



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

EULLER GONÇALVES DE LIMA

**CONFIABILIDADE E MANUTENÇÃO, UMA ABORDAGEM EM
SISTEMAS EÓLICOS**

Campina Grande, Paraíba
Julho de 2013

EULLER GONÇALVES DE LIMA

CONFIABILIDADE E MANUTENÇÃO, UMA ABORDAGEM EM
SISTEMAS EÓLICOS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Julho de 2013

EULLER GONÇALVES DE LIMA

CONFIABILIDADE E MANUTENÇÃO, UMA ABORDAGEM EM SISTEMAS EÓLICOS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade
Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de Bacharel em
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha mãe, ao meu pai,
aos meus irmãos e à minha noiva.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, meu pai pela garra e força de guiar nosso lar, à minha mãe sempre presente em minhas lutas, aos meus irmãos Elyda e Elton que sempre estiveram presentes em meu coração.

Agradeço à minha noiva Débora pelo apoio e paciência na abdicação de minha presença em momentos difíceis.

Agradeço ao meu grande amigo Wéllber, e aos meus amigos de apartamento Abinadabe e Raphael, pelo grande aprendizado, apoio acadêmico e fraterno que recebi.

Agradeço ao professor Leimar de Oliveira, pela orientação, paciência e dedicação na orientação desse trabalho.

Enfim, agradeço em especial à Adail pelo apoio em momentos de superação, professor Damásio e Tchaikovsky.

*“Não vos moldeis às estruturas deste mundo,
Mas transformais-vos pela renovação da mente,
A fim de distinguir qual é a vontade de Deus:
O que é bom, o que lhe é agradável,
O que é perfeito.”*

RESUMO

A energia eólica ganha a cada ano maior representatividade mundial como fonte de energia renovável e limpa, apresentando grande aceitação social. O rápido desenvolvimento da tecnologia deste tipo de fonte e da sua integração ao sistema elétrico traz consigo grandes implicações, se tornando um importante pólo gerador de empregos: por exemplo, para cientistas que pesquisam e ensinam os aspectos deste tipo de energia e engenheiros eletricitas nas universidades; para profissionais do ramo elétrico que necessitam compreender a complexidade dos efeitos benéficos e maléficos que a energia eólica acarreta ao sistema elétrico de potência; para fabricantes de aerogeradores; para desenvolvedores de projetos de energia eólica, os quais também necessitam do entendimento global de modo a desenvolver projetos eficazes, modernos e econômicos de geração de energia eólica. O gerenciamento eficiente destes sistemas implica no compromisso técnico com a confiabilidade e manutenção, resultando em redução de custos e de mão de obra dedicada em paradas inesperadas do sistema. Desse modo, este relatório de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) visa à exposição dos principais conceitos e estratégias de manutenção e confiabilidade aplicadas a sistemas eólicos.

Palavras-chave: Energia Eólica. Geração de Energia. Confiabilidade. Manutenção de Sistemas Eólicos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Capacidade Eólica Mundial Acumulada Anualmente (MORELLI, 2012).....	12
Figura 2. Capacidade Eólica Mundial Instalada Anualmente (1996-2011) (MORELLI, 2012).	13
Figura 3. Turbina eólica de grande porte (MORELLI, 2012).....	15
Figura 4. Vista do interior da nacela de turbina que utiliza um gerador multipolos (DUTRA, 2008).....	16
Figura 5. Evolução do tamanho dos aerogeradores desde 1985 até 2005 (DUTRA, 2008).....	16
Figura 6. Curva banheira	20
Figura 7. Exemplos de curvas de distribuição	21
Figura 8. Distribuição do número de falhas parques eólicos da Suécia (RIBRANT, 2006) - adaptado.....	36
Figura 9. Distribuição Tempo de Inatividade em Parques eólicos da Suécia (RIBRANT, 2006)- adaptado	37
Figura 10. Distribuição do número de falhas parques eólicos da Finlândia (RIBRANT, 2006) - adaptado	37
Figura 11. Distribuição Tempo de Inatividade em Parques eólicos da Suécia (RIBRANT, 2006) - adaptado	38
Figura 12. Distribuição do número de falhas parques eólicos da Alemanha (RIBRANT, 2006) - adaptado	38
Figura 13. Distribuição Tempo de Inatividade em Parques eólicos da Alemanha (RIBRANT, 2006) - adaptado	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Indicadores Internacionais (JASINSKI, 2005)	33
Tabela 2. Fonte de dados para análise de falhas (RIBRANT, 2006)	35
Tabela 3. Resumo das estatísticas dos parques eólicos	39

SUMÁRIO

1	Introdução	11
1.1	Motivação	12
2	Turbinas Eólicas	14
3	Teoria da Confiabilidade.....	18
3.1	Definição.....	18
3.2	Análise da Confiabilidade.....	18
3.3	Métodos	19
3.3.1	Distribuições de probabilidade	21
3.3.2	Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)	21
4	Manutenção	24
4.1	Evolução	24
4.1.1	Primeira Geração.....	24
4.1.2	Segunda Geração.....	24
4.1.3	Terceira Geração	25
4.1.4	Quarta Geração	26
4.2	Conceitos Fundamentais	26
4.2.1	Disponibilidade	26
4.2.2	Mantenabilidade.....	27
4.3	Tipos de Manutenção.....	28
4.3.1	Manutenção Corretiva	28
4.3.2	Manutenção Preventiva	29
4.3.3	Manutenção Preditiva.....	30
4.3.4	Manutenção Detectiva	31
4.3.5	Engenharia de Manutenção.....	32
4.4	Índices de Manutenção	32
5	Análise de Falhas de Turbinas Eólicas	34
5.1	Confiabilidade dos Dados.....	35
5.2	Aquisição e Procedimentos.....	35
5.3	Estatística de falhas	36
5.3.1	Estatística dos Parques Eólicos da Suécia	36
5.3.2	Estatística dos Parques Eólicos da Finlândia.....	37
5.3.3	Estatística dos Parques Eólicos da Alemanha.....	38
5.3.4	Comparativo das Estatísticas de Falhas.....	39
6	Conclusão	41
	Bibliografia	42

1 INTRODUÇÃO

As energias alternativas vêm sendo amplamente adotadas a partir da década de 1970, principalmente após a crise do petróleo, que fez muitos com que muitos países buscassem segurança no fornecimento energético e redução na importação de energia. As recentes preocupações ambientais levaram, também, à busca de alternativas menos poluentes na geração de energia. Entre essas alternativas, a energia eólica despontou como uma das mais promissoras e despertou interesse tanto da iniciativa pública quanto privada.

O grande potencial eólico e o número significativo de investimentos, para o aumento da capacidade de geração, trazem consigo a responsabilidade de gerenciar os parques eólicos de maneira eficiente, ou seja, com baixo custo de operação e de manutenção.

Na indústria eólica é comum a manutenção baseada na condição do equipamento (manutenção preditiva), considerada por muitos estudos na literatura, como método mais vantajoso, devido ao fato de monitorar continuamente o desempenho das peças de um sistema e, determinar o melhor tempo para o trabalho de manutenção específica.

Na manutenção baseada na condição do equipamento, a confiabilidade e precisão do sensor na aquisição dos dados, serão exigidas como qualquer outro elemento do sistema eólico, principalmente em parques eólicos remotos com condições extremas do ambiente.

O grande desafio é estabelecer uma relação entre os dados obtidos e o modo de falha. Esta dificuldade pode reclinar a atenção do corpo técnico para a manutenção com atuação na correção da falha (manutenção corretiva), a manutenção preventiva e para a manutenção de oportunidade.

Este relatório apresenta os diferentes tipos de manutenção aplicados a sistemas eólicos, além dos conceitos de cada um deles, além do estudo comparativo das diferentes estratégias, expondo os benefícios de cada uma.

O trabalho está estruturado em uma breve introdução sobre sistemas eólicos e o crescimento dessa tecnologia, o capítulo 2 os principais elementos de um sistema eólicos e suas principais causas de falha. O capítulo 3 aborda os principais conceitos da

Teoria da Confiabilidade, o capítulo 4 os conceitos fundamentais de manutenção e por fim o capítulo 5 uma análise de falhas de turbinas eólicas na qual é apresentado um estudo de caso.

1.1 MOTIVAÇÃO

Até o final da década de 90 a capacidade instalada no mundo era inferior a 15.000 MW e ao final de 2004, a capacidade instalada quase foi triplicada, superando os 45.000 MW. A evolução da capacidade eólica mundial pode ser observada na Figura 1.

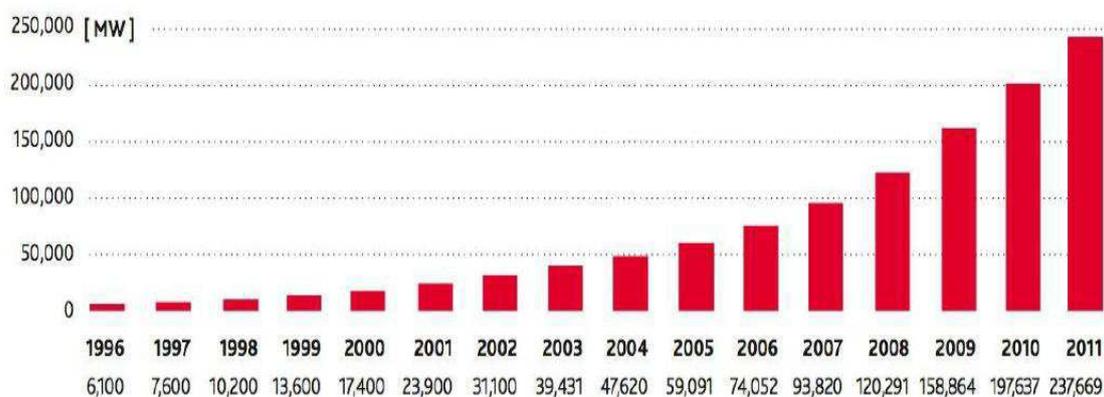


Figura 1. Capacidade Eólica Mundial Acumulada Anualmente (MORELLI, 2012)

De acordo com (MORELLI, 2012), a capacidade mundial instalada, em 2011, foi de 40.564 MW (Figura 2), acumulando um total de aproximadamente 238 GW. Isso representou um crescimento de 20% em relação ao ano anterior, sendo o maior crescimento entre as tecnologias alternativas de energia. Desde 2006 até 2011, o setor apresentou um crescimento médio de 26%, porém manteve-se praticamente estagnado nos últimos três anos – 38,6 GW em 2009, 38,8 GW em 2010 e 41,2 GW em 2011 – devido a um crescimento menor nos Estados Unidos e Europa, em razão de incertezas nas políticas para fontes renováveis; pela crise econômica, que diminuiu o acesso a financiamentos; e pela redução da demanda por eletricidade em muitos países desenvolvidos (REN21, 2012).

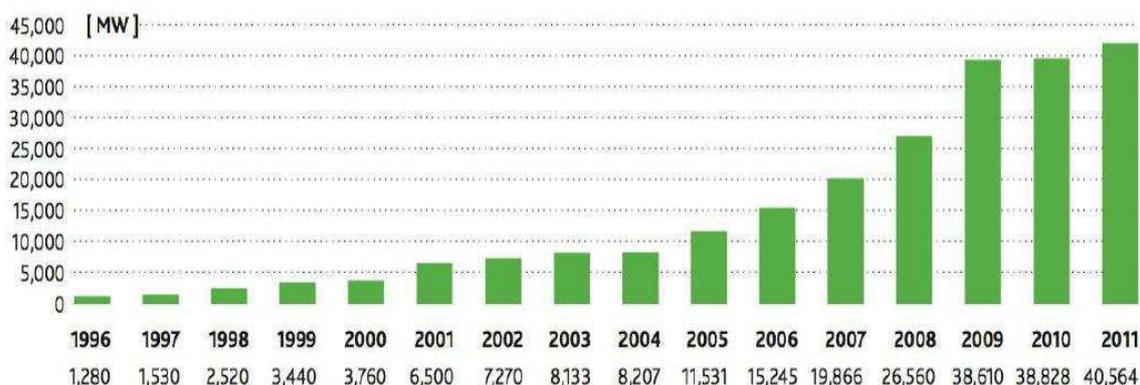


Figura 2. Capacidade Eólica Mundial Instalada Anualmente (1996-2011) (MORELLI, 2012).

Esse crescimento expressivo fez com que a Associação Européia de Energia Eólica (EWEA) formulasse novas metas, estimando que a energia eólica seja suficiente para suprir 12% de toda a energia elétrica demandada no mundo até 2020. De fato, em alguns países e regiões, a energia eólica já representa uma parcela considerável da eletricidade produzida. Na Dinamarca, por exemplo, a energia eólica representa 18% de toda a eletricidade gerada e a meta é aumentar essa parcela para 50% até 2030. Em termos de capacidade instalada, estimasse que, até 2020, a Europa já terá 100.000 MW (MORELLI, 2012).

Devido ao incentivo econômico e político, muitos sistemas eólicos têm sido construídos para instalações *offshore* (“marítimas”). Estes sistemas remotos contemplam alto custo de instalação e, condições difíceis de manutenção. Além disso, as instalações *offshore* possuem condições de trabalho complexas o que pode resultar na redução da confiabilidade e altas taxas de falha. Com aumento da demanda desses sistemas, a operação e manutenção de sistemas eólicos tornam-se um desafio.

A disponibilidade operacional de turbinas eólicas é alta, em torno de 98%, mas isso se deve a um serviço rápido e freqüente e não por causa de uma boa gestão da manutenção ou da confiabilidade do sistema (RIBRANT, 2006). De modo que, é interessante desenvolver estratégias de manutenção que sejam capazes de prever o estado de operação e, em que condições se encontram os componentes.

2 TURBINAS EÓLICAS

No sistema eólico a turbina eólica (aerogerador), é o principal componente eletromecânico, responsável pela transformação da energia cinética dos ventos em energia elétrica. Vários tipos de turbina já surgiram ao longo da escalada de desenvolvimento deste tipo de tecnologia.

- Eixo Vertical;
- Eixo Horizontal;
- Com apenas uma Pá;
- Com duas e três Pás;
- Gerador de Indução;
- Gerador Síncrono;

Hoje, a tecnologia dominante estabelece a utilização de turbinas eólicas com as seguintes características:

- Eixo de Rotação Horizontal;
- Três Pás;
- Alinhamento Ativo;
- Gerador de Indução;
- Estrutura Não-flexível;

A Figura 3 ilustra em detalhes este tipo de turbina, que apesar de bastante utilizada não tem aceitação plena. Alguns estudos contestam a estrutura deste modelo de turbina eólica. Entre os pontos em desacordo está a utilização ou não do controle do ângulo de passo (*pitch*) das pás para limitar a potência máxima gerada.

Hoje, o que ocorre é a combinação destas duas técnicas de controle, ou seja, técnicas de controle de potência (*stall* e *pitch*) em pás que podem variar o seu ângulo de passo para ajustar a potência gerada, sem, contudo, utilizar esse mecanismo continuamente.

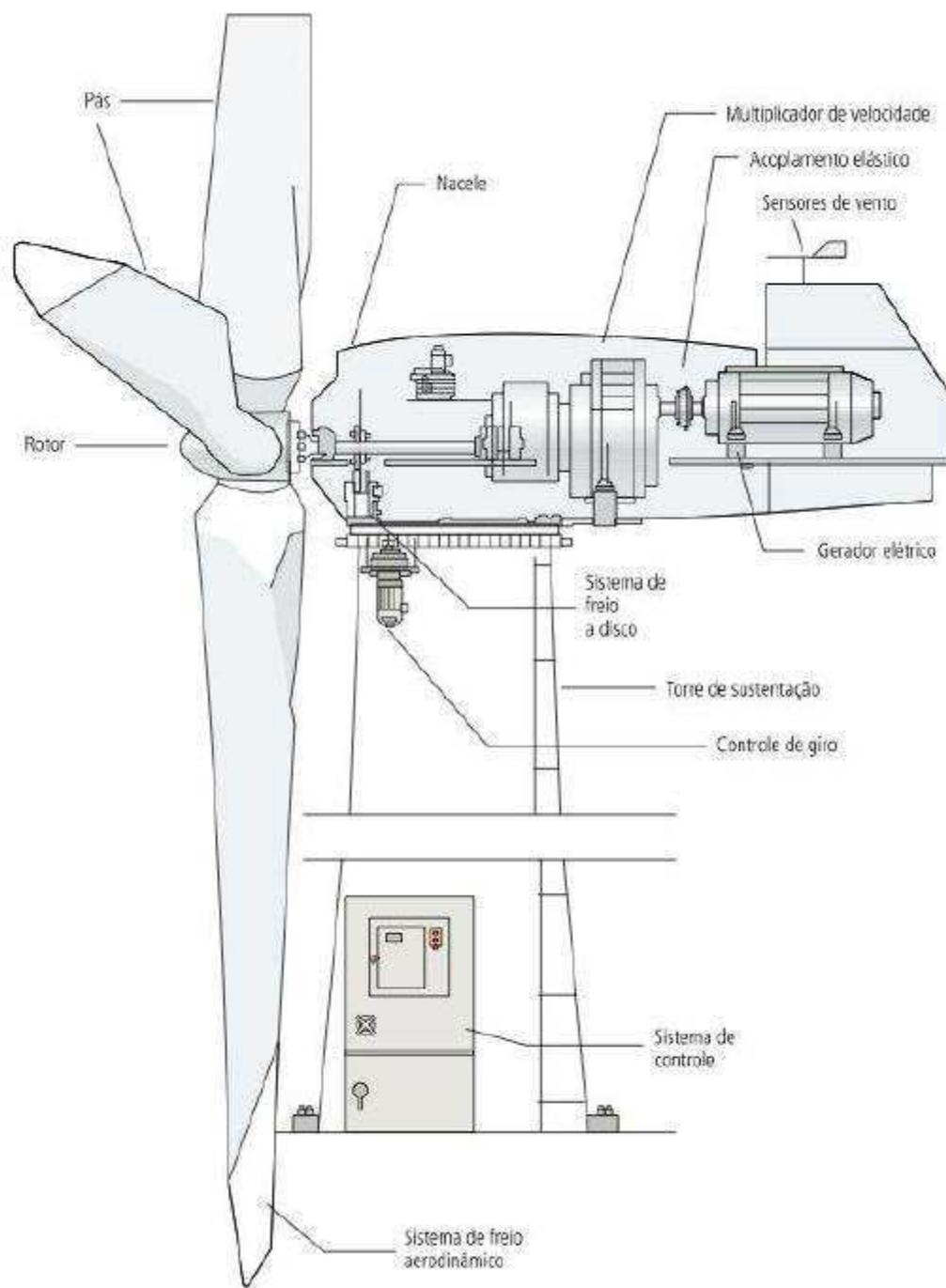


Figura 3. Turbina eólica de grande porte (MORELLI, 2012)

O caso de turbinas que utilizam múltiplos geradores é ilustrado na Figura 4.

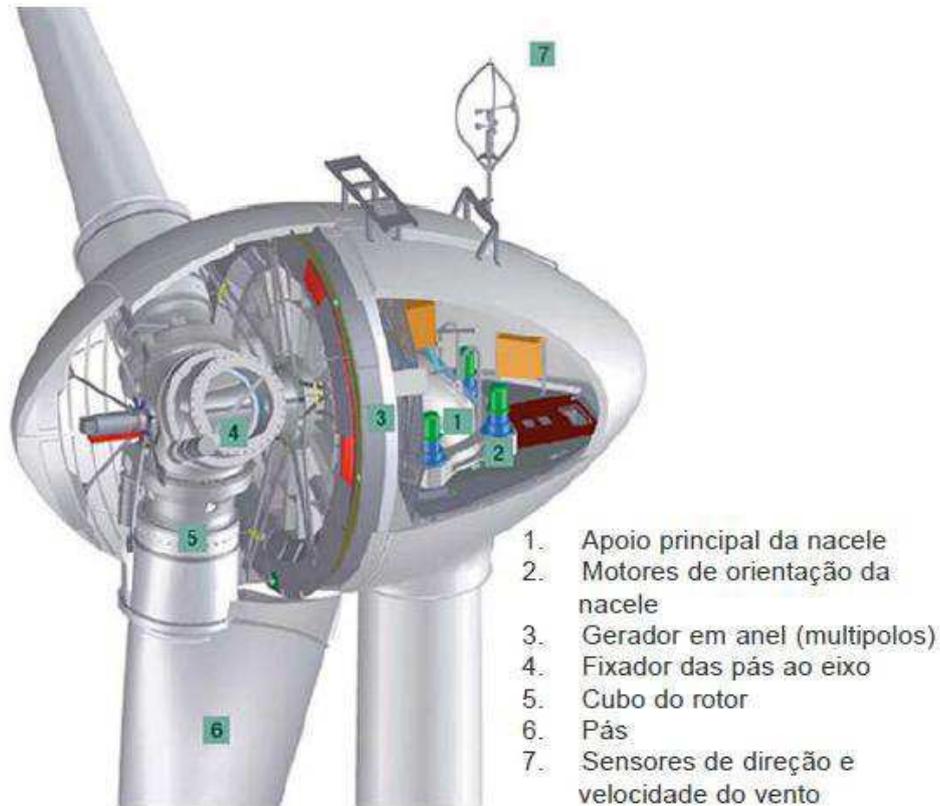


Figura 4. Vista do interior da nacela de turbina que utiliza um gerador multipolos (DUTRA, 2008)

A Figura 5 ilustra a evolução do tamanho de da potência das turbinas eólicas a partir da década de 1980.

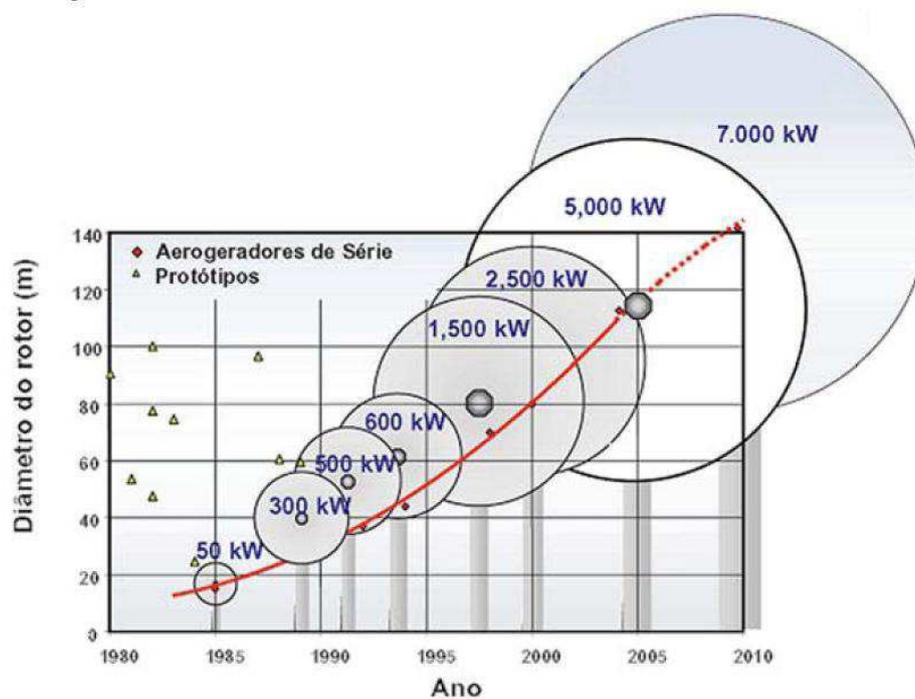


Figura 5. Evolução do tamanho dos aerogeradores desde 1985 até 2005 (DUTRA, 2008)

Dentre os componentes de uma turbina, destacam-se:

- i. Pás: capturam a energia eólica e a converte em energia rotacional no eixo. A quantidade e a área de cobertura das pás afetam diretamente o rendimento do sistema. Comumente são instaladas duas ou três pás, de modo que o fluxo do vento que atinge uma pá, não interfira no movimento das demais. As principais causas de falha são:
 - a. Rachaduras decorrentes de fadiga do material;
 - b. Acúmulo de gelo nas rachaduras;
 - c. Defeitos estruturais;
- ii. Mancais: elemento de sustentação. Geralmente possuem rolamentos esféricos, que auxiliam na redução do atrito no movimento das pás. As principais causas de falha são:
 - a. Desgaste;
 - b. Pouca lubrificação;
 - c. Corrosão;
 - d. Deformação;
- iii. Caixa de Engrenagem (multiplicador de velocidade): aumenta a velocidade do rotor das pás para o rotor do gerador. As principais causas de falha são:
 - a. Pouca lubrificação;
 - b. Falha nos “dentes” da engrenagem;
- iv. Gerador: transformação da energia mecânica em energia elétrica. A principal causa de falha:
 - a. Falha nos mancais do gerador;

3 TEORIA DA CONFIABILIDADE

3.1 DEFINIÇÃO

A capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob dadas condições, para um dado intervalo de tempo. Esta capacidade pode ser descrita em termos de probabilidade e a distribuição de probabilidade pode ser utilizada para modelar o tempo de vida de um componente (RIBRANT, 2006).

Com outras palavras, a ABNT define confiabilidade como: “Característica de um item eventualmente expressa pela probabilidade de que ela preencherá uma função dada, sob condições definidas e por um período de tempo definido”. Desta maneira, busca-se suprir a necessidade das indústrias em conhecer e controlar a vida útil de seus produtos, reduzindo custos sem o comprometimento da qualidade, da segurança ou da disponibilidade destes. Procura-se obter a garantia de que o produto exercerá sua função no período determinado de tempo com um mínimo de falhas.

O termo confiabilidade é generalizado e, pode ser aplicado a atividades humanas, desempenho de sistemas físicos ou na funcionalidade de objetos. Objeto pode ser definido em termo de unidade, item, componente ou sistema.

3.2 ANÁLISE DA CONFIABILIDADE

Os resultados fornecidos por um estudo de confiabilidade não indica de forma direta o que fazer e sim em que direção seguir. Por exemplo, um estudo de confiabilidade pode ser útil na área de análise de risco, otimização de operações e manutenção. A análise de risco é uma maneira de identificar as causas e as conseqüências de eventos de falha, e a otimização como as falhas podem ser evitadas e como melhorar a disponibilidade do sistema. Pode-se entender a Teoria da Confiabilidade como uma ferramenta para analisar e melhorar a disponibilidade do sistema (RIBRANT, 2006).

Predição e avaliação da confiabilidade são os dois problemas principais que a confiabilidade deve encarar. A predição consiste em modelos estatísticos que predizem

sobre a confiabilidade de um componente ou sistema, sugerir métodos para melhorá-la, desenvolver princípios de projetos, novos materiais e tecnologias de processo. A avaliação se resume na utilização das técnicas que permitem medir os valores reais de confiabilidade, verificar as previsões efetuadas com base nos modelos e controlar a manutenção de um nível exigido de confiabilidade.

As técnicas estatísticas existentes como a análise de confiabilidade nos permitem estimar probabilidades de itens relacionados com a necessidade das indústrias, seja no período de desenvolvimento de um projeto ou após o início da utilização do produto. As estimativas estão principalmente relacionadas com:

- Durabilidade de um produto, com as falhas classificadas como de projeto ou processo; ocasionais, por desgaste ou fadiga;
- Tempo médio entre as falhas, permite o dimensionamento de reposição do estoque e planos de manutenção;
- Correções em projetos ou recalls, necessidade pelo agravante das falhas em campo ocorrerem em grande volume;
- A confiabilidade desejada a novos projetos, para atender às expectativas crescentes dos clientes;

3.3 MÉTODOS

É possível definir a taxa de falha como sendo a chance de um componente ou sistema falhar, na próxima e menor unidade de tempo, dado que o item encontra-se em funcionamento.

A taxa de falhas de um equipamento pode ser analisada por curvas, que podem se apresentar de maneira crescente, decrescente ou na forma de *bathtub curve* (curva banheira) ilustrada na Figura 6. Esta curva é apenas um exemplo de uma forma para uma função que modela a falha de algum equipamento em função do tempo, entretanto há diferentes funções de falha, cada uma com diferentes formas de curva.

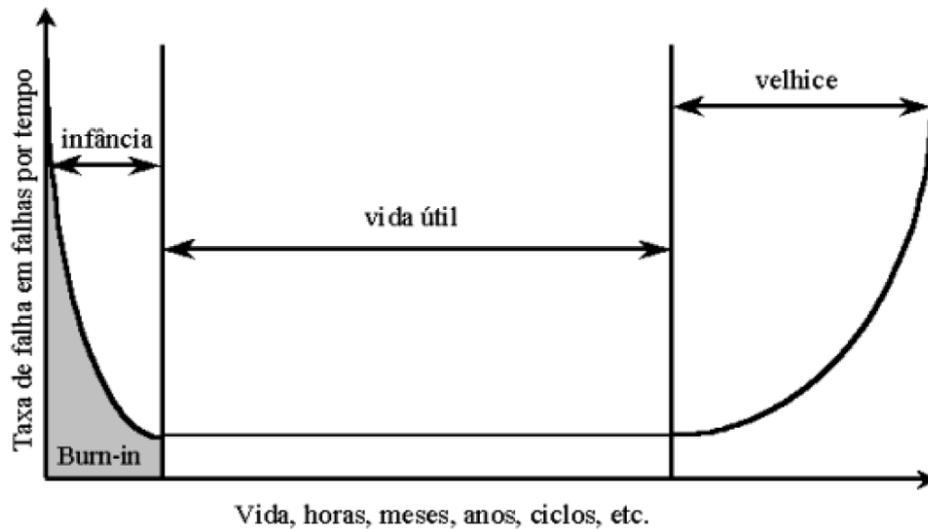


Figura 6. Curva banheira

A *bath curve* pode ser analisada em três fases:

- *Burn in* (infância): conhecida como a fase das falhas prematuras. Podem ser bastante reduzidas através de um rigoroso controle na fabricação e mediante testes antes do envio do produto ao consumidor. São elas: o uso demasiadamente intenso, as anormalidades de fabricação ou podemos considerar também um projeto defeituoso;
- *Useful life period* (vida útil): a taxa de falha permanece constante durante um período de tempo e, as falhas acontecem aleatoriamente. Este tipo de falha é de difícil eliminação, porém em alguns casos existem técnicas que nos permitem fazer um acompanhamento de componentes adequados, através de projetos;
- *Wear out period* (velhice): Acontecem devido ao envelhecimento do equipamento ou desgaste real (pela perda ou degeneração de características importantes). A taxa de falha é classificada como crescente;

Na análise dos Tempos de Falha, aspecto particular da análise de confiabilidade, tudo é baseado em estimativas; o valor real da confiabilidade de um produto nunca será conhecido, somente se todos os produtos já tiverem falhado. Os modelos que fornecem a estimativa de taxa de falha do produto em função do tempo estimam a probabilidade de falha (sobreviver) do produto para uma dada idade, ou para um dado período de

tempo. Os modelos são representações matemáticas dos dados dados por funções contínuas a qual permite interpolações e algumas extrapolações. Estes modelos probabilísticos são baseados em distribuições estatísticas.

3.3.1 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE

A distribuição estatística é descrita pela f.d.p. (ou função densidade de probabilidade) Figura 7. Utilizando a definição da f.d.p. como todas as outras funções mais comumente utilizadas na análise de confiabilidade, que permitem a análise de dados de vida, tais como, função confiabilidade, função taxa de falha, função vida média e função vida mediana. Todas estas podem ser determinadas diretamente a partir das definições da f.d.p. ou $f(t)$.

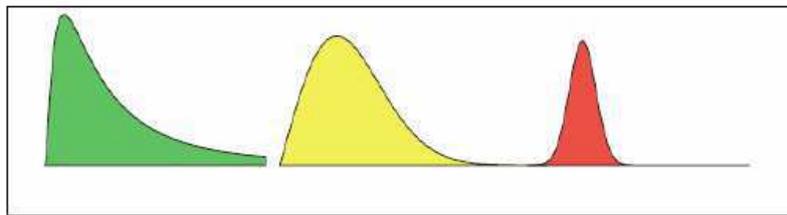


Figura 7. Exemplos de curvas de distribuição

Existem diferentes distribuições, tais como normal, exponencial etc. e cada uma delas tem o $f(t)$ pré-definido. Estas distribuições foram formuladas por estatísticos, matemáticos e engenheiros para modelar matematicamente ou representar determinado comportamento.

3.3.2 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)

A filosofia *Reability-Centered Maintenance* (RCM) tem sua origem na indústria de aviação civil norte-americana no início da década de 1960. No Brasil o RCM é conhecido como MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade), ou ainda, como MBC (Manutenção Baseada em Confiabilidade), introduzido pelo setor petroquímico em meados de 1985 (JASINSKI, 2005).

Para que a confiabilidade seja incrementada, ou seja, para que um item, sistema ou equipamento passe a atender ao desempenho requerido, é necessária a introdução de um novo conceito, o de Manutenção Centrada na Confiabilidade.

A Manutenção Centrada na Confiabilidade é um processo usado para determinar o que precisa ser feito para assegurar que qualquer item físico continue a cumprir as funções desejadas no seu contexto operacional atual.

Nesse processo, várias ferramentas podem ser utilizadas, primeiramente, a fim de quantificar custos importantes e número de falhas, e, posteriormente, para resolver os problemas de modo eficaz, tais como FMEA (Análise do Modo e Efeito de Falha); RCFA (Análise das Causas Raízes da Falha); o MASP (Método de Análise e Solução de Problemas);

Todo item, componente, máquina ou equipamento, é projetado e fabricado para atender a uma especificação. Ou seja, qualquer equipamento ao ser projetado tem por base a função que irá desempenhar. Nesse aspecto, o desempenho dos equipamentos pode ser analisado por dois enfoques:

- **desempenho inerente:** é o desempenho que o equipamento é capaz de fornecer;
- **desempenho requerido ou desejado:** é o desempenho que se quer obter do equipamento.

Essa caracterização é importante, porque a manutenção consegue apenas recuperar o desempenho inerente do equipamento. Se o desempenho do equipamento não é o desejado, ou se reduz a expectativa ou se introduzem modificações.

Em termos financeiros, a importância da confiabilidade pode ser verificada por:

- Plantas que apresentam alta confiabilidade também têm menores custos operacionais (de manutenção; redução de produtos fora de especificação; consumo de energia; etc) pela redução de falhas em equipamentos;
- As falhas reduzem a produção e, conseqüentemente, os lucros;
- As falhas podem interferir na qualidade dos produtos;
- Quanto mais competitiva, maior a chance de sobrevivência da empresa;

Para cada equipamento a MCC procura responder as seguintes perguntas:

- Quais são as funções padrões de desempenho do item no seu contexto operacional atual?
- De que forma ele falha em cumprir suas funções?

- O que causa cada falha operacional?
- O que acontece quando ocorre cada falha?
- De que forma cada falha tem importância?
- O que pode ser feito para prevenir cada falha?
- O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa preventiva apropriada?

A partir do entendimento de como e por que as falhas acontecem, é possível citar vários benefícios, dentre os quais:

- Melhor desempenho operacional;
- Aumento da vida útil do equipamento;
- Histórico do banco de dados de falhas do equipamento;

Entre os benefícios dessa busca pelo aumento da confiabilidade podem ser citados: incremento no conhecimento que a operação tem do equipamento; garantia de que os recursos da manutenção serão aplicados onde o efeito é maior; melhoria das condições ambientais e de segurança; aumento de vida útil do equipamento; compartilhamento dos problemas da manutenção; senso de equipe e motivação de pessoal entre outros.

4 MANUTENÇÃO

Nos últimos anos a atividade de manutenção tem passado por profundas mudanças. Estas alterações são conseqüências de vários fatores, destacam-se (KARDEC e NASCIF, 2003):

- i. Aumento, bastante rápido, do número de da diversidade dos itens físicos (instalações, equipamentos e edificações);
- ii. Projetos mais complexos;
- iii. Novas técnicas de manutenção;
- iv. Novos enfoques sobre a organização da manutenção e suas responsabilidades;

4.1 EVOLUÇÃO

A partir de 1930, a evolução da manutenção pode ser dividida em quatro gerações (KARDEC e NASCIF, 2003).

4.1.1 PRIMEIRA GERAÇÃO

A Primeira Geração abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando a indústria era pouco mecanizada, os equipamentos eram simples e, na sua grande maioria, superdimensionados. Aliado a tudo isto, devido à conjuntura econômica da época, a questão da produtividade não era prioritária. Conseqüentemente, não era necessária uma manutenção sistematizada; apenas serviços de limpeza, lubrificação e reparo após a quebra, ou seja, a manutenção era, fundamentalmente, corretiva.

4.1.2 SEGUNDA GERAÇÃO

Esta geração vai desde a Segunda Guerra Mundial até os anos 60. As pressões do período da guerra aumentaram a demanda por todo tipo de produtos, ao mesmo tempo em que o contingente de mão-de-obra industrial diminuiu sensivelmente. Como

consequência, neste período, houve forte aumento da mecanização, bem como da complexidade das instalações industriais.

Começa a se evidenciar a necessidade de mais disponibilidade, bem como maior confiabilidade: a indústria estava bastante dependente do bom funcionamento das máquinas. Isto levou à idéia de que falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, o que resultou no conceito de **manutenção preventiva**.

Na década de 60, esta manutenção consistia em intervenções nos equipamentos feitas a intervalo fixo. O custo da manutenção também começou a se elevar muito em comparação com outros custos operacionais. Esse fato fez aumentar *os sistemas de planejamento e controle de manutenção* que, atualmente, são parte integrante da manutenção moderna.

Finalmente, a quantidade de capital investido em itens físicos, juntamente com o nítido aumento do custo deste capital levou as pessoas a buscarem meios para aumentar a vida útil dos itens físicos.

4.1.3 TERCEIRA GERAÇÃO

A partir da década de 70, acelerou-se o processo de mudança nas indústrias. A paralisação da produção era uma preocupação generalizada, já que diminui a capacidade de produção, aumenta os custos e afeta a qualidade dos produtos. Na manufatura, os efeitos dos períodos de paralisação foram se agravando pela tendência mundial de utilizar sistemas *just-in-time*, em que estoques reduzidos para a produção em andamento, significam que pequenas pausas na produção/entrega, naquele momento, poderiam paralisar a fábrica.

O crescimento da automatização e da mecanização passou a indicar que confiabilidade e disponibilidade tornaram-se pontos-chave em setores tão distintos quanto o da saúde, processamento de dados, telecomunicações e gerenciamento de edificações.

Maior automação também significa que falhas cada vez mais frequentes afetam a capacidade de manter *padrões de qualidade* estabelecidos. Isso se aplica tanto aos padrões do serviço, quanto à qualidade do produto; por exemplo, falhas em equipamentos podem afetar o controle climático em edifícios e a pontualidade das redes de transporte. Cada vez mais, as falhas provocam sérias consequências na *segurança* e no *meio ambiente*, em um momento em que os padrões de exigência nessas áreas estão

umentando rapidamente. Em algumas partes do mundo, as empresas devem satisfazer as expectativas de segurança e de preservação ambiental, ou podem ser impedidas de funcionar.

Na Terceira Geração, reforçou-se o conceito de uma manutenção preditiva. *A interação entre as fases de implantação de um sistema (projeto, fabricação, instalação e manutenção) e a Disponibilidade/Confiabilidade torna-se mais evidente.*

4.1.4 QUARTA GERAÇÃO

Ainda permanecem algumas expectativas da terceira geração com relação à manutenção. A disponibilidade é uma das medidas de performance mais importantes da manutenção. A confiabilidade dos equipamentos é um fator de constante busca pela manutenção. A consolidação das atividades de Engenharia da Manutenção, dentro da estrutura organizacional da manutenção, tem na garantia da disponibilidade, da Confiabilidade e da Mantenabilidade as três maiores justificativas de sua existência.

4.2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

O conceito de manutenção, assim como a grande maioria dos conceitos relacionados com a indústria, foi modificado ao longo do tempo, em função das necessidades cada vez maiores e dos estudos correspondentes que procuravam responder a essas necessidades. Assim, até bem pouco tempo, o conceito predominante era de que a missão da manutenção consistia em restabelecer as condições originais dos equipamentos ou sistemas. Hoje, é possível afirmar que a missão da manutenção é:

- *garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados.*

4.2.1 DISPONIBILIDADE

Disponibilidade é a probabilidade que um sistema esteja em condição operacional no instante determinado. A Disponibilidade de um sistema é definida pela equação (1):

$$DISP = \frac{TOPT}{TOPT + TRPT}. \quad (1)$$

em que: TOPT: é o tempo de disponibilidade e/ou operação; TRPT: é o tempo de indisponibilidade.

4.2.2 MANTENABILIDADE

A maioria dos sistemas sofre manutenção, ou seja, são reparados quando falham e sofrem outras atividades para mantê-los operando. A facilidade com que se efetuam reparos e outras atividades de manutenção determinam a Manutenibilidade de um sistema/equipamento. Por exemplo, uma válvula importada, cujo tempo de reposição de qualquer componente seja elevado, terá uma baixa manutenibilidade.

Trata-se, portanto, da facilidade de se recolocar um equipamento em operação, a partir do momento em que falha.

Sob o ponto de vista da matemática, tem-se uma definição mais objetiva: Manutenibilidade é a probabilidade do equipamento ser recolocado em condições de operação dentro de um dado período de tempo, quando a ação de manutenção é executada de acordo com os procedimentos prescritos.

Não devem ser confundidos os termos Manutenção (conjunto das ações destinadas a manter ou recolocar um item em um estado em que possa executar sua função requerida) e Manutenibilidade (característica de projeto que define a facilidade de manutenção, o tempo de manutenção, os custos e as funções que o item executa).

O maior ou menor grau de facilidade em executar a manutenção de um equipamento pode ser medido pelo tempo médio para reparo (*Mean Time to Repair* ou MTTR) equações (2) e (3).

$$MTBF = \frac{TOPT}{n}. \quad (2)$$

$$MTTR = \frac{TRPT}{n}. \quad (3)$$

em que: MTBF: Tempo médio entre falhas (*Mean Time Between Failures*); MTTR: tempo médio para reparo (*Mean Time to Repair*); TOPT: é o tempo de disponibilidade e/ou operação; TRPT: é o tempo de indisponibilidade.

Verifica-se que a disponibilidade do equipamento ou sistema está relacionada com o tempo de indisponibilidade, que inclui o tempo de reparo propriamente dito e todas as esperas que retardem a colocação do equipamento disponível para a operação.

4.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Algumas práticas básicas definem os principais tipos de manutenção:

- Manutenção Corretiva não Planejada;
- Manutenção Corretiva Planejada;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Detectiva;
- Engenharia de Manutenção;

4.3.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

É a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor do que o esperado. Desse modo, a ação principal na **Manutenção Corretiva é Corrigir** ou **Restaurar** as condições de funcionamento do equipamento ou sistema.

A manutenção deve ser organizada de tal maneira que o equipamento pare de produzir somente de forma planejada, para que se possa fazer uma Manutenção Corretiva Planejada. Quando o equipamento pára de produzir por si próprio, sem uma definição gerencial, há necessidade de uma intervenção não planejada ou uma Manutenção Corretiva Não Planejada. Manutenção Corretiva Não Planejada é a correção da falha aleatória.

É importante distinguir bem as conseqüências da Manutenção Corretiva **Planejada** da **Não Planejada**. Enquanto na Planejada a perda de produção é reduzida ou mesmo eliminada, além do que o tempo de reparo e o custo são minimizados; na Manutenção **Não Planejada** ocorre justamente o oposto. Esta se caracteriza pela

atuação da manutenção em fato já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor do que o esperado. Não há tempo para preparação do serviço.

Normalmente, a manutenção corretiva **não planejada** implica altos custos, pois a quebra inesperada pode acarretar perdas de produção, perda da qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção. Além disso, quebras aleatórias podem ter conseqüências bastante graves para o equipamento, isto é, a extensão dos danos pode ser bem maior.

Manutenção Corretiva **Planejada** é a correção do desempenho menor do que o esperado ou da falha, por decisão gerencial, isto é, pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra.

Um trabalho planejado é sempre mais barato, mais rápido e mais seguro do que um trabalho não planejado. E será sempre de melhor qualidade. A característica principal da manutenção corretiva **planejada** é função da qualidade da informação fornecida pelo acompanhamento do equipamento.

As razões que levam aos melhores resultados da Manutenção Corretiva Planejada são:

- Possibilidade de compatibilizar a necessidade da intervenção com os interesses da produção;
- Melhor planejamento dos serviços;
- Garantia da existência de sobressalentes, equipamentos e ferramental;
- Garantia da existência de recursos humanos com a qualificação necessária para a execução dos serviços e em quantidade suficiente, que podem, inclusive, ser buscados externamente à organização;

4.3.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Manutenção Preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, de acordo com um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.

Inversamente à política de Manutenção Corretiva, a Manutenção Preventiva procura obstinadamente evitar a ocorrência de falhas, ou seja, procura **prevenir**. Em determinados setores, como na aviação, a adoção de manutenção preventiva é imperativa, pois o fator segurança sobrepõe-se aos demais.

A Manutenção Preventiva, adotada em exagero no passado sem uma adequada análise do custo x benefício, só deve ser realizada nos seguintes casos:

- Quando não é possível a preditiva;
- Quando estão envolvidas seguranças pessoal e operacional;
- Quando há oportunidade em equipamentos críticos de difícil liberação;
- Em sistemas complexos e de operação contínua. Por exemplo: petroquímica e siderúrgicas, dentre outras;
- Quando pode colocar em risco o meio ambiente;

Se, por um lado, a manutenção preventiva proporciona um conhecimento prévio das ações, permitindo uma boa condição de gerenciamento das atividades e nivelamento de recursos, além de previsibilidade de consumo de materiais e sobressalentes, por outro promove, via de regra, a retirada do equipamento ou sistema de operação para execução dos serviços programados. Outro ponto negativo com relação à manutenção preventiva é a indução de defeitos não existentes no equipamento devido a:

- Falha humana;
- Falha de sobressalentes;
- Contaminações introduzidas no sistema de óleo;
- Danos durante partidas e paradas;
- Falhas dos procedimentos de manutenção;

4.3.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção Preditiva, também conhecida por Manutenção Sob Condição ou Manutenção com Base no Estado do Equipamento, pode ser definida como a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática.

Seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, com o intuito de permitir a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na realidade, o termo associado à Manutenção Preditiva é o de **prever** as condições dos equipamentos. A Manutenção Preditiva privilegia, portanto, a disponibilidade à medida que não promove a

intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo.

Quando o grau de degradação se aproxima ou atinge o limite previamente estabelecido, é tomada a decisão de intervenção. Normalmente esse tipo de acompanhamento permite a preparação prévia do serviço, além de outras decisões e alternativas relacionadas com a produção. Em outras palavras podemos dizer que a manutenção preditiva prediz as condições dos equipamentos, e quando a intervenção é decidida, o que se faz, na realidade, é uma manutenção corretiva planejada.

Para se realizar a Manutenção Preditiva, adotam-se as seguintes prescrições básicas:

- O equipamento, o sistema ou a instalação devem permitir algum tipo de monitoramento/medição;
- O equipamento, o sistema ou a instalação devem ter custo compatível ao investimento da ação de monitoramento;
- As falhas devem ser oriundas de causas que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada;
- Seja estabelecido um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico sistematizado;

4.3.4 MANUTENÇÃO DETECTIVA

Manutenção Detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção, de forma a detectar falhas ocultas ou não-perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção.

Desse modo, tarefas executadas para verificar se um sistema de proteção ainda está funcionando representam a Manutenção Detectiva. Um exemplo simples e objetivo é o botão de teste de lâmpadas de sinalização e alarme em painéis.

A identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Em sistemas complexos, essas ações só devem ser levadas a efeito por pessoal da área de manutenção, com treinamento e habilitação para tal, assessorado, pelo pessoal de operação.

4.3.5 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

A Engenharia de Manutenção é o suporte técnico da manutenção que está dedicado a:

- Consolidar a rotina;
- Implantar a melhoria;

Praticar a Engenharia de Manutenção significa deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver manutenibilidade, dar *feedback* ao projeto, interferir tecnicamente nas compras, perseguindo o *benchmarking* em manutenção.

À medida que as melhorias técnicas são implementadas os resultados da manutenção vão sendo aprimorados. Uma planta voltada para manutenção corretiva, ou seja, comandada pela quebra aleatória dos equipamentos, apresenta resultados pífios. Esses resultados são levemente melhorados com a prática da manutenção preventiva, e sofrem um sensível incremento com a prática da manutenção preditiva.

No estágio de manutenção preditiva, a máxima disponibilidade para a qual os equipamentos foram projetados é alcançada, o que proporciona o aumento na produção e faturamento. Os dados coletados na Manutenção preditiva, tais como curvas de tendência, dados instantâneos e valores de alarme, guiarão recomendações para intervenção, antes de a falha ocorrer.

No momento em que a estrutura de manutenção dessa planta estiver utilizando para análise, estudo e proposições de melhoria de todos os dados que o sistema de preditiva colhe e armazena, estará praticando a Engenharia de Manutenção. A Engenharia de manutenção utiliza dados adquiridos pela Manutenção para a melhoria contínua.

4.4 ÍNDICES DE MANUTENÇÃO

Os índices de manutenção são vários e a adoção de um ou outro índice na empresa é relativo à política de manutenção adotada pela mesma, pois, depende de que resultado a empresa deseja medir ou que aspectos a empresa quer melhorar ou controlar.

A ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção) realiza desde 1985 o levantamento dos índices no Brasil e são pesquisados 49 índices. Em 2001 a ABRAMAN divulgou uma pesquisa que apresentava os índices de indicadores internacionais que hoje são usados por esta para comparação (*Benchmarking*) com os índices Brasileiros, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Indicadores Internacionais (JASINSKI, 2005)

Indicador	Índice
Custo de manutenção por faturamento	1,5 a 5%
Custo de manutenção por imobilizado	2 a 5%
Custo relativo com pessoal próprio	20 a 45%
Custo relativo com material	20 a 55%
Custo relativo com contratação	10 a 40%
Disponibilidade operacional	78 a 91%
Trabalho em manutenção corretiva	2 a 20%
Trabalho em manutenção preventiva	18 a 40%
Pessoal próprio / pessoal total	10 a 30%
Pessoal contratado / pessoal próprio	10 a 55%
Supervisores / supervisionados	4 a 7%
H.h treinamento / H.h total	5 a 10%
Horas de espera (em relação ao tempo de manutenção)	15 a 20%
Produtividade do pessoal de manutenção	30 a 40%
Ociosidade do pessoal de manutenção	6 a 10%
Efetividade operacional global	48 a 78%

O percentual expresso na Tabela 1, corresponde ao total destinado às atividades de manutenção. É importante ressaltar que a produtividade do pessoal de manutenção varia numa faixa de 30 a 40% o que implicaria na prática a importância de manter uma equipe qualificada e motivada para o trabalho. A disponibilidade operacional segue como percentual relevante, com índice na faixa de 78 a 90%, o que levaria à interpretação de que a indisponibilidade do equipamento ou da mão de obra influencia diretamente nos custos destinados à manutenção e operação do equipamento.

5 ANÁLISE DE FALHAS DE TURBINAS EÓLICAS

O estudo de dados estatísticos de turbinas de energia eólica é de grande relevância, pelo fato de informar sobre o desempenho da confiabilidade. Os dados do sistema em operação auxiliam a verificar se o tempo de vida prevista do sistema está de acordo com o previsto, e a experiência adquirida a partir da análise dos dados estatísticos podem resultar em uma remodelagem de um componente ou mesmo uma mudança no planejamento da manutenção.

A obtenção de dados de sistemas eólicos para a análise de falhas pode encontrar restrições, é possível citar:

- Os fabricantes de turbinas eólicas podem não fornecer os dados em operação da turbina eólica;
- Especificações distintas de projetos de parques eólicos;
- O período de análise dos dados precisa ser compatível;
- Confiabilidade dos dados;

Devido a indisponibilidade de dados de operação por parte dos de parques eólicos no Brasil, no que tange aspectos de manutenção, este relatório se utiliza dos dados fornecidos em (RIBRANT, 2006). Os parques eólicos em estudo estão citados com seus respectivos centros de pesquisa:

- Suécia, *Elforsk*;
- Suécia, *Swedpower*;
- Finlândia, *VTT*;
- Alemanha, *Solare Energieversorgungstechnik (ISET)*;

A Tabela 2 ilustra as informações do diferentes parques eólicos citados acima.

Tabela 2. Fonte de dados para análise de falhas (RIBRANT, 2006)

Centro	Parques Eólicos			
	Elforsk	Swedpower	VTT	ISET
Período de análise	1997-2004	1989-out. 2005	2000-2004	2003-2004
Número de turbinas do Parque Eólico	723	786	92	650
Turbinas Analisadas/Turbinas do país	>95%	>95%	~100%	4% a 7%
Número de relatórios de falha	1658	1658	491	4807

5.1 CONFIABILIDADE DOS DADOS

Para os parques eólicos dos países referenciados na Tabela 2, os dados foram obtidos de maneira voluntária. O fato é que alguns parques eólicos receberam investimentos do governo e/ou colaboração com projetos de pesquisa, esta parceria tinha como pré-requisito a disponibilização dos dados dos parques eólicos por parte da empresa parceira (RIBRANT, 2006).

5.2 AQUISIÇÃO E PROCEDIMENTOS

Dentro da turbina encontra-se instalada uma unidade de controle, que de forma regular coleta os dados necessários para a análise. As turbinas atuais utilizam a coleta remota desses dados, e via internet os enviam para a os responsáveis pelo controle. São reportados não apenas o funcionamento, mas também as falhas e o tempo que o sistema fique fora de funcionamento.

Para cada falha adota-se os seguintes procedimentos:

- i. A falha ocorre dentro da turbina;
- ii. A unidade de controle, localizada dentro da turbina, registra as falha e as conseqüências dele. Exemplo: explosão, incêndio, ruptura. Em caso de danos elevados a turbina é desligada;
- iii. Se a turbina for monitorada remotamente, um alarme é enviado aos operadores do parque eólico;
- iv. Muitos alarmes registram problemas simples. Caso a falha seja grave, os operadores locais devem realizar uma inspeção visual;

- v. Dependendo do nível de falha ou dano, o grupo de manutenção é acionado para que sejam realizadas as trocas ou reparos necessários. Neste caso é necessário o preenchimento de um relatório com a descrição detalhada da falha, incluindo lista de equipamentos reparados e o tempo que o sistema ficou fora de operação;
- vi. O relatório é incluído no banco de dados do parque eólico, para ser utilizado nas análises estatísticas de falha;

5.3 ESTATÍSTICA DE FALHAS

A partir do banco de dados dos parques eólicos referenciados na Tabela 2, foram construídos os gráficos com o percentual de falha do sistema.

5.3.1 ESTATÍSTICA DOS PARQUES EÓLICOS DA SUÉCIA

As companhias *Elforsk* e *Swedpower AB*, possuem banco de dados combinados, o que implica na análise conjunta de falha para os sistemas correspondentes de cada uma.

A Figura 8 ilustra o percentual do número de falhas que ocorreu na Suécia no período de 2000 a 2004.

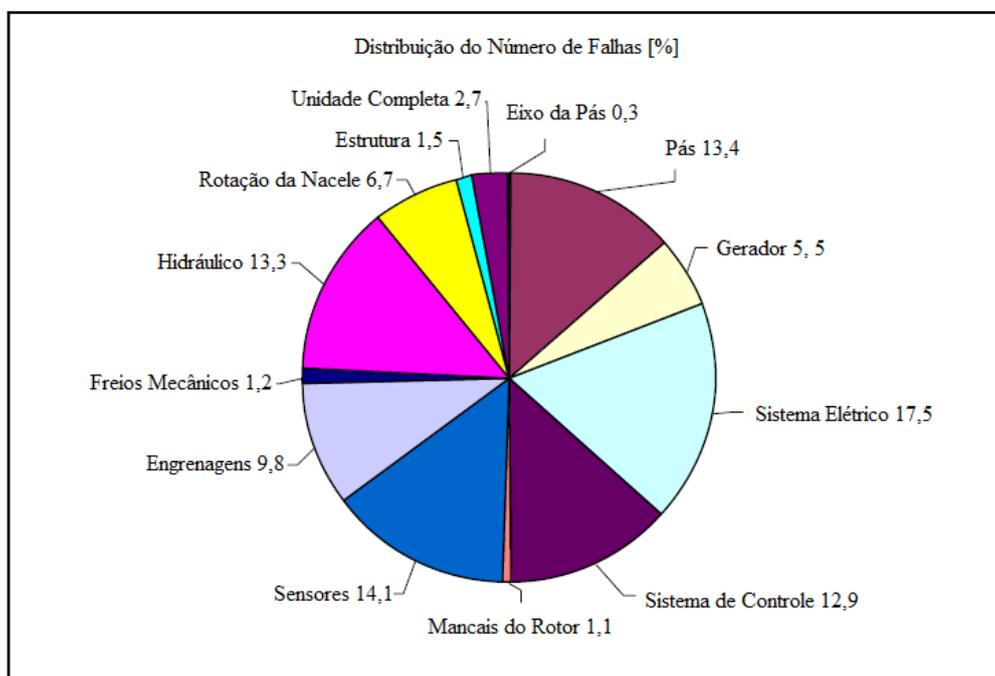


Figura 8. Distribuição do número de falhas parques eólicos da Suécia (RIBRANT, 2006) - adaptado.

A Figura 9 ilustra o tempo de inatividade por componente na Suécia no período de 2000 a 2004.

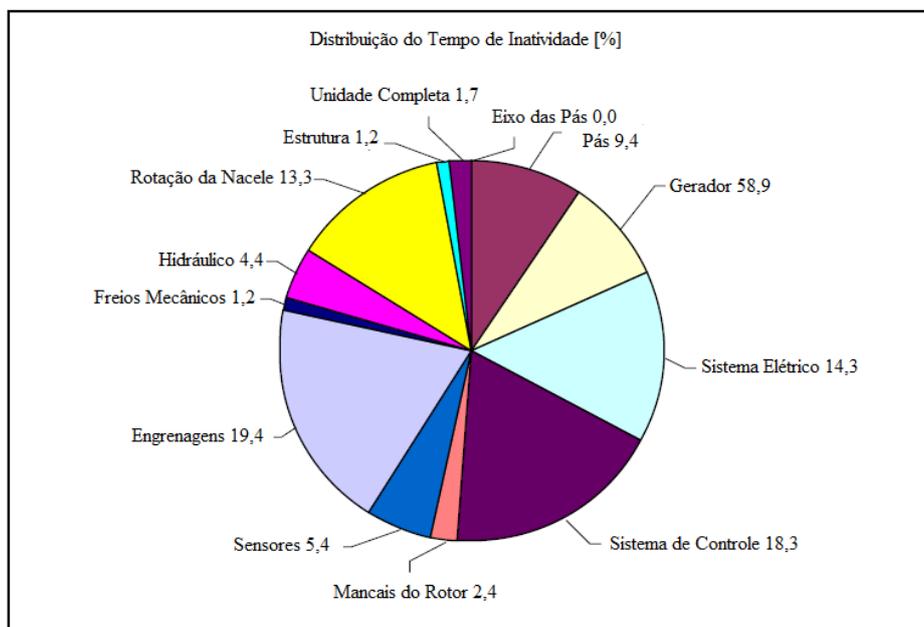


Figura 9. Distribuição Tempo de Inatividade em Parques eólicos da Suécia (RIBRANT, 2006)- adaptado

5.3.2 ESTATÍSTICA DOS PARQUES EÓLICOS DA FINLÂNDIA

A Figura 10 (Figura 8) ilustra o percentual do número de falhas que ocorreu na Finlândia no período de 2000 a 2004

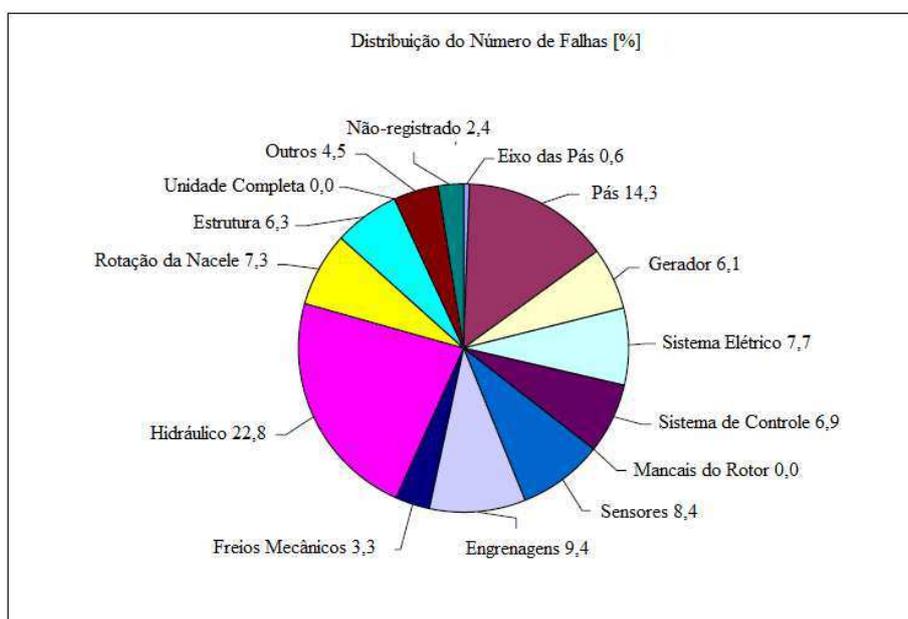


Figura 10. Distribuição do número de falhas parques eólicos da Finlândia (RIBRANT, 2006) - adaptado

A Figura 11 ilustra o tempo de inatividade por componente na Finlândia no período de 2000 a 2004.

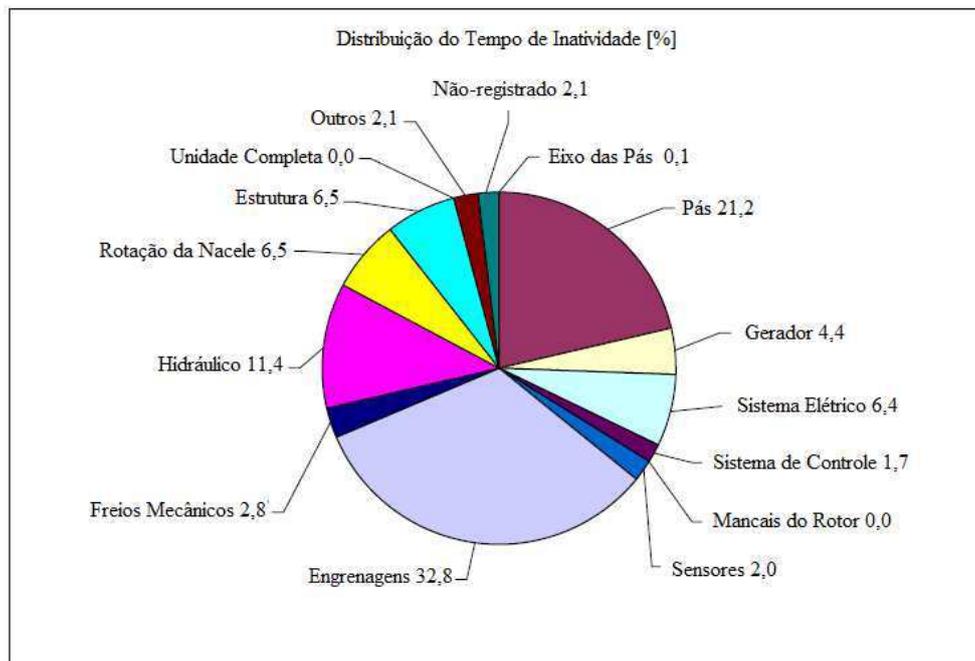


Figura 11. Distribuição Tempo de Inatividade em Parques eólicos da Suécia (RIBRANT, 2006) - adaptado

5.3.3 ESTATÍSTICA DOS PARQUES EÓLICOS DA ALEMANHA

A Figura 12 ilustra o percentual do número de falhas que ocorreu na Alemanha no período de 2003 a 2004

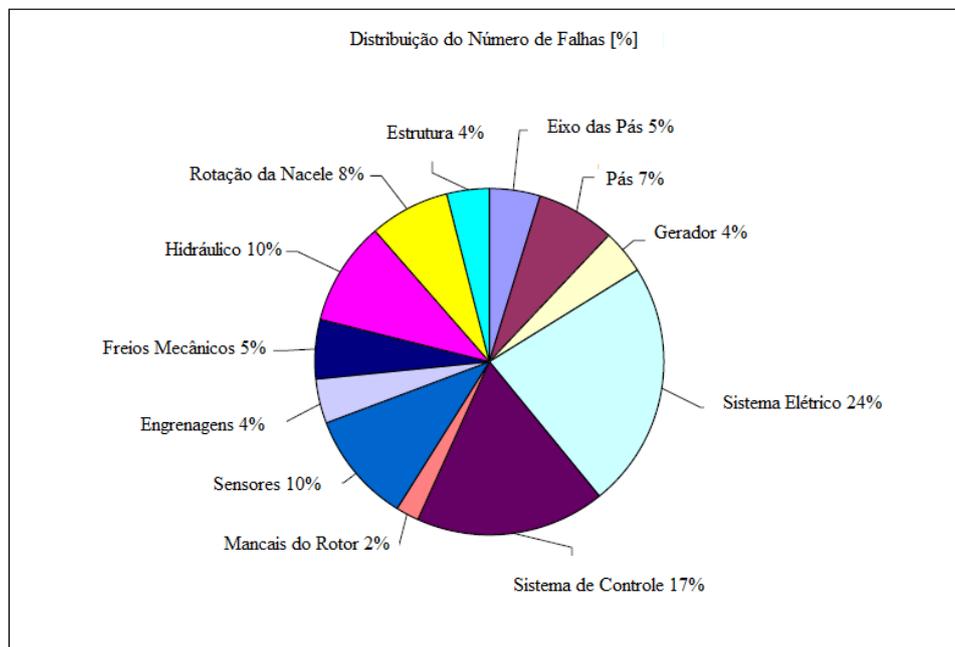


Figura 12. Distribuição do número de falhas parques eólicos da Alemanha (RIBRANT, 2006) - adaptado

A Figura 13 ilustra o tempo de inatividade por componente na Alemanha no período de 2003 a 2004.

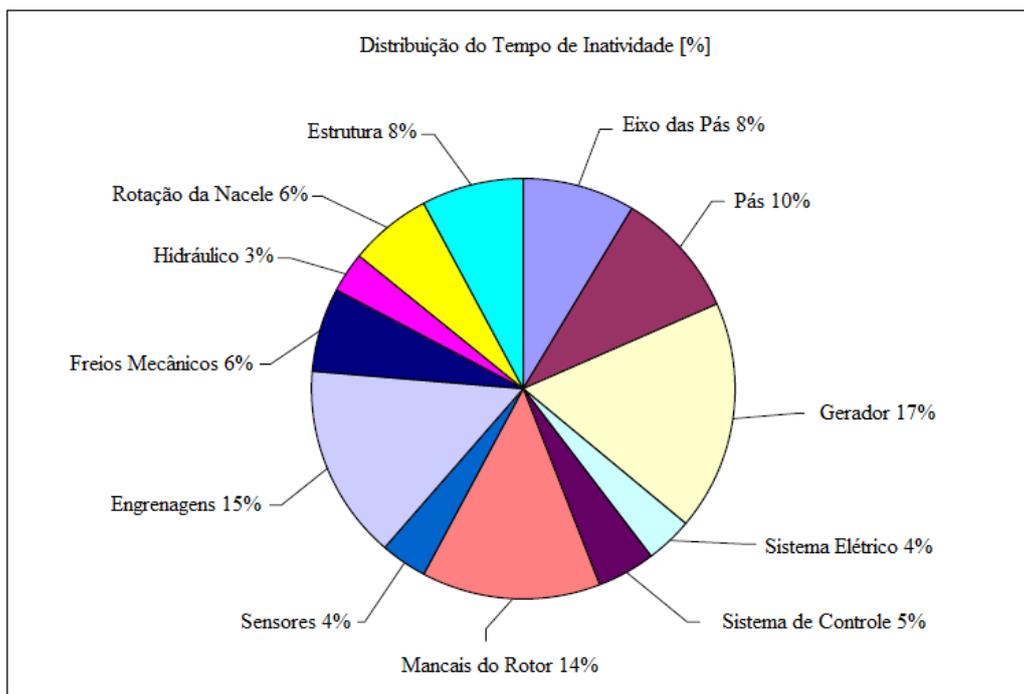


Figura 13. Distribuição Tempo de Inatividade em Parques eólicos da Alemanha (RIBRANT, 2006) - adaptado

5.3.4 COMPARATIVO DAS ESTATÍSTICAS DE FALHAS

A Tabela 3 agrupa informações da Análise de Falha entre os dados obtidos dos parques eólicos da Suécia, Finlândia e Alemanha.

Tabela 3. Resumo das estatísticas dos parques eólicos

País	Suécia	Finlândia	Alemanha
Média do número de falhas por turbina	0,402 por ano	1,38 por ano	2,38 por ano
Média anual do tempo de inatividade	52 h/ano	237 h/ano	149 h/ano
Média do tempo de inatividade por falha	170 h/falha	172 h/falha	62,6 h/falha
Principais causas de falha	Sistema Elétrico	Hidráulico	Sistema Elétrico
	Sensores	Pás	Sistema de Controle
	Pás	Engrenagens	Hidráulico/Sensores
Elemento com maior tempo de inatividade	Engrenagens	Engrenagens	Gerador
	Sistema de Controle	Pás	Engrenagens
	Sistema Elétrico	Hidráulicos	Mancais
Elemento com maior inatividade por falha	Mancais	Engrenagem	Gerador
	Rotação da Nacele	Pás	Engrenagens
	Engrenagem	Estrutura	Mancais

É possível observar que o tempo médio de inatividade são praticamente iguais para a Suécia e Finlândia, com exceção da Alemanha. Uma razão possível é a eficiência do serviço local de manutenção. Cada turbina apresenta falha no mínimo uma vez por ano.

As engrenagens os mancais são os elementos com maior tempo de inatividade por falha. Uma explicação plausível é o tamanho e a dificuldade de troca destes elementos.

É interessante ressaltar que para cada US\$ 10.000 gastos em manutenção o custo efetivo é de US\$ 50.000, pois, US\$ 40.000 são referentes à máquina parada; sendo que o custo referente à perda de produção pode variar de duas a quinze vezes o custo gasto em manutenção (JASINSKI, 2005).

O acompanhamento das condições do equipamento e um plano de manutenção adequado, reflete diretamente na disponibilidade do sistema, acrescenta-se o fato que a indisponibilidade do equipamento aumenta não apenas os custos de operação.

Escolher a estratégia correta de manutenção a partir da análise da estatística de falhas, representa redução da carga de trabalho, de custos e aumento da confiabilidade do sistema.

6 CONCLUSÃO

Neste relatório transmitiram-se alguns conceitos básicos de Sistemas Eólicos, noções de Confiabilidade, Manutenção e Análise de Falha de Parques Eólicos.

Manter um sistema eólico com alta confiabilidade é um desafio, possível apenas mediante o alinhamento entre a operação e a manutenção desses sistemas. Para isso, utilizam-se ferramentas estatísticas de análise de distribuição, e métodos de engenharia de manutenção.

As estratégias de manutenção apresentam-se como conceitos simples, mas que podem ser um desafio na implantação devido à mudança de paradigmas de operação d sistemas.

Conclui-se que a análise dos dados exige uma sintonia entre todas as equipes envolvidas no trabalho de um parque eólico, e que o impacto das estratégias de confiabilidade e manutenção podem ser expressivos no custo, jornada de trabalho e segurança do trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ABRAMAN. **Situação da Manutenção no Brasil**. Associação Brasileira de Manutenção. Curitiba. 2011.

BELINICO, L. **Geração de Energia Elétrica: Tecnologia, Inserção Ambiental, Planejamento, Operação e Análise de Viabilidade**. Barueri: Manole, 2003.

BRASIL, N. P. **Impactos do Setor Elétrico e da Indústria de Gás Natural na Co-geração no Brasil**. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2003.

COBAS, V. M. **Geração Distribuída**. FUPAI. Itajubá. 2001.

DUTRA, R. **Energia Eólica: Princípios e Tecnologia**. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Britto. Rio de Janeiro. 2008.

JASINSKI, A. **Modelo de Planejamento de Manutenção**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa. 2005.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003.

LA ROVERE, E. L. **Política Ambiental e Planejamento Energético**. PPE/COPPE/UFRJ. [S.l.]. 2000.

MORELLI, F. D. S. **Panorama Geral da Energia Eólica no Brasil**. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2012.

REN21. **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century**. Renewables 2012 Global Status Report. [S.l.]. 2012.

RIBRANT, J. **Reliability performance and maintenance - A survey of failures in wind power systems**. KTH School of Electrical Engineering. [S.l.]. 2006.