar o sistema. A probabilidade está normalmente associada às variáveis aleatórias, vinculadas:

- ao número de falhas que ocorrerá num período especificado de uso;
- ao tempo, distância, ciclos médios até (entre) falhas;
- ao tempo médio de parada ou tempo de parada do dispositivo;
- à perda de rendimento esperada devido à falha;
- à perda de produção esperada devido à falha.

O **comportamento adequado** chama a atenção para a existência de um padrão, anteriormente definido. Esse padrão pode estar associado à média ou a um critério de medida efetiva, que se usa para comparar o comportamento do que se deseja avaliar. É evidente que esse padrão apresentará dispersões em relação a uma referência ideal. Torna-se necessário, então, estabelecer alguns referenciais para medir a dispersão, como desvio padrão, análise de correlação, a fim de orientar-se acerca do comportamento do item em análise.

O **período de uso (de vida ou de tempo)** deve ser analisado a partir da premissa básica de que a falha ocorrerá, mais cedo ou mais tarde. Nesse caso também é importante que seja definido um período padrão ou período de referência. Esses períodos, classificados normalmente como contínuos ou discretos, vão depender das condições de uso e principalmente do tipo de informação a ser obtida. A denominação “período” pode estar associada ao tempo e é chamado de intervalo, pela norma (ABNT 5462/94). Este tempo contudo, é uma variável que pode ser expressa em distância percorrida em (km), o número de ciclos (n) ou o tempo em (h) de funcionamento normal do item. Nas normas da ABNT (NBR5462/94) têm-se explicitados outros períodos:

- período de falhas devido à deterioração;
- período de falhas inicial;
- período de taxa de falhas constante.

É senso comum, utilizar o termo período, para situações como:

- período de vida útil;
- período de uso desejado;
- período de garantia.

As **condições de operação** referem-se à adequação do ambiente de uso relativo às variáveis de projeto inicialmente fixadas. Essa condição necessita ser bem definida, dado que o sucesso de um evento pode não se manter, se as premissas anteriormente estabelecidas forem alteradas. É importante definir padrões de pressão, temperatura, umidade, esforços, deformações, número de ciclos, distância percorrida etc., para garantir a confiabilidade inicialmente proposta.

O planejamento da manutenção vai depender de uma série de informações que estão integradas ao processo produtivo. Aliás, entende-se que a manutenção faz parte do processo produtivo e pode se constituir numa vantagem competitiva para a empresa.

Assim sendo, algumas medidas são referenciais para a gestão da manutenção. Dentre elas se destacam: a taxa de falha, a taxa de recolocação, os tempos médios até falha (MTTF) para itens não-reparáveis, tempos médios entre falhas (MTBF) para itens reparáveis, tempos médios até a recolocação (MTTR), entre outros. Essas medidas são obtidas num determinado intervalo de tempo e em condições específicas de trabalho. A extrapolação dessas informações de forma generalizada torna-se possível através da representação em distribuições de probabilidades. De uma forma ou de outra, todas estas informações são dependentes das falhas.

Falha é definida como o término da capacidade de um item de desempenhar a função requerida (ABNT, 1994). As falhas são representadas de muitas maneiras. Neste trabalho serão mostrados alguns exemplos de como estas falhas podem ser representadas e seus reflexos na relação entre confiabilidade e manutenção.

4. A Curva da taxa de falha ou curva da bacia

Ao analisar-se a confiabilidade $C(x)$ ou mantabilidade $M(x)$ para uma grande quantidade de itens, verifica-se que existe uma enorme dispersão do evento de falha no período de vida, que se reflete na política de manutenção. Alguns apresentam uma pequena vida e outros uma durabilidade de décadas.

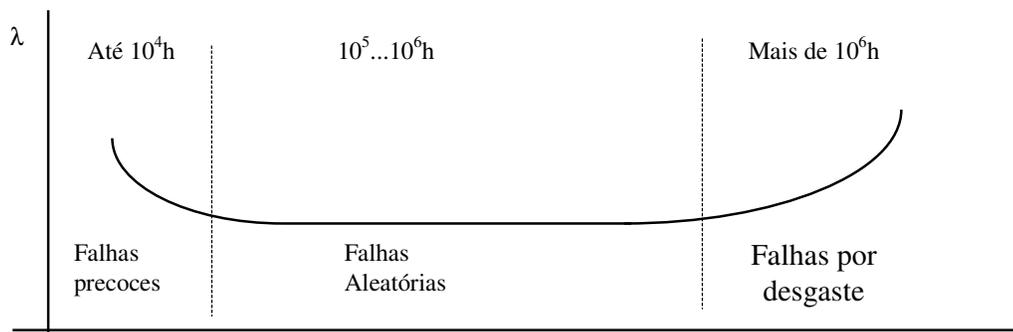


FIGURA 3 VARIAÇÃO TÍPICA DA TAXA DE FALHA EM COMPONENTES ELETR(Período de vida 983)

Essas dispersões em relação à vida, são melhores compreendidas quando estudadas em função da taxa de falha em relação ao período de uso, como está mostrado de forma idealizada nas FIGURAS 3 e 4, denominado de curva da taxa de falha ou curva da bacia. Admite-se que todo item tem, do ponto de vista do uso, três períodos de vidas distintos: juventude, normal e velhice ou senilidade. Essas fases são amplamente discutidas em todas as

referências que tratam de confiabilidade, e indicam aos analistas as ações, relativamente a manutenibilidade e ao descarte, que devem ser tomadas nas diferentes fases do processo do projeto, da produção e de uso do item, em função do seu comportamento, em cada um desses períodos.

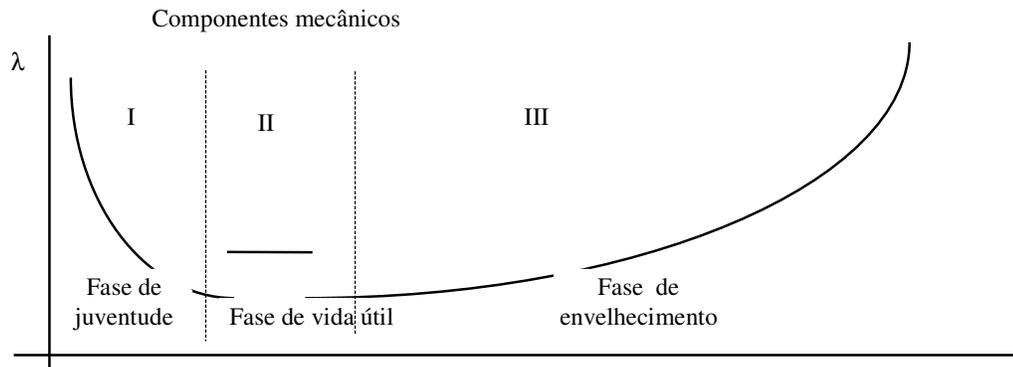


FIGURA 4 VARIAÇÃO TÍPICA DA TAXA DE FALHA EM COMPONENTES MECÂNICOS Período de vida

- Período I** –As falhas são denominadas de falhas precoces juventude, por ocorrerem no período inicial. Essas falhas estão, geralmente, associadas a erros oriundos do projeto, da manufatura, da má qualidade dos materiais, não detectadas no controle de qualidade. Esta fase pode ser consideravelmente reduzida, nos produtos eletrônicos, pelo processo “*burn-in*”, envelhecimento acelerado dos circuitos, por testes de funcionamento durante e após a fabricação, por forte controle qualidade em todas as fases do processo. Normalmente, o controle de qualidade utiliza métodos estatísticos, dentro de um determinado nível de confiança, logo sujeito ao controle parcial dos itens produzidos. Quanto melhor, ou mais severo os controles, menores serão os valores das taxas instantâneas de falha $h(x)$, e portanto, mais curto vão se tornando os intervalos de ocorrência das mesmas. Essas falhas prematuras, principalmente, em componentes relacionados com a segurança, tem que ser tratadas com muito cuidado, pois nesse período inicial, os operadores depositam total confiança no equipamento que operam. O ideal é manter os níveis de taxa de falha nos patamares indicados como excelentes para cada item de acordo com a sua aplicação. A curva da taxa de falha nesse período, é bem representada pela distribuição de Weibull, caracterizada pelo parâmetro de forma menor do que a unidade ($\beta < 1$). Como já comentado, a ação de manutenção corretiva é a mais indicada para esse período.

- Período II** - Corresponde à seção mediana da curva da taxa de falha, onde as falhas são aleatórias e contém a menor e mais constante taxa de falha. Este período é chamado de vida útil. Esse trecho é caracterizado por falhas aleatória, oriundas de cargas externas inevitáveis e imprevisíveis. Por exemplo, na população humana, as mortes durante esta parte da curva são provavelmente devido a acidentes ou infecções. Em dispositivos de engenharia, o carregamento pode ser afetado por variáveis como: terremotos, maremotos, vibrações, impactos mecânicos, flutuações de temperatura, variações de umidade, sobrecargas e operações indevidas, não previstas na fase de projeto. O tamanho do período de vida útil, normalmente é maior para componentes *não-reparáveis*, como circuitos eletrônicos, componentes mecânicos não complexos, como baterias, eixos. A tendência é o componente degradar-se por desgaste normal, fadiga, oxidação, corrosão, etc., conforme o tipo e a utilização do componente. Para componentes *reparáveis*, típicos de sistemas mecânicos, por serem mais complexos, o período de vida útil é mais restrito, como indicado na figura 4. Essa tendência é fácil de ser aceita, se considerar que os sistemas

mecânicos, normalmente, são compostos por itens de materiais, forma e funções diferentes, gerando assim maior dispersão para o período de vida normal. Nessa fase de vida o parâmetro de forma se aproxima da unidade ($\beta = 1$). Por isso esse período pode ser representado pela distribuição Exponencial. Nesse caso é indicada uma política de manutenção preditiva. Não se pode porém, deixar de considerar as ações de manutenção corretiva.

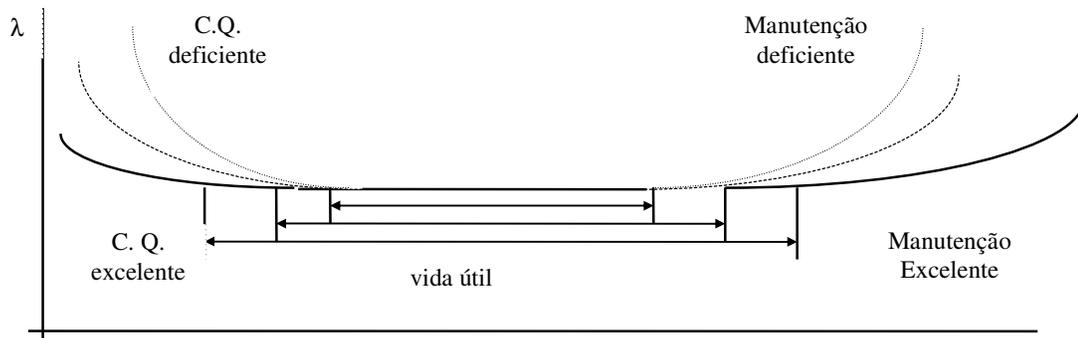


FIGURA 5 INFLUÊNCIA DO CONTROLE DE QUALIDADE (C.Q.) E DA MANUTENÇÃO (M) NA TAXA DE FALHA (lambda) DURANTE O PERÍODO DE VIDA

- **Período III** - Representa o desgaste ou a fase da fadiga e é caracterizado pelo aumento da taxa instantânea de falha. Nesse período, as falhas são predominantemente paramétricas, onde o desgaste tende a aumentar indicando o fim da vida útil do equipamento. O aumento da taxa de falha e do parâmetro de forma vai permitir estimar a vida em termos de confiabilidade. Em função disso, é possível fazer uma análise econômica para orientar as decisões relativas ao descarte ou a recuperação do item.

Além da análise da vida dos itens nos diferentes períodos de uso, a curva da taxa de falha permite traçar conjecturas sobre os procedimentos gerenciais para melhorar a taxa instantânea de falha nos períodos de juventude e desgaste, como assinala a figura 5. A taxa de falha é também função da aplicação do carregamento. Quanto maior sobre o produto maior a probabilidade de ocorrer falha.

5. Estudo de Caso

Nos estudos apresentados procura-se mostrar alguns resultados obtidos de aplicações ocorridas em diversos campos do setor de produção, fazendo-se análise acadêmicas e apontando para soluções a serem implementadas na prática. Inicia-se com o estudo para cálculo da taxa de falha de válvula de freio pneumático usando procedimentos de norma técnica. Apresenta-se a seguir a análise dos dados de MTBF (tempo médio entre falhas) e o cálculo das respectivas taxas de falha para tratores agrícolas e o a determinação da confiabilidade. No terceiro estudo de caso mostra-se os procedimentos par determinar a análise da falha do eixo de um redutor, a confiabilidade dos outros ainda não falhos e os procedimentos de manutenção a serem executados. No estudo quatro discute-se as limitações da taxa de falha de componentes, para tomada de decisões relativa a gestão da manutenção, quando o sistema envolve requisitos operacionais especiais. Por último, apresenta um caso, onde os dados de falha suscitam análise cujas ações gerenciais passam por processos que vão além da gestão da manutenção.

5.1 Caso 1: O cálculo da taxa de falha

Esse exemplo apresenta o resultado do ensaio de 11 válvulas de pedal, testadas até a ocorrência da falha, ou a suspensão do ensaio. Os resultados aqui apresentados não são reais. A partir das informações sobre a falha e a suspensão dos itens ensaiados, processou-se as informações com o objetivo de extrair o máximo proveito das mesmas. Utilizando o método da Categoria Mediana (NBR6742,1987), e a função densidade de probabilidade de falha de Weibull, obteve-se o parâmetro de forma e a taxa de falha para o item. Os valores das taxas de falha e parâmetro de forma foram utilizados para determinar a confiabilidade, não-confiabilidade, a taxa instantânea de falha e função densidade de probabilidade de falha.

As informações sobre a amostra foram sintetizadas na forma de gráfico como exposto na FIGURA 6. A partir desse gráfico, o analista pode fazer projeções sobre o comportamento da população que está sendo estudada, quanto à confiabilidade e a não-confiabilidade para a vida do componente. Vê-se que a distribuição das falhas no gráfico da probabilidade acumulada de falha em função da vida, indica a ocorrência de modos de falha diferentes. Até a vida de 70.000km, as falhas ocorreram numa dada frequência e segundo uma tendência. A partir dessa vida a tendência de ocorrência das falhas mudou de maneira significativa. Certamente, algum outro modo de falha começou a atuar a partir desse instante da vida do item. Neste caso a taxa de falha já fornece indicações das ações de manutenção que devem ocorrer. Vez que o processo de envelhecimento não seguiu a curva normal esperada. Há que analisar as válvulas para ver que outros itens estão falhando, quando as válvulas atingem o número de ciclos para a quilometragem referida.

Programa computacional BRAKEREL - Brake Reliability Program

• Banco de dados da amostra

The screenshot displays five windows from the BRAKEREL software:

- Amostras - Criação e Alteração:** Shows the creation of a new sample with code 'VALV22' and description 'VÁLVULA DE PEDAL'. It includes options for units (Hours, Cycles, Distance) and buttons for 'Atualizar', 'Incluir Itens na Amostra Atual', 'Valor dos Parâmetros', 'Nova Amostra', and 'Retornar'.
- Itens da Amostra:** Shows item details for 'PEDAL05' with a failure period of 20000 km. It has radio buttons for 'Falha' (selected) and 'Suspensão', and buttons for 'Gravar' and 'Retornar'.
- Parâmetros de Weibull para a Amostra:** Displays Weibull distribution parameters: Taxa de Falha Característica (Lambda) = 9.01 x 10⁻⁶, Parâmetro de Forma (Beta) = 1.6487, and Vida Característica (Alfa) = 110987.3 km. It includes buttons for 'Gráfico', 'Tabela', and 'Retornar'.
- Tabela da Amostra:** A table listing items with their failure periods, status (F or S), order numbers, and categories.

Cód.Item	Período (km)	F ou S	Núm. Ordem	Categoria
PEDAL05	20.000	F	1,00000	0,06301
PEDAL01	35.000	F	2,00000	0,15041
PEDAL02	55.000	S		
PEDAL04	73.000	F	3,11111	0,24752
PEDAL03	80.000	F	4,22222	0,34463
PEDAL10	85.000	F	5,33333	0,44174
PEDAL11	90.000	F	6,44444	0,53884
PEDAL07	95.000	F	7,55556	0,63595
PEDAL08	100.000	F	8,66667	0,73306
PEDAL09	120.000	S		
PEDAL06	120.000	S		
- Probabilidade Acumulada de Falha - Não-Contabilidade:** A Weibull probability plot showing the relationship between failure probability (F) and time (h). The correlation coefficient is r = 0,9468. It includes buttons for 'Grade' and 'Retornar'.

FIGURA 6 TELAS DO PROGRAMA BRAKEREL DE OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL (DIAS, 1996)

5.2 Caso 2: O cálculo da taxa de falha a partir do MBTF de tratores em operações agrícolas

No Brasil, a quantidade de publicações oriundas de trabalhos desenvolvidos em confiabilidade na área de mecanização agrícola é insignificante em relação à potencialidade

existente. Tem-se, contudo, de se destacar a pesquisa executada por Soffner (1993) para a “Avaliação da confiabilidade em tratores agrícolas de esteira”. Soffner se propôs a “utilizar o conceito de confiabilidade e sua determinação dentro de um sistema tratorizado agrícola, além de elaborar metodologia de aplicação do modelo obtido”. Para tanto acompanhou, no prazo padrão de planejamento agrícola de 1991, dez (10) tratores, modelo Caterpillar D6, ano de fabricação 1979, com o mesmo nível de manutenção e operadores fixos. Utilizou o referencial teórico baseado na “função de Weibull e pela simulação probabilística do método de Monte Carlo, para estimar a confiabilidade de cada trator do grupo estudado”.

TABELA 1 - DESCRIÇÃO DOS TRATORES E OPERAÇÕES EFETUADAS COM AS ESTIMATIVAS DE CONFIABILIDADE NA CONDIÇÃO HIPOTÉTICA DE PLANEJAMENTO P/ 600H DE ATIVIDADE (SOFFNER, 1993)

AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE EM TRATORES AGRÍCOLAS DE ESTEIRA- SOFFNER						
Código da empresa	código da máquina	operações no período	tempo entre falhas h.	Probabilidade de de quebra (%) 600h.	Confiabilidade (%) (600h)	Nº de quebras 600 h.
901	D6-1	su, grl, grp	75- 475- 71- 194- 560	93	7	2,2
902	D6-2	su, grl, grp	10- 81- 246- 26- 220- 171- 538	97	3	3,3
903	D6-3	sul, sul	8- 244- 105- 303- 384	97	3	2,9
904	D6-4	si, grp, sul	83- 556- 268- 511	89	11	1,7
905	D6-5	sul, si	318- 172- 102- 245- 192	100	0	2,9
906	D6-6	des, grp, si	322- 1108- 346- 92	72	28	1,3
907	D6-7	des, si	425- 227- 506	98	2	1,6
908	D6-8	sul, si	64- 17- 260- 30- 784- 112	93	7	2,9
909	D6-9	si, sul	24- 887- 562	71	29	1,2
910	D6-10	si, grp	848- 623	24	13	0

Codificação usada: su = subsolagem, grl = grade leve, grp = grade pesada, sul = sulcagem, si = sistematização, des = destoca.

Os dados obtidos por Soffner foram analisados por Dias utilizando o Método Categoria Mediana (NBR6742, 1987) e o programa BRAKEREL - Brake Reliability Programa (Dias,1996), para a obtenção dos parâmetros da distribuição de Weibull. Os resultados dessa análise estão expressos na tabela 2.

Observa-se que exceto os tratores D6-4 e D6-5, todos os outros tratores têm parâmetro de forma menor do que a unidade. Pelo apresentado neste trabalho, esses casos são caracterizados por falha de juventude. Contudo, pelo tempo de vida das máquinas isso já não é mais possível. No entanto os resultados indicam que há erro de dimensionamento, de uso, ou então, de manutenção.

As máquinas D6-4 e D6-5 tiveram esse comportamento ($\beta \geq 1$), provavelmente, pelo tipo de serviço que desempenharam, ou então, por ter eliminado defeitos repetitivos nas manutenções anteriores.

O que fica desse conjunto de informações é que os dados da forma como foram levantados, não permitem, ou não são insuficiente para qualquer análise mais detalhada. Seria interessante, por exemplo, que houvesse a caracterização dos tempos entre falhas por subsistema de atuação e ainda por grupo de função. Assim permitira fazer algumas inferências sobre os processos de manutenção e sobre os parâmetros de projetos, para serem utilizados nos reprojatos dos componentes e dos sistemas.

TABELA 2 - ANÁLISE DOS DADOS DE SOFFNER UTILIZANDO O PROGRAMA BRAKEREL (DIAS, 1995)

VALORES DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DE WEIBULL E CONFIABILIDADE						
Código da máquina	Parâmetro de forma β	Taxa de falha $\lambda \times 10^{-6}$	Vida α (h)	CONFIABILIDADE R [%]		
				200 h.	400 h.	600 h.
D6-1	0,989	3137,54	318,70	53	29	15
D6-2	0,761	5096,20	196,22	36	18	9
D6-3	0,612	3768,88	265,33	43	27	19
D6-4	1,108	2304,80	433,87	65	40	24
D6-5	2,416	4245,80	235,52	51	28	0,00
D6-6	0,958	1860,45	537,50	68	47	32
D6-7*						
D6-8	0,729	5284,23	189,24	35	18	10
D6-9*						
D6-10*						

* não foi considerado por não terem significância estatística.

5.3 Caso 3: Análise do modo de falha de um eixo de um redutor

O eixo pode ser classificado como um item não-reparável. Após a ocorrência de uma falha ele deve, obviamente, ser substituído. Para tanto há que reprojeta-lo a partir dos requisitos estabelecidos e de informações que leve em consideração a falha ocorrida. Esse exemplo constitui-se na análise de uma falha por ruptura, na variação de seção de um eixo de um redutor, solicitado, basicamente, por flexão rotativa.

Para levantar a causa da falha, nesse caso dois caminhos foram utilizados.

O primeiro se baseou na análise da falha para caracterização da causa da fratura ocorrida em serviço. Procedeu-se da seguinte maneira (Bernardini e Froehlich, 1996):

- Identificação da falha: constatou-se que a falha ocorreu por fadiga, apresentando uma área “fadigada” de 35% a 40% da área total existente.
- Análise da superfície do eixo: verificou-se o acabamento superficial e do raio de concordância na variação da seção.
- Indicação de possíveis causas para a falha: elevado nível de solicitação do componente; baixo nível de resistência a fadiga do material.
- Análise da fratura: houve basicamente três regiões de início da fratura por fadiga.
- Análise química do material: o material indicado no projeto é o mesmo material do eixo.
- Ensaios de dureza: constatou-se baixa dureza para o tipo de material e tratamento térmico utilizado.
- Análise microestrutural: constatou a presença de ferrita atípica, indicando falha no tratamento térmico, dado que o material deveria apresentar apenas martensita revenida.
- Análise final: concluiu que a fratura por fadiga ocorreu sem a presença de sobrecarga. Foi gerado, principalmente, por falha no dimensionamento do raio de concordância, elevado nível de inclusões e presença de ferrita em matriz de martensita revenida.

O segundo caminho se baseou na análise de tensões na região fraturada (Rosa e Dias, 1997).

Analisou-se a forma de ruptura e o tipo de solicitação que levou à ruptura indicando que a fratura foi decorrente de um esforço de flexão rotativa, de tensão nominal de nível média para alta. Por isso teve-se mais de um ponto de nucleação de fratura.

Ao analisar-se a fonte que gerou esse tipo de solicitação verificou-se que não existe nenhuma outra fonte de carregamento, além da que está explícita no projeto do redutor.

Recalcularam-se os carregamentos que atuam no eixo, a partir das informações fornecidas pelo projeto, concluindo que o eixo foi projetado com coeficiente de segurança para solicitação dinâmica igual a unidade. Para tanto, utilizou-se também o método de elementos finitos para quantificar o estado de tensões e os coeficientes de concentração de tensão na variação da seção do eixo.

Conclui-se finalmente, que a falha foi provocada por carga de flexão rotativa devida, tão somente, a tensão nominal gerada pelo carregamento usual de trabalho. Além disso constatou-se que os eixos dimensionados para essa condição de trabalho, têm uma probabilidade de falha de 50%. Essa conclusão está fundamentada no cálculo do valor do coeficiente de segurança para a resistência à fadiga considerando a confiabilidade de 50%. Diante dessa constatação, recomendou-se a programação de substituição dos eixos dos outros redutores projetados de forma semelhante, dado que pelo menos 50% deles irão falhar antes do tempo de vida previsto.

5.4 Caso 4: A taxa de falha dos componentes e acessórios de uma rede de distribuição de gás canalizado

O objetivo deste trabalho foi:

- formular proposições que permitam incluir a variável confiabilidade, bem como, a variável manutenibilidade, nas diferentes fases da metodologia de projeto adotada;
- definir a confiabilidade de uma rede de gás canalizado implantada, preliminarmente, na cidade de Curitiba e sua Região Metropolitana, sob o ponto de vista da “falta” de gás para o consumidor final;
- aplicar a metodologia apresentada ao projeto da referida rede de distribuição de gás canalizado, objetivando demonstrar a importância da utilização dos diversos aspectos a serem considerados em cada um das etapas do processo de projeto;
- fornecer subsídios iniciais para que futuros “bancos de dados” referentes aos dispositivos utilizados no projeto de uma rede de distribuição de gás possam ser considerados nos processos de manutenção.

Neste caso o programa de manutenção não pode levar em consideração somente os dados referentes a taxa de falha e a confiabilidade dos componentes ou sistemas. Há que considerar também o grau de criticalidade (C_e) de cada falha. Por falta de dados mais precisos, a criticalidade foi calculada a partir da proposta de Akao (1996).

$$C_e = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \quad (6)$$

onde: F_1 – grandeza da influência provocada pela falha

$F_1 = 5,0$ – falha com perda total

$F_1 = 3,0$ – falha com perda considerável

$F_1 = 1,0$ – falha com perda da função

F_2 – abrangência da influência exercida sobre o sistema

$F_2 = 2,0$ – duas ou mais influências graves para o sistema

$F_2 = 1,0$ – uma influência grave para o sistema

$F_2 = 0,5$ – influência não muito grave para o sistema

F_3 – frequência de ocorrência da falha

$F_3 = 1,5$ – alta possibilidade de ocorrência (estimado)

$F_3 = 1,0$ – possibilidade de ocorrência (estimado)

$F_3 = 0,5$ – pouca possibilidade de ocorrência (estimado)

F_4 – dificuldade de prevenção da falha

F₄ = 1,3 – prevenção impossível

F₄ = 1,0 – prevenção possível

F₄ = 0,7 – prevenção fácil

TABELA 3 – TAXAS DE FALHAS (²) DOS PRINCIPAIS COMPONENTES E ACESSÓRIOS DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS CANALIZADO, CONSIDERANDO-SE GÁS DE REFINARIA (ALMEIDA, 1999)

Componente ou Acessório	Taxa de falhas (λ) $\times 10^{-4}/h$	Aplicação
Válvula esfera	0,1157	ERP/EMRP/Lançador/Vaso/ Válv.Bloqueio (linha)
Válvula globo	0,1157	ERP/EMRP/Lançador/Vaso
Separador centrífugo	0,3858	EMRP
Filtro tipo Y	0,7716	ERP/EMRP
Purgador tipo bóia	0,3858	EMRP
Válvula de bloqueio automática - XV	0,2315	ERP/EMRP
Válvula reguladora de pressão - PCV	0,2315	ERP/EMRP
Válvula de alívio de pressão - PSV	0,1447	ERP/EMRP/Lançador/Vaso
Medidor tipo turbina	0,2315	EMRP
Medidor tipo rotativo	0,2315	EMRP
Manômetro - PI	0,5787	ERP/EMRP/Lançador/Vaso
Transdutor de pressão - PT	0,1929	EMRP
Transdutor de temperatura - TT	0,1929	EMRP
Totalizador, indicador e transdu- tor de vazão – FQIT	0,2315	EMRP
Válvula de 3 vias	0,5787	Lançador
Visor de nível	0,2315	Lançador/Vaso

O grau de criticalidade foi calculado para cada componente das estações de redução ou de medição da rede de gás. Na tabela está sendo apresentado um exemplo para apenas um componente.

TABELA 4 – CÁLCULO DO GRAU DE CRITICALIDADE DE CADA FALHA PARA O SISTEMA (ALMEIDA, 1999)

Componente ou Acessório	Tipo de falha	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	Ce
Válvula esfera	1) Haste emperrada.	3,0	2,0	1,0	1,0	6,0
	2) Vazamento pela haste.	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5
	3) Não abrir após o fechamento.	3,0	1,0	0,5	0,7	1,05

² (*) tais valores, correspondem, em média, à taxa de falhas dos respectivos componentes (considerando-se a fase 3 da “curva da banheira”) e foram obtidos a partir de informações de fabricantes, fornecedores e usuários dos mesmos. Quanto a sua validade, pode-se considerar que a partir da implantação e acompanhamento de um banco de dados, tais valores poderão ser refinados com maior precisão.

Para facilitar a gestão da manutenção analisou-se cada componente quanto ao modo de falha, efeito e causa. Os registros destas informações são fundamentais para a formação dos agentes de manutenção, para a definição dos métodos de manutenção, para compra de equipamentos e para integrar as ações de projeto às de uso.

TABELA 5– TIPOS DE FALHAS DOS PRINCIPAIS COMPONENTES E ACESSÓRIOS DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS CANALIZADO (ALMEIDA, 1999)

Componente ou Acessório	Modo de falha	Causas	Efeitos e conseqüências para o sistema
Válvula esfera – ERP/EMRP/Lançador/Vaso Receptor	1) Haste emperada. 2) Vazamento pela haste.	1) Problemas de desgaste ou sujeira. 2) Desgaste na sede.	1) Impossibilidade para bloqueios repentinos nos dispositivos considerados ou para a execução de manutenções. 2) Descarga de gás para a atmosfera.
Válvula esfera – Bloqueio	1) Haste emperada. 2) Não abrir após o fechamento.	1) Trabalhar na posição semi-aberta ou problemas de desgaste/sujeira. 2) Diferencial de pressão muito alto.	1) Impossibilidade de bloquear um dado trecho em caso de emergência. 2) Impossibilidade de restabelecer o fluxo no trecho considerado.
Válvula globo – ERP/EMRP/Lançador/Vaso Receptor	1) Vazamento pela haste (gaxeta). 2) Desgaste acentuado.	1) Desgaste na sede ou falha de montagem. 2) Número de ciclos elevado.	1) Descarga de gás para a atmosfera. 2) Dificuldade para operação do sistema considerado ou imprecisão no visor de nível (lançador).

5.5 Caso 5: A taxa de falha em usinas de geração de energia

Como visto, taxa de falha relaciona número de falhas e o período de atividade, que no setor elétrico é anual. Entre as empresas de geração de energia elétrica existe uma grande variedade de interpretações sobre o que é considerado falha, como o número de falhas é observado e processado e como é calculado o período de atividade necessário para o cálculo de taxa de falhas. Os valores mostrados aqui se referem às informações fornecidas pelas usinas como taxa de falhas. As usinas aqui apresentadas são responsáveis por mais de 75% de toda a energia elétrica gerada no Brasil.

A FIGURA 7 classifica o número de usinas em relação à taxa de falhas. Como se poderia intuir, observa-se na FIGURA 7 um comportamento tipo log-normal, expressando uma pequena concentração de usinas com taxas próximas a zero e taxas muito altas e uma maior concentração de usinas com taxas de falha em um valor intermediário. Na FIGURA 7 a moda da distribuição (ou seja, o valor de taxa de falhas com a maior frequência) é aproximadamente 1. Mais de 70% das usinas hidrelétricas fiscalizadas apresentam um fator de taxa de falha menor ou igual a dois. Nas termelétricas este valor é um pouco maior, como seria de se

esperar, dada a complexidade inerente destas instalações. Ainda, para as termelétricas, há que se considerar que a amostragem é pouco significativa do ponto de vista estatístico.

A FIGURA 8 mostra a taxa de falha em função da idade de operação das usinas. A curva obtida reproduz o comportamento esperado, com taxas de falha maiores para as usinas jovens e para as usinas com maior tempo de operação.

Observa-se ainda na FIGURA 8 que a maioria das usinas diagnosticadas possui idade igual ou superior a 20 anos. Supondo-se que a taxa de falha das usinas possui o comportamento clássico conhecido como “curva da banheira”, observa-se que a grande maioria das usinas que estão no período intermediário de vida útil, com apenas uma exceção, apresenta taxa de falha até 3.

Para as usinas que se encontram no período de vida útil da curva da taxa de falha e para aquelas que estão entrando no período de envelhecimento (desgaste), recomenda-se ações gerenciais cujo processo de manutenção introduza aspectos relacionados à modernização e recapitação do potencial de geração de energia.

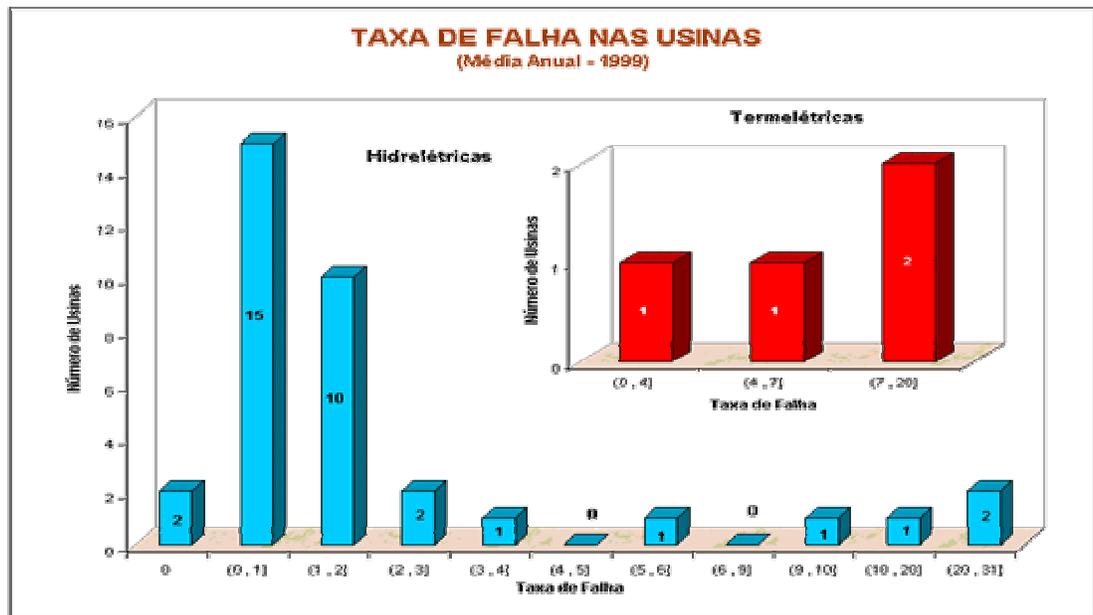


FIGURA 7 NÚMERO DE USINAS EM CADA FAIXA DE TAXA DE FALHA (A FAIXA DE TAXA DE FALHA INCLUI O LIMITE SUPERIOR, MAS EXCLUI O LIMITE INFERIOR DO INTERVALO) (DIAS, ET AL, 2000).

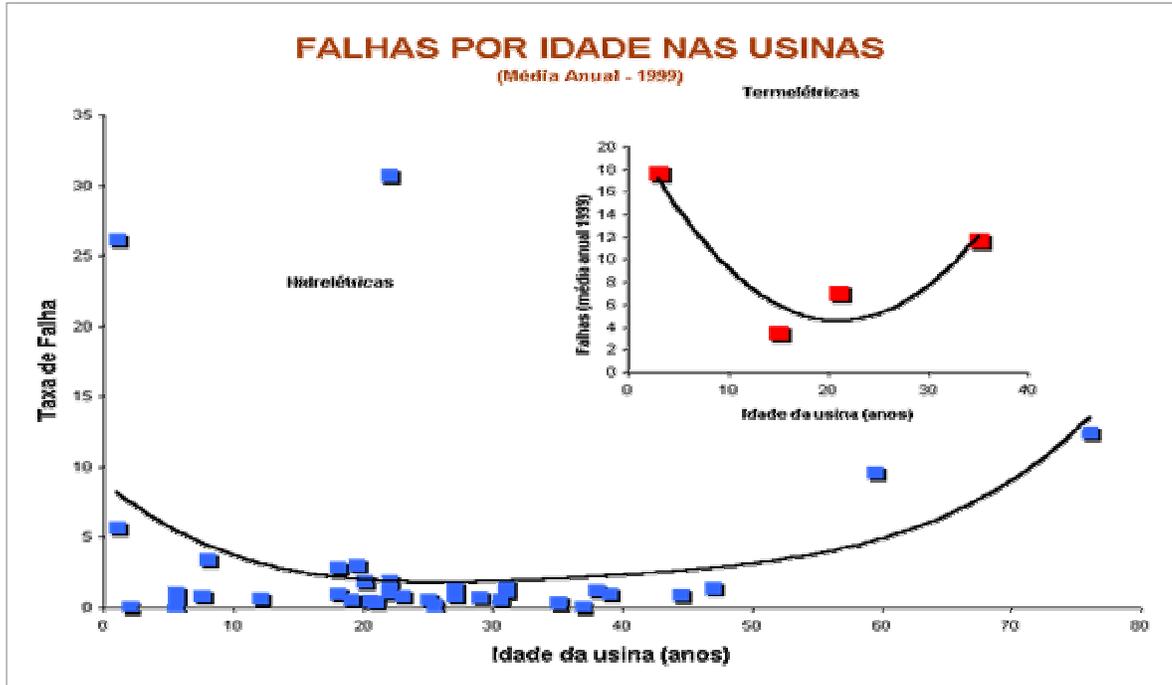


FIGURA 8 TAXA DE FALHA DAS USINAS COMO FUNÇÃO DA IDADE DE OPERAÇÃO (DIAS, ET AL, 2000).

6. Conclusão

Este trabalho não é resultado de um experimento, mas sim da experiência acadêmica, com algumas aplicações práticas e específicas. Por isso as conclusões refletem observações relativas a vivências teóricas e práticas aqui explicitadas.

A realidade industrial brasileira é permeada de contrastes profundos, entre o velho e novo, entre o moderno e o tradicional. Por ter um parque industrial forte e inserido no contexto mundial, é pressionado por todas as mudanças estabelecidas nesse cenário. Diante disso pode-se concluir que:

É haver uma conexão mais forte entre o setor industrial e acadêmico para sistematizar metodologias que permita radiografar o contexto gerencial em manutenção, no tocante as técnicas, pessoal e custos. Os ganhos de disponibilidade obtidos a partir da implantação de novas metodologias em prazos exíguos de uso e, ainda, sem métricas balizadoras para o contexto nacional, são discutíveis. Expressam, sem dúvida, uma realidade percebida, mas em função de uma proposta gerencial, que pode trazer conseqüências imprevisíveis. É conclusivo, que a melhoria da disponibilidade, não depende só da implementação da TPM ou da MCC, mas sim da estrutura da organização e do investimento em estudo, técnica e procedimentos feitos para cumprir metas estabelecidas. Isso é fruto de um processo, de objetivos, prazos e de métricas claras.

Por isso, como conclusão final, aponta-se para a necessidade do envolvimento do setor industrial com as instituições de pesquisa e de ensino para pesquisar, desenvolver e testar metodologias que estejam apropriadas às contingências específicas da indústria brasileira. Vê-se pelos estudos de casos que muitos aspectos devem e precisam ser aprofundados: melhoria e uso de normas técnicas, definição de métricas de confiabilidade apropriadas por aplicação,

estruturação de software de fácil uso e mais adaptáveis às necessidades específicas, aprofundar estudos em projeto para a confiabilidade e para a manutenibilidade, etc.

7. Referências bibliográficas

1. ALMEIDA, C. J. de. 1999. *Uma metodologia de projeto baseada na confiabilidade – Aplicação à redes de distribuição de gás canalizado*. Florianópolis, SC. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, (dissertação de Mestrado).
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1994. Rio de Janeiro. NBR 5462, *Confiabilidade e manutenibilidade - terminologia*. Rio de Janeiro, 37p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1987. Rio de Janeiro. NBR 6742, *Utilização da distribuição de Weibull para interpretação dos estágios de durabilidade por fadiga - procedimento*. Rio de Janeiro, 18p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1995. Rio de Janeiro. NBR 13533, *Coleta de dados de campo relativos a confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade e suporte à manutenção*. Procedimento. Rio de Janeiro, 7p.
5. BERNARDINI, P. FROEHLICH, A. R. 1996. *Laboratório de Materiais/UFSC*. Florianópolis: Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina.
6. BLANCHARD, B.; VERNA, D.; Peterson, E.L. 1995. *Maintainability*. New York: John Wiley & Sons Inc.
7. DIAS, A. 1995. *Terminologia e procedimentos para estimativa da confiabilidade*. XXIV COBEA - Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Viçosa, MG. julho. (anais não publicados).
8. DIAS, A. 1996. *Metodologia para análise da confiabilidade em freios pneumáticos automotivos*. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 199p. Tese (Doutorado).
9. DIAS, A., et.al. 2000. *Diagnóstico dos procedimentos de operação e de manutenção das empresas de geração de Energia Elétrica no Brasil*. Brasília: Seminário sobre o Diagnóstico dos procedimentos de operação e de manutenção das empresas de geração de Energia Elétrica no Brasil. Organização UFSC/ANEEL, 18 e 19 de Setembro. Anais em CD.
10. HALLINAN, A.J.Jr. 1993. A review of the Weibull distribution. *Journal of Quality Technology*. v.25, n.2, p.85-93, April
11. MOUBRAY, J., 1992, *Reliability Centered Maintenance*, Second Edition, Industrial Press Inc.
12. PALLEROSI, C.A. 1995. *Confiabilidade de componentes e sistemas*. Fascículo 12. Campinas: UNICAMP. (Notas preliminares)
13. ROSA, E., DIAS, A. 1997. *GRANTE - Grupo de Análise de Tensão*. Florianópolis: Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina.
14. SOFFNER, R. K. 1993. *Avaliação de confiabilidade em tratores Agrícolas de esteiras*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP. 76p. Dissertação (Mestrado).

