

MESG
MESTRADO EM ENGENHARIA
DE SERVIÇOS E GESTÃO

**O Uso do e-Learning como Plataforma para Formação Técnica:
O Caso do “e-WindTech”**

Guilherme Arruda de Godoy Santos

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Dr. Luís Andrade Ferreira

Orientador na SPI: Engenheiro João Medina



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

2009-07-24

“Sometimes you can’t make it on your own...”

Bono

Aos meus pais, Flávia e Djalma.

O Uso do e-Learning como Plataforma para Formação Técnica: O Caso do “e-WindTech”

Resumo

Desde o princípio da história da humanidade, o vento é utilizado como uma grande fonte energética, inicialmente como força de tracção para os barcos, também para a trituração de cereais e para bombeamento de água. O uso do vento como fonte de energia eléctrica iniciou-se na Dinamarca, quando a primeira turbina eléctrica foi construída com a meta de levar a electricidade às zonas rurais do país. Contudo, com queda nos preços do petróleo, impulsionada pelo término das duas grandes guerras mundiais, a tecnologia para a obtenção da energia eólica foi pouco desenvolvida.

Com o aumento do preço do petróleo a partir de 1970, a assinatura do “Protocolo de Kyoto”, em 1998, e, também, a assinatura da conhecida “Resolução 20-20-20”, pelos países pertencente a União Europeia em 2007, o investimento para o desenvolvimento de novas fontes de energia limpa, principalmente a energia eólica, cresceram substancialmente na Europa.

No ano de 2008 o investimento em geração de energia eólica ultrapassou os investimentos realizados em qualquer outra forma de geração de energia eléctrica. O investimento em energia eólica implica a directa redução da dependência nos combustíveis fósseis, e também implica no aumento no número de empregos. Está constatado que para cada *megawatt* de capacidade gerado em energia eólica, 22 novos empregos directos são gerados: 16 na construção de turbinas, 5 no desenvolvimento e instalação de parques eólicos e 1 na área de manutenção das turbinas eólicas.

Actualmente as empresas europeias dominam o mercado de manufactura de turbinas eólicas. O contracto de venda de turbinas possui um plano de implementação que dura entre 2 e 5 anos. Nestes contractos estão incluídos as acções de manutenção durante esse período. Após o término do contracto, as acções de manutenção passam a ser de responsabilidade das empresas gestoras do parque eólico, o que acaba por tornar-se um grande aumento nos custos.

Neste contexto, o projecto e-WindTech foi desenvolvido objectivando a criação de um curso voltado para a formação de técnicos em manutenção de turbinas eólicas. O curso será desenvolvido na modalidade de *Blended Learning*, agregando assim os pontos positivos existentes tanto na modalidade de ensino à distância, como na modalidade de ensino presencial, “tradicional”.

O curso procura adaptar-se à realidade na manutenção de turbinas eólicas enfrentadas por gestores de parques eólicos. Para isso, o curso encontra-se formado por 5 módulos principais e possui o objectivo principal de abordar entre 60-75% das principais operações críticas ligadas a manutenção de turbinas eólicas.

The Use of e-Learning Platform for Technicians Training: The “e-WindTech” Case

Abstract

Since the beginning of mankind, wind has been used as a major energy source, initially as drafting power for boats, grinding grains, pumping water, etc. The use of wind as a source of electrical power was initiated in Denmark, when the first power turbine was built with the goal of bringing electricity to rural areas. However, with the great fall in oil prices, after the two World Wars, technology development for getting electricity from wind stopped.

With the increase in oil prices since 1970 and the signing of the “Kyoto Protocol”, in 1998, and also the signature of known “Resolution 20-20-20”, in 2007, by the countries belonging to the European Union, the investments for developing new sources of clean energy, especially wind power, have grown substantially in Europe.

In 2008, investments in wind power generation exceeded investments in any other forms of generating electricity. This type of investment involves the direct reduction of dependence on fossil fuels and implies in increasing the number of jobs. It’s found that for each megawatt of installed capacity created by wind energy, 22 new direct jobs are generated: 16 in the construction of turbines, 5 in the development and installation of wind farms, and 1 in the maintenance of wind turbines.

European companies actually dominate the market for manufacturing wind turbines. A sales contract of wind turbines has an implementation plan that lasts between 2 to 5 years. These contracts include actions for maintenance during the period. By the end of contract, the maintenance will be a responsibility of the company that manages the wind farm, which will eventually become a major increase in costs.

The e-WindTech project was developed for creating a course aimed to train technicians in maintenance of wind turbines. It was developed in Blended Learning methodology, trying to add positive points existing in both types: e-Learning and the “traditional” in class methodology.

The course adapts to the reality in the maintenance of wind turbines faced by managers of wind farms. The course is comprised of five modules and its main objective is addressing between 60-75% of the critical operations related to maintenance of wind turbines.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Prof. Augusto Medina e a todos da Sociedade Portuguesa de Inovação que me ajudaram durante o momento em que o projecto foi desenvolvido. Agradeço em especial ao Engenheiro João Medina por ter me orientado, principalmente em momentos quando se encontrava fora do País, e por todo o caminho no qual o projecto foi desenvolvido.

Agradeço ao Prof. Dr. Luís Andrade Ferreira pela orientação, disponibilidade e principalmente pela ajuda prestada nos conteúdos, para mim, mais difíceis no âmbito de todo o projecto. A todos os professores do Mestrado em Engenharia de Serviços e Gestão da FEUP, pelo acompanhamento, além do director e a vice directora, Professor João Falcão e Cunha e Professora Lia Patrício.

Agradeço aos meus pais, Flávia (meu exemplo) e Djalma (meu guia), por todos os momentos, em que, mesmo a seis mil quilómetros de distância, tiveram sempre de suportar o meu mau humor e minhas preocupações; Por permitirem, apoiarem e financiarem um grande sonho. A minha sobrinha e afilhada, Camila, que por mais estressado e mal-humorado que estivesse, conseguia arrancar um sorriso sincero sempre que surgia na webcam. Aos meus irmãos Juliana, Cacau e Carol por estarem sempre ao meu lado.

Agradeço a minha avó, Ciêlo, pela educação, pelo carinho, paciência e amor de sempre, por sempre procurar maneiras de ensinar-me algo novo durante todos os momentos da minha vida e por sempre apoiar todos os meus passos. Agradeço também a minha avó, Ninete, pela guerreira que sempre foi e pelo amor que sente por toda a família. Agradeço ao meu avô Mauro, pelo carinho, por incentivar e apoiar a ideia de vir a Portugal, além de ser “o” exemplo a ser alcançado como o profissional de sucesso, e ao meu avô Djalma, pelo amor e, além de tudo, por ser um exemplo a ser seguido como pessoa, pela perseverança que teve através da vida.

Agradeço aos meus tios Cláudia e Carlos pelo amor de mãe e pai, e principalmente pela força quando mais precisei durante todo o mestrado. Ao meu tio Fernando, e minha tia Carmem, pela alegria do meu primeiro afilhado, Arthur. A todos tios, tias, primos e primas pela convivência e alegria.

Agradeço aos amigos Amandinha, Siebra, Barboza, Deco, Adson, Roberta, Anderson, Everton, Gabriella e a todos os outros que não mencionei, que, mesmo distantes, permaneceram muito próximos. Também, aos novos amigos que conquistei durante este período na Europa.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	2
1.1	A Sociedade Portuguesa de Inovação	2
1.1.1	Missão.....	2
1.1.2	Valores	2
1.1.3	Áreas de Intervenção	3
1.2	O Projecto "e-WindTech".....	3
1.2.1	Objectivos.....	3
1.2.1.1	Objectivo Geral.....	3
1.2.1.2	Objetivos Específicos.....	3
1.2.2	Equipa envolvida no Projecto	4
1.2.3	Metodologia.....	6
1.3	Organização dos Temas Abordados.....	7
2	Energia Eólica.....	8
2.1	Histórico do Uso de Energia Eólica.....	8
2.2	Mercado de Energia Eólica.....	9
2.3	Componentes de um Sistema Eólico	11
2.3.1	Rotor	13
2.3.1.1	Pás	14
2.3.2	Nacelle	14
2.3.2.1	Multiplicador de Velocidade.....	15
2.3.2.2	Gerador	15
2.3.3	Torre de Sustentação.....	16
2.3.4	Sistema de Controlo.....	16
3	Introdução à Manutenção	17
3.1	Evolução dos Tipos de Manutenção	18
3.1.1	Manutenção Correctiva	18
3.1.2	Manutenção Preventiva	19
3.1.2.1	Manutenção Preditiva	20
3.2	Evolução das Estratégias de Manutenção.....	20
3.2.1	Terotecnologia.....	21
3.2.2	Total Productive Maintenance (TPM)	21
3.2.3	Manutenção Baseada na Fiabilidade (RCM)	23
3.2.4	Total Quality Maintenance (TQMain).....	23
3.3	Manutenção de Turbinas Eólicas	23
3.3.1	Estudo das Acções na Manutenção de Turbinas Eólicas	23
3.4	Índices de Avaliação da Eficiência de um Equipamento.....	25
3.4.1	Taxa de Falha (λ).....	26
3.4.2	Tempo Médio Até a Falha (MTTF)	26
3.4.3	Tempo Médio de Reparo (MTTR)	26
3.4.4	Tempo Médio Entre Falhas (MTBF).....	27
3.4.5	Disponibilidade	27

4	Manutenção Baseada na Fiabilidade (RCM)	28
4.1	Implementação de um Programa de RCM	28
4.2	Actividades de Manutenção Preditiva	31
4.2.1	Técnicas de Monitorização	33
4.2.1.1	Análise de Vibração	33
4.2.1.2	Análise de Lubrificantes	34
4.2.1.3	Análise Termográfica	35
4.2.1.4	Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)	35
4.3	Telemonitorização	36
4.4	Falhas Comuns em um Sistema Eólico	36
5	Introdução ao e-Learning	38
5.1	O Uso do e-Learning como Ferramenta de Formação Técnica	40
5.2	Objectos de Aprendizagem (Learning Objects - LO)	41
5.2.1	Supervisory Control and Data Acquisition (SCORM)	42
5.3	Realidade Virtual	42
5.2	Blended Learning (b-Learning)	43
6	Plataforma e-WindTech	44
6.1	Recolha de Informações e Requisitos	44
6.2	Estrutura Geral	44
6.2.1	Recursos Desenvolvidos	45
6.2.1.1	Materiais de Apoio, Manuais e Check Lists	45
6.2.1.2	Exercícios	48
6.3	Meios de Disponibilização dos Conteúdos	49
6.4	Adaptação do Conteúdo	49
6.4.1	Plataforma Escolhida	50
7	Conclusão	51
7.1	Comentários Finais	51
	Referências e Bibliografia	52
ANEXO A:	<Questionário para Recolha de Informações e Requisitos>	58
ANEXO B:	<Generic Wind Turbine Generator Preventive Maintenance>	64
ANEXO C:	<Wind Power Maintenance: Preventive Maintenance Check List>	69
ANEXO D:	<Wind Power Maintenance: Torque Tightening Instructions>	85
ANEXO E:	<Wind Power Maintenance: Tensioning Instructions>	91
ANEXO F:	<Wind Power Maintenance: Gears Failures and Inspection>	98
ANEXO G:	<Wind Power Maintenance: Blade Failures and Inspection>	105

Lista de Figuras

Figura 1: Evolução tecnológica das turbinas eólicas (potência e diâmetro de rotor)	9
Figura 2: Evolução da capacidade instalada global para a produção de energia eólica.....	10
Figura 3: Evolução da capacidade instalada por área do globo	10
Figura 4: Turbina de eixo vertical e turbina de eixo horizontal	12
Figura 5: Componentes de um sistema eólico	13
Figura 6: Nacelle.....	15
Figura 7: Representação da transmissão, multiplicador de velocidades e gerador	16
Figura 8: Pilares da TPM.....	22
Figura 9: Curva da banheira.....	24
Figura 10: Comparação dos tipos de manutenção	32
Figura 11: Tipos de acções de monitorização.....	33
Figura 12: SCADA	36
Figura 13: Exemplo de questão de múltipla escolha	48
Figura 14: Exemplo de exercício de simulação desenvolvido.....	48
Figura 15: Sumário do módulo 1 adaptado ao SCORM	49

Lista de Acrónimos

λ – Taxa de Falha

ADL – *Advanced Distributed Learning*

b-Learning – *Blended Learning*

BBZ - *Berufsbildungszentrum der Kreishandwerkerschaft Märkischer Kreis e.V.*

CBEE – Centro Brasileiro de Energia Eólica

CENIFER – *Fundación para la formación en energías renovables*

CMS – *Condition Monitoring System* ou Manutenção Baseada na Condição

CNQ – Catálogo Nacional de Qualificações

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Salvo Brito

e-Learning – *Electronic Learning*

EEIG – *Euronet Consulting*

EWEA – *European Wind Energy Association*

FMECA – *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*

GEE – Gases com Efeito Estufa

GW - *Gigawatt*

GWEC – *Global Wind Energy Council*

HAWT – *Horizontal Axis Wind Turbine* ou Turbina Eólica de Eixo Horizontal

IGD – *Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.*

IIDEC - *AİNTEK AE*

IISAL – *Iniciativas Innovadoras S.A.L*

KW – *Kilowatt*

LCC – *Life Cycle Cost* ou Custo de Vida

LMS – *Learning Management System*

LO – *Learning Objects*

MESG – Mestrado em Engenharia de Serviços e Gestão

MW - *Megawatt*

MTBF – *Mean Time Between Failure* ou Tempo Médio entre Falhas

MTTF – *Mean Time to Failure* ou Tempo Médio de Falha

MTTR – *Mean Time to Repair* ou Tempo Médio de Reparo

OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo

RCM – *Reliability Centered Maintenance* ou Manutenção Baseada na Fiabilidade

SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*

SCORM – *Shareable Content Object Reference Model*

SPI – Sociedade Portuguesa de Inovação S.A.

SSI - *Viešoji Istaiga Strateginės savivaldos institutas*

TPM – *Total Productive Maintenance*

TQMain – *Total Quality Maintenance*

UE – União Europeia

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

VAWT – *Vertical Axis Wind Turbine* ou Turbina Eólica de Eixo Vertical

VICOMTech - *Asociación Centro de Tecnologías de Interacción Visual y Comunicaciones*

WWEA – *World Wind Energy Association*

WP – *Working Package*

1 Introdução

O presente projecto foi realizado na Sociedade Portuguesa de Inovação S.A. (SPI), consultora centrada na Gestão do Conhecimento, no período de 03 de Fevereiro de 2009 até 30 de Junho de 2009, no âmbito do Mestrado em Engenharia de Serviços e Gestão (MESG), visando o desenvolvimento de uma formação voltada para técnicos em manutenção de turbinas eólicas, apoiado por fundos da Comissão Europeia, dentro do âmbito do Programa Leonardo da Vinci.

O presente capítulo foi dedicado exclusivamente à introdução do projecto, salientando assuntos pertinentes como o objectivo pelo qual o projecto foi desenvolvido, a apresentação e o histórico da empresa no qual o projecto foi desenvolvido e uma explanação geral do projecto, seus objectivos, a equipa de trabalho e a metodologia utilizada.

1.1 A Sociedade Portuguesa de Inovação

A SPI iniciou as suas actividades em 1997, juntando um conjunto de promotores individuais, com experiência nas áreas de intervenção e nas metodologias de trabalho perspectivadas, a capacidade e solidez de um conjunto de empresas, líderes nos seus domínios de intervenção. Tornou-se rapidamente num promotor privilegiado de ligações entre empresas, instituições de Ciência e Tecnologia, organizações nacionais públicas e privadas e organizações internacionais.

Em 1999, iniciou um processo de internacionalização com a abertura de um escritório de representação na República Popular da China e a criação de uma empresa exclusivamente detida pela SPI, nos Estados Unidos da América (Maryland); em 2003, foi criado um novo escritório nos Estados Unidos da América (Califórnia).

Em Outubro de 2004, na sequência de uma estratégia de expansão da sua actividade no mercado nacional, abriu um escritório em Lisboa e, em 2006, outro em Coimbra. A SPI mantém, desde a sua criação, uma forte actividade no resto da Europa. Desde 2005, a empresa tem representação directa em Bruxelas, através dos escritórios da rede *Euronet Consulting* (EEIG).

1.1.1 Missão

A SPI tem como Missão a gestão de projectos que fomentem a Inovação e promovam a Internacionalização, recorrendo, sempre que conveniente, à criação de parcerias estratégicas.

1.1.2 Valores

O sucesso da SPI é constituído com base em valores como a livre criação de ideias, a flexibilidade e a polivalência, a procura da excelência, a adaptação a novas oportunidades de negócio, a valorização de natureza internacional da equipa e o espírito colaborativo.

1.1.3 Áreas de intervenção

A SPI está apta a intervir em zonas geográficas bastante diversificadas, indo ao encontro das necessidades dos seus clientes nas áreas de “Consultadoria”, “Formação e Investigação” e “Desenvolvimento”.

1.2 O Projecto “e-WindTech”

Em 23 e 24 de Março de 2000, o Conselho Europeu de Lisboa focou o papel dominante da União no reforço do emprego, na reforma económica e na coesão social, sustentada na estrutura de uma economia baseada no conhecimento. Os objectivos da formação contínua e da utilização das novas tecnologias de informação estão presentes na génese dos vários programas comunitários europeus (Machado, 2001).

O programa Leonardo da Vinci, um dos programas comunitários europeus, tem por finalidade apoiar e implementar acções realizadas pelos Estados-Membros, através do apoio a projectos de cooperação transnacional no domínio da formação profissional.

Formação profissional é a soma total de todo aprendizado formal ou informal das experiências que o indivíduo acumula ao longo da carreira. Os ambientes *on-line* estão expandindo-se de forma rápida como uma solução para desenvolvimento na educação, nos negócios e indústria.

O projecto foi desenvolvido com o objectivo de reduzir custos com manutenção de turbinas eólicas. Actualmente as empresas europeias dominam o mercado de produtores de turbinas eólicas. Essas turbinas são vendidas mediante contratos de 2 a 5 anos e nestes contratos encontra-se, também, inclusa a política de manutenção das turbinas eólicas.

Após o término deste contracto, a manutenção das turbinas fica sob responsabilidade das empresas administradoras dos parques eólicos em que estão instaladas, o que causa grande aumento nos custos por se tratar de uma manutenção altamente especializada e pelo facto de que muitas vezes estes parques eólicos encontram-se em locais de difícil acesso.

1.2.1 Objectivos

1.2.1.1 Objectivo Geral

O projecto e-WindTech ambiciona desenvolver uma ferramenta formativa, em plataforma de e-Learning, para técnicos de manutenção de turbinas eólicas. Esta ferramenta permitirá aos técnicos de manutenção de turbinas eólicas receber formação em operações críticas, através de simulações efectuadas em realidade virtual. A ferramenta final estará disponível em 6 línguas (Alemão, Grego, Inglês, Lituano, Português e Espanhol).

1.2.1.2 Objectivos Específicos

O projecto e-WindTech tem os seguintes objectivos específicos:

- Reunir e organizar o actual nível de conhecimento no que diz respeito à manutenção de turbinas eólicas nos países parceiros, em diferentes sectores chave: centros de formação vocacional, empresas, centros de investigação e desenvolvimento, outros centros de formação, departamentos e associações de trabalhadores.
- Recolher e normalizar o conhecimento baseado no catálogo de qualificações profissionais, centros de formação e prioridades das empresas.
- Adaptar conteúdos, exercícios e simulações aos requisitos e-Learning.
- Desenvolver simulações interactivas em realidade virtual, para qualificar profissionais nas mais críticas operações no que diz respeito a segurança, orçamento e relevância.
- Aplicar um processo de implementação ao desenvolvimento (*Shareable Content Object Reference Model* - SCORM).
- Adaptar o sistema de gestão da manutenção à plataforma de e-Learning.
- Traduzir e ajustar o programa, pelo menos, para as línguas e culturas dos parceiros, e para a língua inglesa.
- Formação de diversos projectos-piloto para testar o novo curso em e-Learning.

1.2.2 Equipa envolvida no Projecto

Por tratar-se de um Projecto Leonardo da Vinci, de âmbito europeu, tem a participação de empresas de diferentes Estados membros. Estas empresas dividem-se entre as diferentes tarefas do projecto, sob a coordenação de uma empresa principal.

Fundación para la formación en energías renovables (CENIFER)

Empresa criada pelo “Departamento de Educação” e pelo “Departamento da Indústria e Tecnologia, Comércio e Trabalho” do governo de Navarra, encontra-se em uma das mais activas regiões no desenvolvimento de energias renováveis na Europa, e tem como objectivo principal oferecer formação profissional à técnicos e fomentar o desenvolvimento do sector das energias renováveis. Dentre as principais actividades, a CENIFER é a responsável pela gestão do Projecto.

Iniciativas Innovadoras S.A.L (IISAL)

Centra suas actividades na promoção da inovação como factor chave para o desenvolvimento das organizações. A Iniciativas Innovadoras é responsável pela gestão do Projecto, ao lado da CENIFER, supervisionando o andamento do projecto, o respeito dos prazos estipulados e facilitando a comunicação entre os membros do projecto.

Berufsbildungszentrum der Kreishandwerkerschaft Märkischer Kreis e.V. (BBZ)

Criada em 1984, com o objectivo de oferecer formação de qualidade para os funcionários de empresas alemãs, a BBZ contribui ao projecto com sua experiência na organização de

formação profissional, em particular em formações desenvolvidas em plataformas de e-Learning, baseadas em metodologia de *blended learning*.

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (IGD)

O Fraunhofer Institute for Computer Graphics faz parte de um grupo de 59 institutos de pesquisa. Os trabalhos desenvolvidos pelo IGD encontram-se na área de pesquisa e desenvolvimento de aplicações gráficas e áreas relacionadas com tecnologias de informação. O IGD contribui com sua experiência na adaptação gráfica para a plataforma de e-Learning, além de colaborar na adaptação dos conteúdos para o formato próprio a ser implementado na plataforma e nas actividades de disseminação que irão ocorrer na Alemanha.

Asociación Centro de Tecnologías de Interacción Visual y Comunicaciones (VICOMTech)

Sediada na Espanha, VICOMTech é um centro de pesquisa de gráficos e plataformas multimédia computacionais interactivas. Com base nas suas capacidades em realidade virtual, interactividade e gráficos computacionais, a VICOMTech desenvolverá exercícios e simulações em realidade virtual, que irá enriquecer a experiência potencializada pela ferramenta disponibilizada ao fim do projecto.

AĩNTEK AE (IIDEC)

A IIDEC é uma empresa de consultoria e formação que tem como principais actividades a formação, desenvolvimento de softwares, aplicações para a internet, formação à distância, e-Business, e-Commerce e telecomunicações. Será responsável pela disseminação e políticas de promoção de todo o Projecto.

Sociedade Portuguesa de Inovação (SPI)

A SPI é responsável pela revisão de todo conteúdo desenvolvido para o curso, pela padronização do conteúdo que será transferido para a plataforma escolhida e, também, pela implementação, do protótipo, na plataforma de e-Learning. E a partir do feedback apresentado, sugerir modificações com o intuito de melhorar a interactividade e a apresentação dos conteúdos.

Viešoji Istaiga Strateginės Savivaldos Institutas (SSI)

A SSI é a primeira instituição não governamental voltada para o desenvolvimento da pesquisa científica e da inovação, estabelecida com a independência da Lituânia em 1991. É responsável pela realização de pesquisa de mercado sobre as habilidades necessárias para a manutenção de turbinas eólicas e a adaptação dessas necessidades aos conceitos da formação em e-Learning.

1.2.3 Metodologia

Com o objectivo de facilitar a gestão e organização do projecto, as actividades foram divididas em sete *Working Packages* (WP). Cada WP será gerido por um dos parceiros, porém todos os parceiros participam activamente em todas actividades.

WP1 – Coordenação e Gestão do Projecto.

Como responsáveis pelo WP1, a IISAL e a CENIFER são responsáveis por acompanhar a comunicação entre os parceiros e pela comunicação com a agência executiva da Comissão Europeia, acompanhar a realização do projecto supervisionando o trabalho desenvolvido em cada actividade e WP. São responsáveis também pela identificação de riscos, a elaboração de um plano de contingência e a garantia de que o projecto atinja seus objectivos finais.

WP 2 – Recolha de Conhecimentos Existentes e Elaboração do Conteúdo de Aprendizagem.

Toda informação recolhida foi obtida através da realização de *focus groups* e entrevistas a empresas, centros de formação e centros de pesquisa, objectivado a descoberta de conhecimento sobre o que deve ser transmitido aos usuários finais da ferramenta. Cada empresa parceira ficou responsável pela recolha de informações relevantes no país de origem. Com essas informações, objectivos operacionais foram estabelecidos para que a ferramenta de formação atinja esses objectivos, além das melhores práticas que possam desenvolver esses conhecimentos em uma plataforma de e-Learning. A CENIFER, com o auxílio da BBZ, será responsável pela recolha de toda informação e a elaboração de um banco de dados que servirá como apoio para a elaboração da plataforma de e-Learning.

WP 3 – Desenvolvimento de Simulações de Realidade Virtual e Adaptação a Plataforma.

Nesse *working package* serão desenvolvidas simulações de todo o trabalho em realidade virtual e sua adaptação à plataforma de e-Learning. O conteúdo recolhido no WP 2 servirá à VICOMTech como base para o desenvolvimento de todo o trabalho em realidade virtual e adaptá-lo a plataforma de e-Learning.

WP 4 – Implementação e Avaliação.

A CENIFER, BBZ, IGD, IIDEC e SPI serão responsáveis pela implementação e teste, em ambientes reais, da plataforma. A partir de uma comparação dos diferentes resultados apresentados entre os parceiros, um relatório técnico será elaborado com o objectivo de realizar modificações no protótipo visando atingir os requisitos dos usuários e todos os objectivos do projecto.

WP 5 – Plano de Gestão da Qualidade.

Elaboração de métricas para controlo e gestão do projecto a serem acrescentadas em um Plano de Gestão da Qualidade, para garantir que os parceiros recolham dados que realmente serão

importantes para o desenvolvimento de todo o projecto. O Plano de Gestão da Qualidade será dividido em duas partes de acordo com a avaliação interna e externa.

As acções internas relativas ao plano serão responsabilidade da CENIFER. Já as acções externas serão realizadas por uma empresa prestadora de serviços, a ser contactada pela CENIFER.

WP 6 – Plano de Disseminação.

O plano de disseminação foi desenvolvido, desde o início do projecto, sob a gestão da IIDEC. As ferramentas de disseminação serão desenvolvidas nas línguas dos países parceiros. Destacam-se entre essas ferramentas o *website* do projecto, brochuras e *press releases*.

WP 7 – Plano de Exploração.

A plataforma de e-Learning final será explorada durante um curto período de 4 a 6 meses dentro do consórcio, para que depois possa ser comercializada para um grande número de empresas e de centros de formação.

Um dos maiores outputs, depois do projecto, será a existência de uma ferramenta, desenvolvida dentro do mercado de energia eólica, e ao mesmo tempo adaptada ao Plano de Gestão da Qualidade desenvolvido.

1.3 Organização e Temas Abordados

A presente dissertação segue organizada em 5 capítulos. O segundo capítulo procura explicitar a importância do investimento em fontes de energias renováveis, principalmente a energia eólica. Além disso, o capítulo continua explorando os componentes de um sistema eólico, as principais partes e suas características relevantes.

O capítulo seguinte procura fazer uma apresentação dos conceitos de manutenção e suas estratégias existentes. Para tal, apresenta uma breve introdução sobre os conceitos de manutenção aplicados a turbinas eólicas e suas métricas de avaliação de eficácia das acções realizadas.

O quarto capítulo aprofunda a visão da estratégia de manutenção com base na fiabilidade como estratégia mais propícia a ser utilizada na manutenção de turbinas eólicas.

O quinto capítulo tem como foco a temática do e-Learning, explicitando a evolução do conceito, as ferramentas disponíveis e utilizadas no desenvolvimento da plataforma final de formação, como o uso da realidade virtual e de conceitos de SCORM, além da aplicabilidade do e-Learning em formações técnicas.

O sexto, e último capítulo, foca-se no conteúdo desenvolvido para a formação técnica em manutenção de turbinas eólicas, abordando a descrição detalhada do produto final, a descrição das actividades realizadas nos testes da plataforma piloto, uma análise crítica das opções tomadas e sugestões de melhoria para evolução futura.

2 Energia Eólica

No princípio da história da humanidade fontes energéticas como o vento, a água e a lenha dominavam a produção de calor e de força motriz. Em épocas mais recentes as novas fontes – o carvão, o petróleo, o gás e a energia nuclear – substituíram estas fontes tradicionais. O ressurgimento das energias renováveis dá-se a partir dos choques petrolíferos da década de 70, quando a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) triplicou o preço do barril como forma de retaliação dos países árabes, maioria dos constituintes da OPEP, aos Estados Unidos pelo apoio a Israel na guerra do Yom Kippur. Por um lado, a necessidade de assegurar a diversidade e segurança no fornecimento de energia e, por outro lado, a obrigação de proteger o ambiente, cuja degradação é acentuada pelo uso de combustíveis fósseis, motivaram o renovado interesse pelas energias renováveis (Castro, 2008).

Em 1998, a Comunidade Europeia assinou o “Protocolo de Kyoto”, assumindo o compromisso de redução, em conjunto, das respectivas emissões de Gases com Efeito Estufa (GEE) em 8% entre 2008 e 2010 (Banco Espírito Santo, 2008).

Além disso, em 2007 e 2008, foi introduzida a chamada “Resolução 20-20-20” que impõe o seguinte: a redução da emissão de CO₂, pela União Europeia, em 20%; o aumento da eficiência energética em 20%; e, que 20% de toda energia consumida pela União Europeia seja gerada por fontes de energias renováveis.

Desde então, investimentos no desenvolvimento de novas formas de energias passaram a ser prioridade em todos os governos, como forma de diminuir a dependência das energias fósseis e como forma de reduzir as emissões de CO₂ no meio ambiente, com o intuito de contribuir para a redução do aquecimento global.

O presente capítulo segue com um breve histórico sobre a utilização da energia eólica como fonte para energia eléctrica, em seguida conta com a apresentação do mercado de energia eólica. Logo após, dedica-se à apresentação dos componentes do sistema eólico.

2.1 Histórico do Uso da Energia Eólica

O uso do vento como fonte de energia pode ser observado desde a antiguidade principalmente para a propulsão dos navios como meio de transporte, para bombeamento de água e para a trituração de cereais.

O uso de turbinas eólicas para a geração de energia iniciou-se por volta de 1891, quando a primeira turbina foi construída por *Dane Poul Lacour*, na Dinamarca (Ackermann & Söder, 2002). Com a meta de levar electricidade às áreas rurais, aliado ao grande aumento nos preços dos combustíveis fósseis causados, principalmente, pela primeira grande guerra mundial, notou-se um grande investimento para aprimoramento da tecnologia para geração de energia eólica. Até 1918, mais de 120 turbinas estavam em operação na Dinamarca (Hau, 2006). Contudo, na década de 20, a queda do preço dos combustíveis fósseis forçou o fim dos investimentos (Sorensen, 1995).

A energia eólica voltou a ser desenvolvida em larga escala, na Dinamarca e nos EUA, no momento da Segunda Grande Guerra. Contudo, o investimento foi mais uma vez

interrompido, até por volta da década de 70, quando houve o aumento dos preços dos combustíveis fósseis (Jenkins, 1999).

A tecnologia desenvolvida nas turbinas eólicas evoluiu bastante. Na década de 80, as turbinas eólicas produziam aproximadamente 300 KW e sua dimensão principal era de 30 metros de diâmetro de rotor. Apenas 10 anos depois, as turbinas eólicas tinham um output de 1500 KW com diâmetro de rotor de aproximadamente 70 metros. Actualmente, o output das turbinas eólicas é de 5 MW, com diâmetro de rotor de 124 metros (Ackermann & Söder, 2002). A análise comparativa pode ser percebida de melhor forma na imagem abaixo.

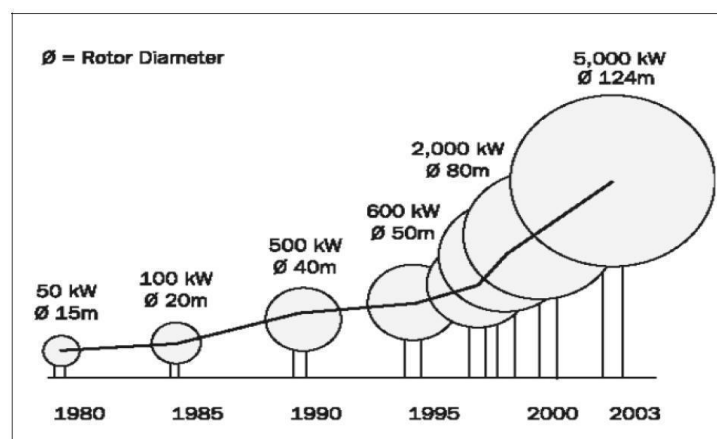


Figura 1: Evolução tecnológica das turbinas eólicas (potência e diâmetro do rotor)
(CRESESB, 2009)

2.2 Mercado de Energia Eólica

A mudança climática é a maior ameaça actual ao meio ambiente, e manter a temperatura do planeta em níveis sustentáveis tornou-se uma das maiores preocupações dos chefes de estado actualmente. Em 2007, os países que dominavam o mercado da geração de energia eólica, em termos de capacidade instalada, eram: Alemanha (22,3GW), EUA (16,8GW), Espanha (15,1GW), Índia (7,8GW) e China (5,9GW). Em termos económicos, o mercado de energia eólica movimentou em 2007, 25 bilhões de euros em novos equipamentos e atraiu um total de 34 bilhões de euros em investimentos (Pullen, 2008).

A *European Wind Energy Association* (EWEA) acompanha o crescimento da capacidade instalada de produção de energia eólica e aponta que em 2003 o total instalado de produção era de 28.440 MW; Ao fim de 2005 havia ultrapassado os 40.330 MW. Na figura 2, pode-se acompanhar a evolução da capacidade instalada entre os anos de 1996 e 2007, já na figura 3 pode-se verificar a distribuição da capacidade instalada por áreas do globo entre os anos de 2003 – 2007. (Global Wind Energy Council & Green Peace, 2008).

Em 2008, os investimentos para a geração de energia eléctrica por meio da energia eólica ultrapassaram os investimentos realizados na obtenção de energia eléctrica por qualquer outra forma. As mesmas estatísticas revelam que 43% de toda capacidade geradora de energia construída na União Europeia no ano passado, foi para a energia eólica. Constatou ainda que, em 2008, uma média de 20 novas turbinas eólicas foram instaladas por dia útil, com um

investimento de 11 bilhões de euros. A capacidade instalada passou a um total de 64.949 MW de energia, e o objectivo é que até 2030, a Europa possua uma capacidade instalada de até 300.000 MW (EWEA, February Statistics 2009).

Além disso, não há indicação de que o tremendo crescimento na geração de capacidade de energia eólica irá reduzir nos próximos 5 anos (Pullen, 2008).

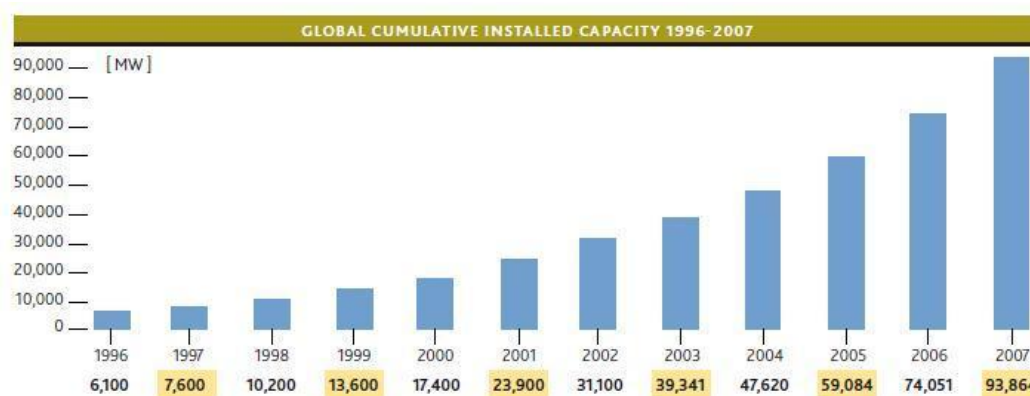


Figura 2: Evolução da capacidade instalada global para produção de energia eólica
(Global Wind Energy Outlook, 2008)

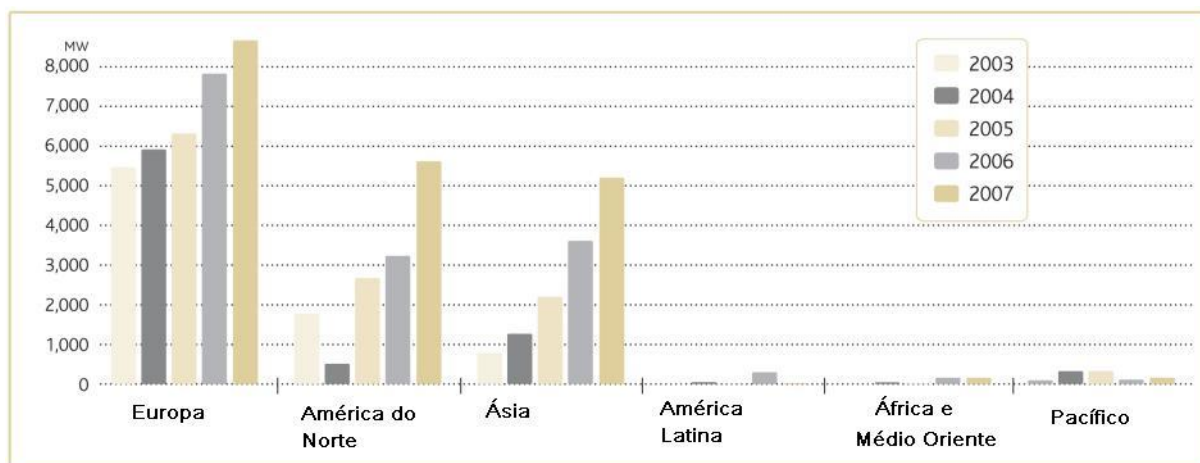


Figura 3: Evolução da capacidade instalada por área do globo
(Global Wind Energy Outlook, 2008)

Dados do *Global Wind Energy Council* (GWEC) (2008) prevêem que o crescimento do mercado de energia eólica global continue a aumentar numa taxa de 20% ao ano, alcançando 240 GW de capacidade instalada no ano de 2012, um crescimento na faixa de 150% em relação a capacidade instalada actual. Esse crescimento irá representar um acréscimo de 146 GW em 5 anos, atraindo investimentos de 180 bilhões de euros.

Ainda segundo o mesmo estudo, 2008 foi considerado um ano recorde para a indústria de geração de energia eólica. A capacidade instalada para geração de energia eólica cresceu em

torno de 28,8%, taxa essa mais alta que a da década passada, alcançando assim, um total de capacidade instalada de 120,8 GW ao fim de 2008.

O investimento em energia é garantia do aumento do número de empregos (GWEC, 2005). Em 2005 existiam 150.000 empregos ligados directamente a energia eólica. De acordo com a *World Wind Energy Association* (WWEA), o sector de energia eólica tornou-se o maior sector de geração de empregos. Nos últimos 3 anos, o sector global praticamente dobrou o número de empregos de 235.000, no ano de 2005, para 440.000 ao fim de 2008.

Os empregos criados pelos investimentos em energia eólica cresceram consideravelmente nos últimos anos. Dentre os países da União Europeia, 90% do emprego no sector de energia eólica está restrito a Alemanha, Dinamarca e Espanha. De acordo com o estudo “*Wind Energy – The Facts*”, da EWEA (2009), o sector da energia eólica emprega directamente um total de 38.000 pessoas na Alemanha, aproximadamente 23.500 na Dinamarca e 20.500 pessoas na Espanha.

O recém-eleito presidente americano, Barack Obama, destacou em seu plano presidencial, contra a actual crise financeira, o investimento de 150 bilhões de dólares, durante a próxima década, na promoção de energias renováveis. Colocando o plano em prática, o país reduzirá a dependência em combustíveis fósseis e haverá a criação de 5 milhões de novos cargos de trabalho, dinamizando a economia (Dickerson, 2009), política, esta, semelhante à adoptada, pelo presidente Franklin Roosevelt, durante grande crise financeira, enfrentada em 1930, voltada ao aquecimento da economia através da criação de novos empregos pelo investimento massivo na construção de hidroeléctricas.

No estudo, *Global Wind Energy Outlook*, publicado em 2006 pelo *Global Wind Energy Council* em conjunto com o *Green Peace*, ficou constatado que para cada *megawatt* de capacidade gerado, 16 novos empregos directos na indústria de construção de turbinas são gerados, 5 novos empregos são gerados no desenvolvimento e na instalação de novos parques eólicos e mais 1 novo emprego, na área de manutenção, é gerado.

O *Global Wind Energy Outlook*, contudo, lançado em 2008, apresenta cenários com projecções para o mercado. O número de empregos criados pelo desenvolvimento da energia eólica será: no cenário mais básico, o crescimento para 540.000 empregos em 2030 e 740.000 em 2050; no cenário moderado, o crescimento para 1.3 milhão e 1.71 milhão respectivamente; 2.21 milhões e 2.98 milhões respectivamente, num cenário mais avançado.

2.3 Componentes de um Sistema Eólico

O desenvolvimento da tecnologia que deu origem ao sistema eólico moderno tem início no princípio da década 80, na sequência da crise do petróleo nos anos 70, quando por questões de segurança e diversidade do abastecimento de energia para a sustentabilidade a longo prazo, cresceu o interesse em fontes de energias renováveis (EWEA, 2009).

Muitos progressos e melhorias foram realizadas desde a comercialização da tecnologia eólica no início dos anos 80, mas a arquitectura básica da concepção *mainstream* pouco mudou. A maioria das turbinas eólicas tem os rotores posicionados ao topo e preserva activamente o alinhamento com a direcção do vento. O rotor de três pás normalmente tem um rolamento

dianteiro separado com uma baixa velocidade do eixo ligado para um multiplicador de velocidades, que oferece uma velocidade de saída adequada para um gerador (EWEA, 2009).

Um sistema eólico é composto por uma série de componentes que devem trabalhar de forma harmónica e ordenada para que o rendimento final seja óptimo. Sua função é a transformação da energia cinética contida no vento em energia mecânica e posteriormente em energia eléctrica.

O princípio de funcionamento baseia-se na conversão da energia cinética, que é resultante do movimento de rotação causado pela incidência do vento nas pás da máquina eólica, em energia mecânica. A energia mecânica, em forma de uma viragem lenta das pás ao eixo é acelerada e orientada a uma alta velocidade pelo eixo que está conectado a um gerador. No gerador, a energia mecânica é convertida em energia eléctrica (Ribrant & Bertling, 2007).

Ribrant & Bertling defendem ainda que os nomes dos componentes são gerais e aplicam-se a quase todos os designs de turbinas eólicas. A terminologia utilizada para denominação dos componentes condiz com a mesma terminologia utilizada dentro da indústria de energia eólica.

As turbinas eólicas podem ser classificadas em duas categorias, de acordo com a direcção de rotação do seu eixo: as turbinas eólicas de eixo horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine* - HAWT), onde o eixo rotacional é direccionado em paralelo a direcção do vento, e as turbinas eólicas de eixo vertical (*Vertical Axis Wind Turbine* - VAWT), que possuem o eixo rotacional direccionado de forma perpendicular a direcção do vento.

As turbinas eólicas de eixo vertical (VAWT), também conhecidas por “*Darrieus*”, tem como característica principal o facto do eixo de rotação das pás ser vertical, tem a grande vantagem de o gerador encontrar-se na base da torre e o facto de não necessitar de um mecanismo de orientação para adaptação dos ventos, facilitando a manutenção. As turbinas de eixo vertical foram desenvolvidas e comercializadas do início da década de 70 até o fim da década de 80 quando investimentos em pesquisa e desenvolvimento pararam mundialmente. A maior turbina de eixo vertical instalada encontra-se no Canada, conhecida como “*ECOLE C*” produz 4200 KW (Ackermann & Söder, 2002).

A figura abaixo demonstra a estrutura de ambas turbinas eólicas, tanto de eixo vertical como de eixo horizontal.

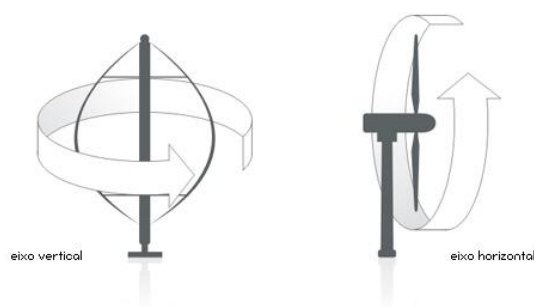


Figura 4: Turbina de eixo vertical e turbina de eixo horizontal

(Adaptado de www.quimarenergy.eu)

As turbinas eólicas de eixo vertical possuem a vantagem de ter equipamentos como o gerador, sistemas de freios e sistema de engrenagem ao nível do solo, facilitando assim o acesso a

manutenção, contudo estas turbinas eólicas possuem uma série de desvantagens em relação às de eixo horizontal. Dentre as desvantagens mais significativas encontra-se o facto de requerer um sistema de partida para o accionamento em baixas velocidades, além de ter a captura de energia cinética do vento comprometida em terrenos complexos. Outra grande desvantagem é a necessidade da construção de uma base bastante forte para aguentar o peso do eixo e das pás verticais.

Ackermann & Söder (2002) defendem ainda que as turbinas eólicas mais utilizadas actualmente são as que possuem eixo horizontal (HAWT), baseados no modelo dinamarquês, onde o rotor é posicionado no topo da torre. Diferente das turbinas de eixo vertical, a horizontal possui mecanismos que direccionam o rotor contra o vento ou que posicionam a turbina de forma a reduzir a incidência da força do vento, caso a velocidade seja muito grande.

Logo, os componentes, aqui, considerados serão aqueles que fazem parte de um sistema eólico de uma turbina eólica de eixo horizontal, de características básicas. A estrutura básica é formada pela Torre, Nacelle e pelo Rotor como pode ser comprovado, na figura 5, abaixo.

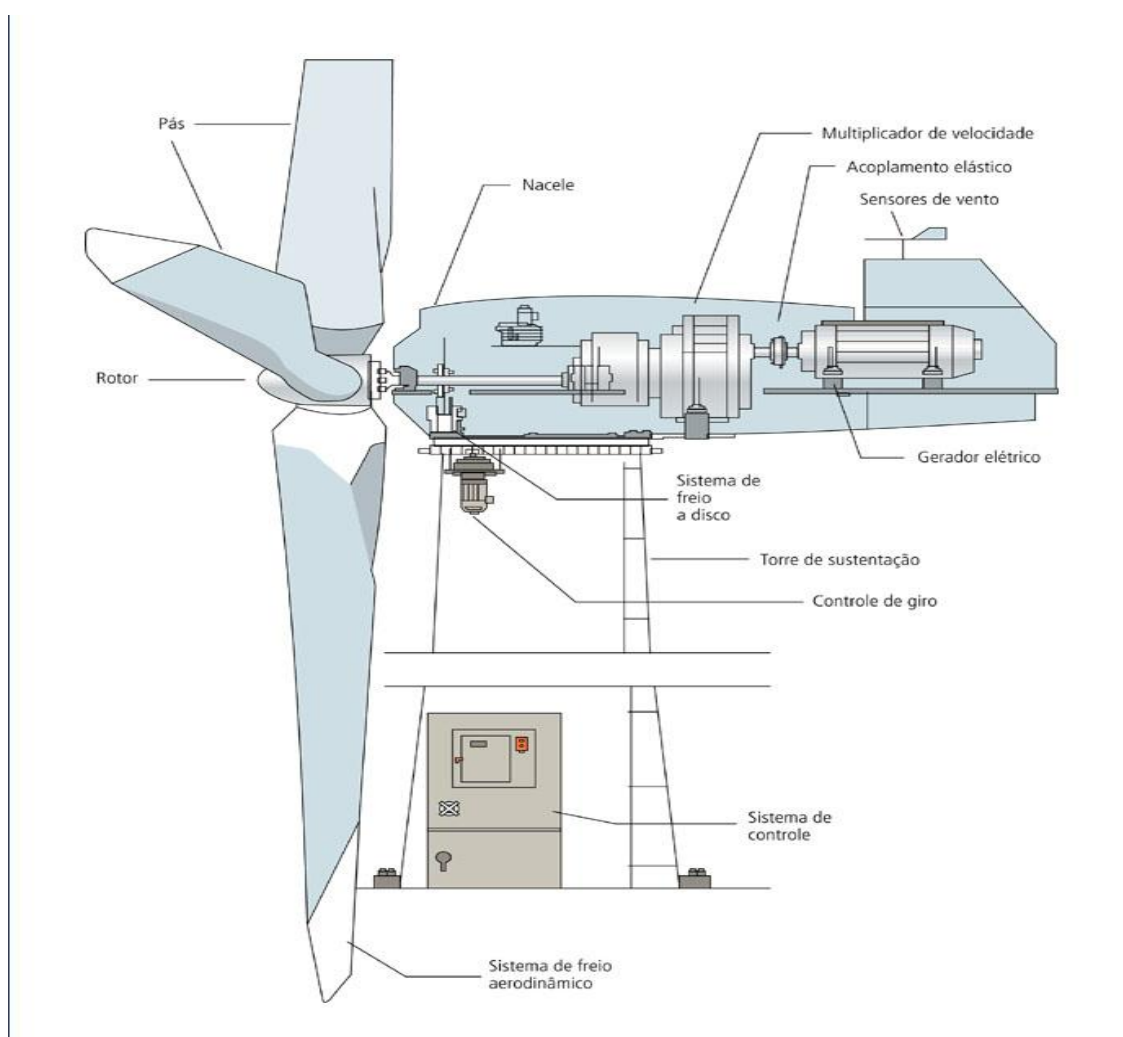


Figura 5: Componentes de um sistema eólico
(CBEE/UFPE, 2000)

2.3.1 Rotor

O rotor é responsável por transformar a energia cinética presente nos ventos em energia mecânica. É o primeiro estágio de conversão da energia do vento em electricidade sendo os outros dois; a transmissão, que adequa as velocidades de rotação e o próprio gerador, responsável por converter a energia mecânica em energia eléctrica (Terciote, 2002).

2.3.1.1 Pás

O vento faz as pás ligadas ao rotor girarem, e consequentemente girando o eixo que encontra-se dentro da turbina eólica.

A turbina eólica horizontal é formada essencialmente por rotores com uma variada quantidade de pás, os mais comuns são os rotores com duas ou três pás, com perfis aerodinâmicos eficientes, impulsionadas por forças predominantemente de sustentação, accionando geradores que operam a velocidade variável, para garantir uma alta eficiência de conversão.

Os rotores que possuem 2 pás tem a vantagem do facto de seu topo ser mais leve que o rotor de 3 pás, o que consequentemente leva à possibilidade de construir a base de sustentação de um material mais leve, reduzindo os custos. Contudo, o rotor de 3 pás requer uma menor força do vento para que inicie o movimento no seu eixo, além de possuir um visual mais aceito esteticamente e por possuir menores níveis de ruídos que os rotores de 2 pás (Ackermann & Söder, 2002).

Há diversos designs para as pás, contudo existem características principais comuns que não devem ser ignoradas, como a necessidade de serem bastante leves e resistentes. As pás geralmente são fabricadas em plástico e reforçadas em fibra de vidro, podendo também, serem reforçadas por fibra de carbono ou laminados de madeira. Alguns designs de pás possuem técnicas avançadas para protecção contra raios, além de possuir equipamentos para aquecimento interno das pás, para protecção contra baixas temperaturas (Ribrant & Bertling, 2007).

Além disso, o rotor possui tecnologia que permite a rotação da pá ao longo do seu eixo longitudinal, para posicionar de melhor forma em relação a direcção dos ventos, para que as forças aerodinâmicas sejam recebidas de forma que o output energético do rotor permaneça constante após que a taxa de output energético pretendida seja atingida (Ackermann & Söder, 2002). Outra importante função desempenhada pela tecnologia de rotação longitudinal da pá, é de servir como um sistema de freio aerodinâmico em casos em que a velocidade do vento seja bastante elevada e venha colocar perigo a integridade física da turbina eólica ou dos seus componentes.

2.3.2 Nacelle

A Nacelle é a carcaça montada sobre a torre onde ficam alojados os principais equipamentos que permitem a transformação da energia mecânica em energia eléctrica, nomeadamente o gerador, a caixa de engrenagens, além do equipamento para medição do vento e motores para a rotação do sistema, que serve para posicionar a turbina de forma a melhorar a captação da energia cinética contida no vento. Além de possuir um sistema de freio a disco, usado em momentos que os freios aerodinâmicos não são suficientes por si.

A energia mecânica, gerada pelas pás do rotor, é enviada para o gerador por um sistema de transmissão. Esse sistema é composto por um multiplicador de velocidades, um acoplamento elástico e pelo gerador eléctrico.

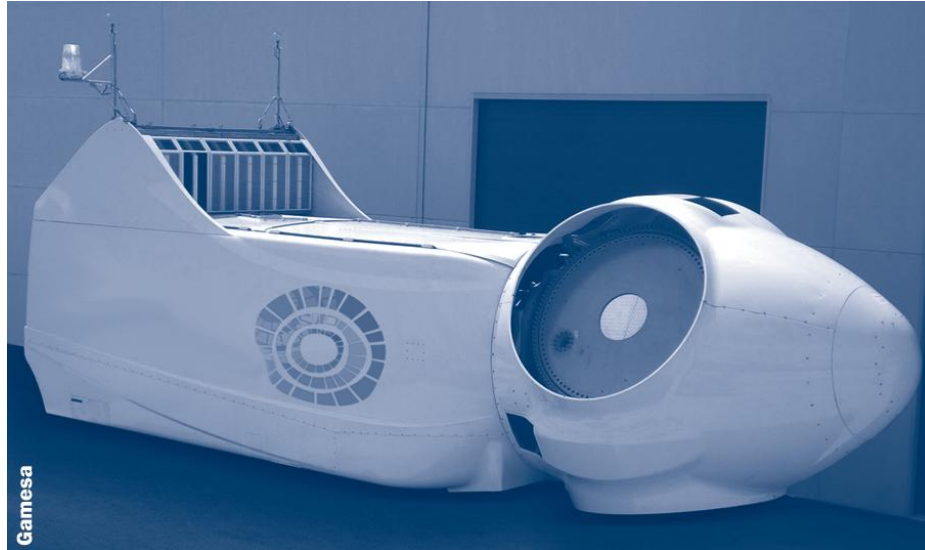


Figura 6: Nacelle
(EWEA, 2009)

2.3.2.1 Multiplicador de Velocidades

A velocidade do rotor é significativamente mais baixa que a velocidade do gerador, sendo necessário um multiplicador de velocidade capaz de aumentar a velocidade da energia mecânica transmitida pelo eixo do rotor e enviá-la ao gerador eléctrico.

2.3.2.2 Gerador

O gerador eléctrico é o responsável pela transformação da energia mecânica em energia eléctrica. Segundo Ackermann & Söder (2002), a maioria dos fabricantes de turbinas eólicas utiliza geradores de indução assíncronos, contudo alguns construtores também utilizam geradores síncronos. A grande vantagem do gerador assíncrono deve-se a sua simplicidade, oferecendo robustez, fiabilidade e economia. Contudo, os geradores assíncronos demandam o emprego de um apurado controlo para que mesmo com rotação variável imposta pelo eixo, possam manter a frequência e a tensão estabilizadas. A figura abaixo procura exemplificar o modelo de transmissão, multiplicador de velocidades e gerador.

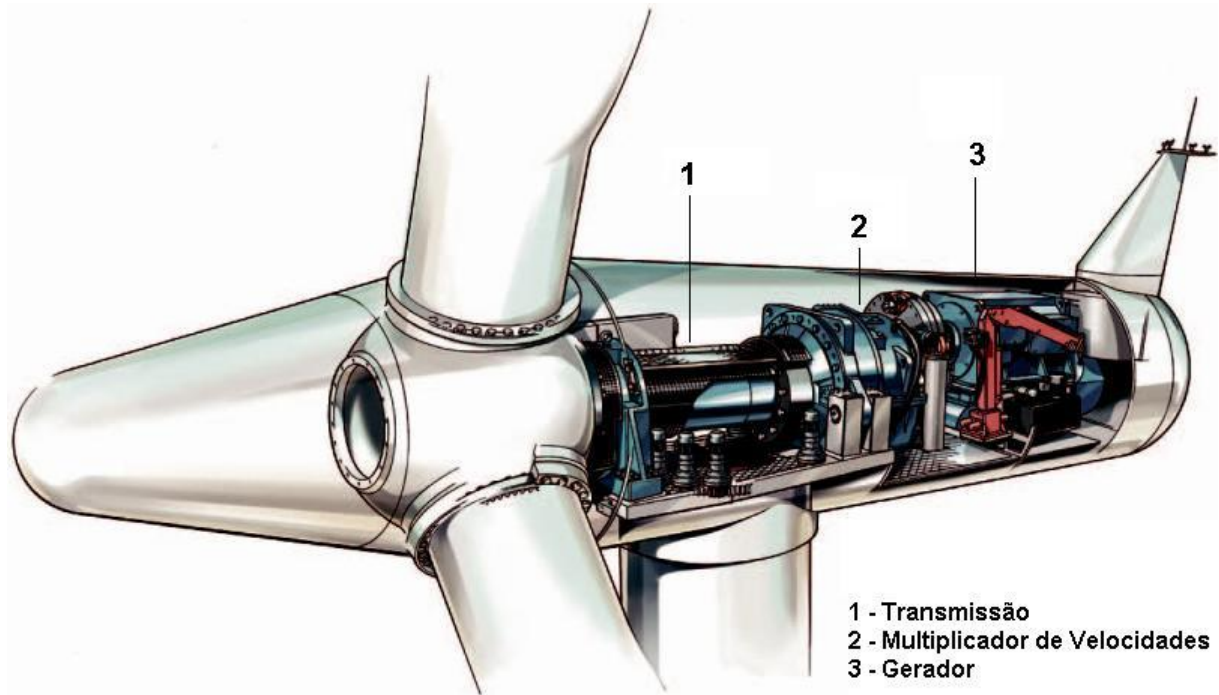


Figura 7: Representação da transmissão, multiplicador de velocidades e gerador.

(Adaptado de EWEA, 2009)

2.3.3 Torre de Sustentação

A torre é o elemento do sistema que suporta e eleva a Nacelle e o rotor objectivando atingir uma maior velocidade do vento. Altura das torres actuais ultrapassa dos sessenta metros.

Existem várias formas para produção e instalação de torres de energia eólica, dentre estas, destacam-se as torres entrelaçadas, ou torres de mastro de grade, e as torres tubulares, confeccionadas em tubos de aço ou feitas de partes prontas de concreto. Todas devem possuir uma estrutura capaz de suportar cargas bastante significativas, além de resistir a exposição às condições naturais ao longo da vida útil, estimada em 20 anos (Castro, 2008).

2.3.4 Sistema de Controlo

Pelo facto da energia gerada pela turbina eólica ser obtida da energia do vento, e não poder haver uma gestão sobre a regularidade do mesmo, o sistema de controlo é montado para haver um maior controlo da energia recebida pelo rotor nas variações do vento.

O sistema de controlo baseia-se num grupo de elementos que monitorizam e recolhem dados sobre a turbina eólica. De base desses dados, modifica particularidades do status operacional da turbina. Em uma cabine posicionada próxima à base da torre se encontra todo o sistema de controlo, composto por todas as conexões eléctricas, além do transformador eléctrico, o equipamento de correcção de energia, em caso de geradores assíncronos, etc...

3 Introdução à Manutenção

A manutenção envolve acções planeadas, e não planeadas, executadas para manter um sistema em funcionamento ou repará-lo, objectivando deixá-lo em condição para realizar suas funções de forma aceitável.

De acordo com Ferreira & Silva (2003), a manutenção apresenta-se hoje como um dos factores primordiais que contribuem para a produtividade das empresas. Os autores defendem que ao longo do tempo, os equipamentos tem sofrido evoluções importantes. Os equipamentos de produção estão tornando-se cada vez mais investimentos caros, tornando-se mais automatizados, mais compactos, mais complexos e sendo utilizados de forma cada vez mais intensa. O que leva o tempo de indisponibilidade do equipamento, sobre um processo tornar-se cada vez mais crítico.

Endrenyi *et al.* (2001) explica que o objectivo da manutenção é expandir a vida útil do equipamento, ou ao menos, alargar o tempo de funcionamento da máquina até que uma avaria mais séria interrompa o equipamento, resultando em maiores custos com manutenção.

Ainda segundo os autores, é esperado que uma política de manutenção efectiva reduza a interrupção dos serviços e outras consequências indesejáveis que estas interrupções venham causar.

As acções de manutenção afectam claramente a fiabilidade dos componentes e do sistema. Caso pouco seja feito, resultará num número excessivo de falhas extremamente dispendiosas e a uma redução na performance do sistema.

Por falha considera-se a alteração ou cessação da possibilidade de um bem ou equipamento realizar uma função pré-determinada (Ferreira & Silva, 2003).

Em contra partida, acções de manutenção realizadas constantemente resultam numa melhoria da fiabilidade, entretanto resultará em um grande aumento nos custos.

A maioria dos custos de produção de energia eólica é resultante do alto investimento inicial para a instalação das turbinas eólicas. No entanto, os custos de manutenção, reparos, seguros, arrendamentos, gestão etc. também desempenham um papel importante (Hahn, 1999). Actualmente, empresas construtoras de turbinas eólicas e administradoras de parques eólicos têm enfrentado dificuldades para encontrar pessoas com capacidade e competências específicas necessárias para trabalhar e realizar manutenção em turbinas eólicas. Nesse contexto, um novo tipo de profissional está surgindo e se faz necessário identificar as competências para uma óptima performance, além de desenvolver conteúdos e práticas para formação desses novos técnicos que estão a surgir no mercado.

A Europa domina a manufactura e o processo de instalação no sector de energia eólica. Empresas europeias dominavam 90% das vendas no mercado de turbinas eólicas em 1997. Em 2006, as 4 maiores empresas, fabricantes de turbinas eólicas, dominavam 73% do mercado. Hoje, ainda dominam 80% do mercado. (International Labour Organization, 2008).

3.1 Evolução dos Tipos de Manutenção

A evolução da manutenção está ligada à própria evolução humana, principalmente à luta para se criar e conservar objectos que permitam um domínio cada vez maior da natureza. Mesmo com o constante avanço tecnológico, tanto os produtos como os equipamentos de produção têm uma duração limitada, e certamente irão falhar em algum momento de suas vidas, daí a importância da manutenção para manter ou recuperar sua funcionalidade (Ferreira, 2000).

Inicialmente, antes das mudanças ocorridas em todo o processo de manutenção com a Revolução Industrial, as acções de reparação eram realizadas pelos próprios artesãos através da confecção de um novo componente ou equipamento para substituir o que estava avariado. Os equipamentos evoluíam, a medida que, os artesãos substituíam peças que mostravam-se fracas, por peças elaboradas em um material mais resistente.

Segundo Sherwin (2000), em 1785, Thomas Jefferson observou que as peças dos mosquetes estavam sendo fabricadas com uma precisão suficiente para serem substituídas, surgiu assim o conceito de peças de reposição, junto com a crescente complexidade dos equipamentos.

O acelerado desenvolvimento do conceito de peças de substituição, acompanhando por uma complexidade crescente dos equipamentos a serem mantidos, resultou consequentemente, na redução das habilidades artesanais e o aumento das capacidades de análise de diagnósticos, das pessoas responsáveis pela manutenção.

De acordo com Ahuja & Kamba (2008), as estratégias de manutenção podem ser caracterizadas evolutivamente da seguinte forma:

3.1.1 Manutenção Correctiva

De acordo com Swanson (2001), a manutenção correctiva, ou reactiva, permite o funcionamento do equipamento até o momento em que haja uma falha, a partir daí o equipamento é substituído ou reparado. A autora defende ainda que dentro da política de manutenção correctiva, o equipamento pode sofrer ainda pequenos reparos objectivando o retorno do funcionamento do equipamento, onde as acções de reparação permanentes serão realizadas em um momento posterior.

A autora defende ainda que a manutenção correctiva permite minimizar os custos com funcionários ligados a manutenção, além também de reduzir o montante financeiro gasto para manter o equipamento em operacionalização. Contudo, as desvantagens dessa política incluem a falta de fiabilidade e flutuação da capacidade de produção, além de altos custos de manutenção para reparação de avarias mais graves.

De acordo com Ribrant & Bertling (2007), a adopção de uma estratégia de manutenção reactiva pode vir a ser drástica, uma vez que avarias relativamente pequenas podem acabar por resultar em falhas bastante severas. Outra característica negativa da adopção dessa estratégia é o facto de, quando as acções de manutenção são necessárias, o tempo de paragem do equipamento pode vir a ser maior, uma vez que problemas logísticos, como a falta de peças para a substituição de uma peça avariada, podem existir.

Acções de manutenção correctiva para turbinas eólicas são as actividades desempenhadas objectivando reparar as diferentes falhas ou reparar qualquer componente ou, até mesmo, corrigir uma situação anómala detectada durante as acções de manutenção preventiva ou

preditiva. Além disso, a manutenção correctiva pode ser pouco ou bastante complexa dependendo do tipo de falha existente.

Uma turbina eólica é composta por uma variedade de sistemas complexos que precisam funcionar de forma harmoniosa. Um mal funcionamento ou uma falha resultará frequentemente na paragem do equipamento e irá requerer a atenção da equipa de manutenção (Walford, 2006). Uma grande desvantagem da adopção de apenas acções de manutenção correctiva, em turbinas eólicas, é o facto da necessidade de deslocamento para lugares remotos para a detecção primeiramente da falha, depois a necessidade de um novo deslocamento para a aquisição de peças, caso venha a ser necessário. Outro factor que deve ser considerado como desvantagem é o grande risco a integridade física dos técnicos de manutenção, uma vez que a preparação para a realização das acções de manutenção correctiva, muitas vezes, não são tão organizadas como as demais.

3.1.2 Manutenção Preventiva

Conhecida como manutenção baseada na utilização, a política de manutenção preventiva é composta por uma série de actividades realizadas após um determinado período, ou após uma determinada quantidade de uso de um equipamento. Baseia-se em uma estimacção probabilística de intervalos específicos de tempo em que o equipamento virá a sofrer uma falha (Swanson, 2001). Já para Garg & Deshmukh (2006) manutenção preventiva pode ser denominada como uma série de tarefas realizadas em uma frequência ditada pela passagem do tempo ou a quantidade de produção da máquina objectivando, assim, estender a vida de um activo ou detectar alguma informação crítica de desgaste que possivelmente leva a falha ou inutilização da máquina.

O objectivo da manutenção preventiva é a reposição de componentes e a remodelação de sistemas que possuam vida útil definida. Essas acções incluem inspecções periódicas do equipamento, troca de óleos e filtros, calibração e ajustes aos sensores e a reposição de peças desgastadas, como os freios. Além disso a limpeza das lâminas também são consideradas actividades de manutenção preventiva. Estas tarefas geralmente têm frequências estipuladas no manual de manutenção entregue pelo fabricante (Walford, 2006).

De acordo com Nilsson & Bertling (2007), a manutenção preventiva pode ser dividida em manutenção sistemática, ou agendada, e manutenção de base na condição. Acções de manutenção agendada na geração de energia eólica podem ser consideradas como sendo acções de lubrificação de peças, aperto de parafusos, troca de filtros e a verificação dos equipamentos de segurança. Já as acções de manutenção baseadas na condição têm o foco na performance e na monitorização de parâmetros e subsequentes acções.

Os benefícios da adopção de uma política de manutenção preventiva são principalmente o facto da probabilidade de redução do tempo de paragem e a extensão da vida útil do equipamento. Já a maior desvantagem, é o facto de ser necessária a paragem do equipamento em intervalos programados para a realização das actividades agendadas (Swanson, 2001).

Cada fabricante de turbinas eólicas possui seu próprio manual de manutenção preventiva definindo exactamente a periodicidade em que os sistemas necessitam ser verificados. Alguns desses sistemas são nomeadamente: as pás, o gerador, o multiplicador de velocidades, os sistemas hidráulicos e etc.

As primeiras actividades de manutenção preventiva, em turbinas eólicas, ocorrem usualmente entre os três e os seis primeiros meses de operação. Estas servirão para verificar a existência de pequenas avarias ou falhas na turbina que possam ter surgido no momento da montagem, preparação ou início de operacionalização da mesma, além de servir também para detectar parafusos soltos, afiação incorrecta ou ajustes inadequados que possam vir a causar consequências sérias em um curto período na operacionalização do equipamento.

Após estas acções iniciais, as outras actividades de manutenção preventiva geralmente acontecem a cada 6 e 12 meses. As actividades de manutenção preventiva realizadas em um espaço temporal de seis meses estão relacionadas a lubrificação das partes mecânicas da turbina, como exemplo, os rolamentos e a lubrificação da base móvel da Nacelle, dentre outros. Já as actividades realizadas num período de doze meses, consistem em um maior número de verificações, e em muitos casos, em operações mais dispendiosas que objectivam ampliar a vida útil da turbina eólica. Estas actividades anuais geralmente requerem que o equipamento esteja parado por completo.

3.1.2.1 Manutenção Preditiva

Conhecida também como manutenção preventiva baseada na condição ou técnicas preditivas, apoia-se no facto de que a maior parte das falhas desenvolve-se ao longo do tempo, não ocorrendo instantaneamente, e sim, emitindo algum sinal de falha potencial antes de ocorrer.

De acordo com Ahuja & Khamba (2008), nesta estratégia, as acções de manutenção são iniciadas em resposta a uma condição específica do equipamento, ou a detecção da deterioração da performance do equipamento. As técnicas de diagnóstico são realizadas para monitorizar condições do equipamento como temperatura, barulho, vibração e corrosão e lubrificação. Ainda, segundo os autores, a medida que um ou mais indicadores alcançam um nível de deterioração pré determinado, acções de manutenção são iniciadas para restaurar o equipamento à condição desejada. Significa que o equipamento apenas é tirado de operacionalização a partir do momento que existe evidência directa da deterioração do equipamento.

A manutenção preditiva representa acções de acompanhamento de desgaste dos componentes do equipamento através da análise de sintomas, ou estimativas realizadas por meio de avaliação estatística, objectivando aproveitar ao máximo o tempo de vida de um componente ou equipamento, uma vez que, as acções correctivas serão realizadas o mais próximo possível da ocorrência da falha funcional.

3.2 Evolução das Estratégias de Manutenção

A partir de fins da década de 60 surgiram algumas estratégias metodológicas de Manutenção. Estas estratégias objectivam estabelecer uma estrutura de trabalho coerente e sistematizada, que permita a manutenção ultrapassar os desafios impostos pela complexidade resultante da evolução tecnológica dos equipamentos.

De acordo com Ahuja & Kamba (2008), as estratégias de manutenção podem ser caracterizadas evolutivamente da seguinte forma:

3.2.1 Terotecnologia

Segundo Sherwin (2000), a Terotecnologia teve seu desenvolvimento nos fins da década de 60, a partir de trabalhos realizados pelo governo britânico, e inovou ao introduzir um dos conceitos principais desenvolvidos nas estratégias de gestão da qualidade, o conceito de “*feedback*” da informação.

A introdução de análise da criticidade através do *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* (FMECA) e a realização de testes de adequação baseados em teorias de fiabilidade trouxeram um complemento importante a esta metodologia (Ferreira, 2000). O autor defende ainda que o grande inconveniente dessa estratégia é de não formular um indicador preciso para a avaliação da actividade de manutenção, embora por vezes seja adoptado o conceito de Ciclo de Vida, ou *Life Cycle Cost* (LCC).

O LCC é uma ferramenta, utilizada na gestão da manutenção, que ajuda a maximizar os rendimentos, e a minimizar os desperdícios, para variados tipos de sistema.

Sherwin (2000) afirma ainda que a grande falha dessa estratégia é o facto da informação recebida nas actividades de feedback, são encaminhadas directamente aos *designers* do equipamento, fazendo assim com que as mudanças não sejam percebidas quer na concepção, quer na política de manutenção, sendo apenas contempladas nas futuras gerações dos equipamentos.

3.2.2 Total Productive Maintenance (TPM)

A estratégia de TPM, tem como conceito básico a reformulação e a melhoria da estrutura empresarial, a partir da reestrutura e melhoria das pessoas e equipamentos, envolvendo todos os níveis hierárquicos para a mudança da postura organizacional, sendo portanto, uma técnica que promove um trabalho conjunto entre Homem, Máquina e Empresa e que objectiva vencer o desafio da produtividade e qualidade.

De acordo com Ahuja & Khamba (2008), a estratégia de TPM transforma a manutenção em uma parte necessária e importante para o negócio. A iniciativa dá ênfase na competitividade das organizações, uma vez que possui uma poderosa abordagem estruturada, actua principalmente na mudança dos princípios dos trabalhadores, fazendo uma mudança visível na cultura de trabalho de uma organização.

A estratégia de TPM procura constituir uma estrutura empresarial voltada para a maximização da efectividade global dos equipamentos, melhorando a qualidade dos equipamentos maximizando sua eficiência e seu ciclo de vida, através da implementação de um sistema de manutenção para todo o período de vida do equipamento.

A implementação de uma política de TPM requer um planeamento sério, exigindo uma abordagem que dê ênfase ao aspecto motivacional dos funcionários e incentive a constante formação dentro da empresa.

Segundo Sherwin (2000), a TPM baseia-se em 8 pilares. Abaixo, a figura procura resumir de forma sucinta estes pilares:



Figura 8: Pilares da TPM

O primeiro e mais importante pilar é o facto de a TPM basear-se nas melhorias individuais dos equipamentos. A TPM procura a melhoria da eficácia dos equipamentos através da redução das chamadas 6 grandes perdas: paradas por falhas; tempos excessivos para ajustes dos equipamentos; pequenas paragens; funcionamento e velocidade reduzida; perdas na partida devido a falhas e pequenas paradas até que o processo se estabilize; e, finalmente, defeitos de qualidade e retrabalhos. O segundo pilar está intimamente relacionado ao planeamento das acções de manutenção, visando estabelecer um sistema de manutenção mais efectivo objectivando a eliminação de perdas.

O terceiro pilar baseia-se na avaliação da conveniência de adquirir máquinas mais caras, contudo, de maior fiabilidade, manutenibilidade, operacionalidade e economia. Já o quarto pilar está ligado ao factor de educação e capacitação, planeando assim a formação dos operadores e dos mantenedores dos equipamentos.

O quinto pilar está centrado na manutenção autónoma, desenvolvendo uma consciência de que cada funcionário deve realizar algumas pequenas actividades de manutenção preventiva.

O sexto pilar, está intimamente ligado com a manutenção da qualidade. Estabelece uma série de parâmetros para a avaliação e acompanhamento constante da interferência da condição do equipamento na qualidade do produto ou serviço.

O sétimo baseia-se no controle gerencial, ou administrativo, através da implementação de políticas de optimização e qualidade, com a participação de todos os funcionários, incluindo os que se encontram no topo da hierarquia. Já o oitavo pilar centra-se em acções preventivas voltadas para o meio ambiente, segurança e higiene.

3.2.3 Manutenção Baseada na Fiabilidade (RCM)

A manutenção baseada na fiabilidade, ou *reliability centered maintenance*, é definida por Moubray (1999) como o processo utilizado para determinar as actividades necessárias para garantir que qualquer sistema ou subsistema continue a desempenhar sua função a uma performance determinada.

A política de manutenção baseada na fiabilidade beneficia a gestão da manutenção em sistemas de energia eólica por permitir a redução dos custos de operação e manutenção, além

de possibilitar uma melhor previsão de falhas e interrupções na produção (Guo et al., 2009). Sendo assim, esta política será melhor apresentada em um capítulo à parte.

3.2.4 Total Quality Maintenance (TQMain)

De acordo com Ferreira (2000), esta metodologia é baseada no “Ciclo de Deming” para a qualidade, também conhecido como ciclo “PDCA” (*Plan, Do, Check and Act*). O autor afirma que nesta estratégia torna-se desejável utilizar o máximo possível a vida útil dos componentes, para maximizar a disponibilidade e minimizar as perdas de produção e qualidade devida as paragens.

3.3 Manutenção de Turbinas Eólicas

As turbinas eólicas são equipamentos complexos, sujeitos a um grande número de condições adversas e a factores diferentes, que contribuem para o surgimento de pequenas avarias, que caso não detectadas e devidamente reparadas, podem resultar em falhas.

Munson (2004) afirma que a manutenção de turbinas eólicas é sempre um assunto preocupante, não apenas pelo facto de estarem localizadas em sítios remotos, mas também pelo alto custo e pelas dificuldades enfrentadas, como o facto de alcançar a Nacelle ou o facto de estar sujeita às intempéries do ambiente.

As turbinas eólicas são construídas para funcionar durante um período de 20 anos, contudo, nenhuma declaração final pode ser feita à real expectativa das turbinas eólicas modernas, uma vez que, até agora, nenhuma experiência operacional de tal comprimento está disponível (Hahn, 1999).

As modernas turbinas eólicas têm uma disponibilidade média de 95% à 99%, no entanto, chegam a ocorrer até 10 interrupções por falhas ao ano, resultando em altos esforços e custos de manutenção (Faulstich *et al.*, 2008).

3.3.1 Estudo das Acções na Manutenção de Turbinas Eólicas

Uma turbina eólica é considerada um sistema complexo, composto por uma série de outros sistemas, tanto, sistemas reparáveis, como sistemas não reparáveis, que devem ser analisados separadamente.

Um sistema reparável poder ser entendido como aquele que após cada falha pode ser reparado para o total desempenho da sua função, ou seja, um sistema reparável, após a falha, retorna à condição operacional através de um procedimento, que não seja a sua completa substituição. Consequentemente, um sistema não reparável para retornar ao total desempenho da sua função necessita ser substituído em caso de falha. Um sistema reparável está sujeito a uma sequência de falhas que depende do tempo de duração de cada componente.

O estudo das disfunções de frequência é um assunto já bastante abordado em outras áreas técnicas (Hahn, 1999). A chamada “Curva da Banheira” é a forma mais comum de representar o estudo das disfunções de um equipamento. O autor ainda defende que o chamado período de falhas prematuras ou período de “mortalidade infantil” marca o início das operações. Esta fase

é geralmente seguida por um período de falhas aleatórias ou período de “vida útil”, antes da taxa de falhas, desgastes e de acumulação aumente, chegando assim, ao período de falhas por desgaste.

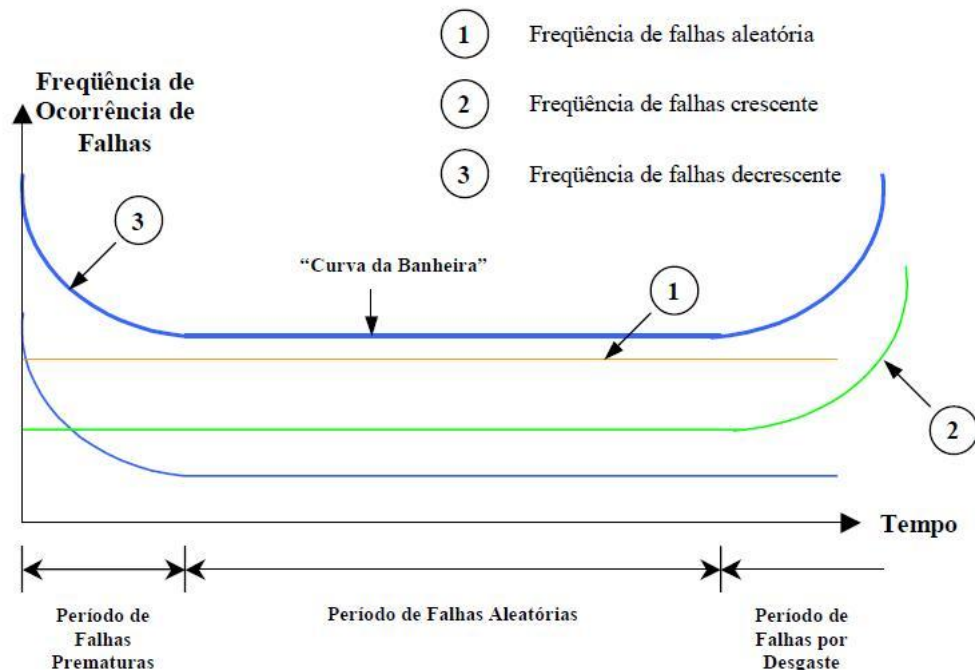


Figura 9: Curva da banheira
(Adaptado de Hahn, 1999)

O emprego do conceito da “curva da banheira” deve ser apenas utilizado quando existe um parque de máquinas semelhantes (Ferreira & Silva, 2003), como por exemplo em um parque de turbinas eólicas. O período total de vida e das diferentes fases são naturalmente distintos para diferentes sistemas técnicos, sendo assim, a “curva da banheira” representa os possíveis comportamentos de um equipamento, ou de um componente dele pertencente, com relação à evolução temporal da probabilidade de haver algum tipo de falha.

Neste contexto, os custos de operacionalização, e custos de manutenção, constituem um percentual considerável nos custos anuais totais de uma turbina eólica. Para uma turbina recém instalada, os custos de operacionalização e de manutenção chegam a ser um percentual de 20% à 25% do total do custo de kWh durante toda vida útil da turbina. Se a turbina é relativamente nova, o percentual decresce, passando a ser entre 10% e 15%. Contudo, a percentagem pode vir a subir para entre 20% e 35% ao fim do ciclo de vida da turbina (EWEA – Wind Energy: The Facts - 2009). São considerados custos de operacionalização e manutenção, os custos relativos a seguro, manutenção regular, reparos, peças de reposição e a administração da turbina.

De acordo com o estudo realizado por Faulstich *et al.* (2008), sobre as características de fiabilidade de uma turbina eólica, as turbinas eólicas demonstram as maiores taxas de falha durante o seu primeiro ano de produção de energia. A medida que há o ganho de experiência, tanto em produção como em operação, a taxa de falha tende a decrescer e a fiabilidade a crescer respectivamente.

Em um estudo realizado, Ribrant & Bertling (2007), exploram os registos de falhas ocorridas entre os anos de 1997 e 2005 disponibilizados por duas empresas gestoras de parques eólicos situados na Suécia. Os resultados apresentados são divididos em dois grupos: a frequência das falhas existentes e a percentagem de encerramento por componente.

Dentre os dados apresentados, com relação à frequência de avarias existentes, as avarias no sistema eléctrico foram as mais comuns com 17,5%, seguida por aquelas ocorridas nas pás com 13,4%, e pelas ocorridas no sistema de controlo com 12,9%.

Já os dados apresentados com relação ao encerramento do equipamento por falhas em algum componente, o estudo constatou que 19% dos encerramentos das turbinas eólicas eram geradas por falhas nas engrenagens, 18,3% por problemas relativos ao sistema de controlo, e 14,3% por falhas no sistema eléctrico.

Munson (2004) defende que problemas relacionados com engrenagens e rolamentos tendem a progredir a um dano colateral mais sério, caso não solucionados com antecedência, podendo afectar dentre outras partes o multiplicador de velocidades e o gerador. O autor defende a importância de uma metodologia para prevenção de falhas utilizando o caso das engrenagens e rolamentos como exemplo; “Quando a falha de um rolamento (US\$ 1.500,00) passa despercebida, ela poderá resultar, por exemplo, na substituição do multiplicador de velocidade (US\$100.000,00), sem falar em custos de transporte e instalação, que no caso de turbinas eólicas seriam bastante altos, por situarem-se em locais de difícil acesso e pelo facto de ter de posicionar os componentes ao topo da turbina”.

Políticas óptimas de manutenção objectivam aumentar a fiabilidade, disponibilidade e segurança na performance de um bem, a custos mínimos de manutenção. As técnicas de manutenção tem recebido ênfase nos últimos anos devido aos requisitos de confiança e de disponibilidade dos novos sistemas, aumento da complexidade e aumento dos custos de material e trabalho (Pham and Wang, 1996).

3.4 Índices de Avaliação da Eficiência de um Equipamento

Turbinas eólicas são consideradas uma fonte de energia renovável, representando cada vez mais um papel importante como um meio de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, uma vez que a capacidade de produção, destes equipamentos, está cada vez maior e o número de turbinas ligadas a um sistema de abastecimento eléctrico aumenta. Sendo assim, a fiabilidade dos equipamentos e componentes, que constituem uma turbina eólica, passa a ser um factor de garantia de sucesso para um projecto de obtenção de energia eólica (Guo *et al.*, 2009).

Os índices para a avaliação de desempenho dos equipamentos, sistemas ou instalações, são úteis na medida em que a análise da evolução dos valores obtidos permite a reavaliação de procedimentos de manutenção e da sistemática de aplicação de acções de manutenção, bem como a periodicidade de intervenção das equipas de manutenção (Ulysséa, 2002).

Os indicadores mais comuns, utilizados como fonte de informação de fiabilidade de um equipamento, e, consequentemente, de uma turbina eólica são:

3.4.1 Taxa de Falha (λ)

O conceito de taxa de falha procura expressar a incidência de falhas ocorridas em um mesmo grupo de equipamentos ou de sistemas em um espaço temporal determinado, sendo assim, este índice depende do número de falhas ocorridas, enquanto o equipamento estava em operação, e do número de componentes deste equipamento sujeitos à falha, durante um período determinado.

Para componentes idênticos:

$$\lambda = \frac{\text{número de falhas por unidade de tempo}}{\text{número de componentes sujeito à falha}}$$

Para um único componente:

$$\lambda = \frac{\text{número de falhas da unidade}}{\text{tempo em que a unidade está em operação}}$$

3.4.2 Tempo médio até a falha (MTTF)

Conhecido como “*Mean Time to Failure*” (MTTF), significa o tempo médio de falha, ou seja, o tempo médio em que uma turbina eólica permanece em operação sem falhas dentro de um período. Este é um dos índices mais importantes pois permite uma ideia da fiabilidade da turbina eólica.

$$\text{MTTF} = \frac{\text{Tempo de operação em um período determinado}}{\text{Nº de falhas durante um período determinado}}$$

3.4.3 Tempo médio de reparo (MTTR)

O tempo médio de reparo, ou “*Mean Time to Repair*” (MTTR), é o tempo gasto em horas para restabelecer a função exercida pelo componente no sistema, por meio de substituição do componente, assim sendo, é um índice aplicado para componentes não reparáveis de um sistema (Ulysséa, 2002).

Aplicado no contexto das turbinas eólicas, é o tempo médio em que a turbina eólica permanece parada devido a falhas dentro de um período determinado. Esse índice permite uma ideia sobre a eficiência das acções de manutenção.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tempo em que a turbina permanece parada devido a uma falha}}{\text{Nº de falhas durante o período}}$$

3.4.4 Tempo médio entre falhas (MTBF)

Mais comumente conhecido como “*Mean Time Between Failure*”, é um índice utilizado para sistemas reparáveis.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tempo total}}{\text{Nº de falhas durante o determinado período}}$$

3.4.5 Disponibilidade

Disponibilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida, para um instante de tempo definido, ou para um período de tempo pré-estabelecido. Aplicado no contexto, significa o percentual que explica o número de horas de operação de uma turbina eólica.

$$\text{Disponibilidade anual} = \frac{\text{Horas operação de uma turbina eólica por ano}}{\text{Horas durante um ano}} \times 100$$

Consideram-se horas de operação, de uma turbina eólica, o momento em que o equipamento gera energia, ou, quando espera por boas condições do vento para iniciar a geração de energia. Podendo a disponibilidade anual de um parque eólico ser calculada obtendo a média aritmética das disponibilidades anuais de todas as turbinas eólicas pertencentes a este parque.

Geralmente, as métricas de disponibilidade anual são estabelecidas no contrato de manutenção do parque eólico. Um bom índice de disponibilidade é aproximadamente 98%.

4 Manutenção Baseada na Fiabilidade (*Reliability Centered Maintenance* - RCM)

Segundo Ferreira & Silva (2003), fiabilidade é a característica que um dispositivo expressa pela probabilidade que este dispositivo exerça uma função requerida, em condições de utilização, e por um período de tempo determinado.

A metodologia de RCM foi desenvolvida inicialmente para a indústria de aviação comercial, no final da década de 60, resultando na publicação de um documento, o MSG-3, no qual o uso moderno do RCM está baseado.

O RCM é uma metodologia que procura estabelecer um programa de manutenção preventiva que irá permitir atingir de uma forma eficiente e eficaz, os níveis de disponibilidade e segurança do equipamento, e de sua estrutura, objectivando, assim, a melhoria da disponibilidade do equipamento, a melhoria na economia de operação e a melhoria das condições de segurança (IEC International Standard, 1999).

Já Nilsson & Bertling (2007) definem a manutenção baseada na fiabilidade como sendo um método sistemático que objectiva criar um balanceamento entre as actividades de manutenção preventiva e acções de manutenção correctiva. Ainda segundo as autoras, o RCM procura definir as actividades de manutenção preventivas correctas para o componente exacto, ao tempo certo, objectivando atingir a melhor opção “custo/benefício”.

Ferreira (2000) defende que na manutenção baseada na fiabilidade pretende-se conhecer a real capacidade produtiva de um sistema, através do conhecimento técnico dos equipamentos utilizados no processo e a sua capacidade para atingir os objectivos de produção. Ainda segundo o autor, com o RCM procura-se obter um equilíbrio entre fiabilidade, necessidades de produção e os recursos necessários. As vantagens do RCM são evidentes, já que dirigirem a atenção da manutenção para as falhas potenciais de maior risco, sejam elas relativas à segurança, ao aspecto económico, financeiro ou ambiental.

A estratégia de RCM é composta por dois grupos de tarefas que podem ser categorizados da seguinte forma (IEC International Standard, 1999):

O primeiro é o grupo de tarefas preventivas que incluem acções de previsão de falhas, podendo serem agendadas em intervalos de tempo específicos, ou baseadas na condição de algum componente do sistema. O objectivo dessas actividades é a identificação e a prevenção da deterioração dos componentes do sistema.

O segundo grupo de tarefas está relacionado às acções de manutenção não agendadas, podendo ser resultantes das acções de vistorias realizadas nas tarefas preventivas, ou resultantes de indicadores de mal funcionamento ou reportes de falha. O objectivo dessas actividades é restaurar o equipamento a uma condição aceitável em que possa realizar suas funções requeridas.

4.1 Implementação de um Programa de RCM

De acordo com Moubray (2004), o programa de RCM procura responder a sete questões principais sobre um equipamento, ou sistema;

- 1 - Quais são as funções e padrões de desempenho associados ao sistema no seu actual contexto de funcionamento?
- 2 - Quais as condições em que falha a cumprir suas funções?
- 3 - O que causa cada falha funcional?
- 4 - O que acontece quando cada falha ocorre?
- 5 - Qual o grau de importância de cada falha?
- 6 - O que pode ser feito para prever ou prever cada falha?
- 7 - O que deve ser feito se não se possa encontrar uma actividade proactiva adequada a falha?

O normativo internacional IEC 60300-3-11, lançado em 1999, procura sistematizar a implementação eficaz de um programa de manutenção baseada na fiabilidade. De acordo com esta norma, para que haja a implementação eficaz de um programa de RCM, os responsáveis pela manutenção deverão seguir nove passos, que respondem de forma eficiente as 7 perguntas lançadas por Moubray.

Abaixo, seguem os nove passos lançados pelo normativo, para que o RCM seja implementado de forma satisfatória:

	A - definir as fronteiras do sistema e dos subsistemas, B - definir as funções de cada sistema ou subsistema, C - identificar os itens de funcionalidade significantes (FSI), D - identificar as causas das falhas pertinentes em FSI, E - prever os efeitos e a probabilidade dessas falhas, F - categorizar os efeitos das falhas em FSI, G - Identificar acções aplicáveis e efectivas de manutenção que compõem o programa inicial de manutenção. H - redesenhar o equipamento ou processo (se aplicável), I - estabelecer um programa dinâmico de manutenção, resultado da actualização sistemática e dinâmica do programa de manutenção inicial, e suas revisões, através da recolha e análise de dados.	
--	---	--

Para que isso seja possível, é necessário considerar um equipamento como sendo um conjunto de sistemas individuais, compostos por subsistemas, que trabalham de forma harmónica para atingir o nível de performance exigido pelo usuário.

Moubray (1999) afirma que o primeiro passo para a implementação de uma estratégia de RCM é a definição das funções de cada componente do sistema, primeiramente em seu contexto operacional e posteriormente num contexto mais amplo, abrangendo a interacção com outros componentes do sistema.

O autor afirma que os estados de falha de um componente são também conhecidos como falhas funcionais. As falhas funcionais ocorrem a partir do momento em que um componente é incapaz de cumprir uma função, para o padrão de desempenho considerado aceitável para o usuário. A definição de falha funcional também abrange as falhas parciais em que o componente ainda funciona, perante um nível inaceitável de desempenho.

Podem-se assim definir as funções desempenhadas por um componente de duas formas; as funções primárias e as funções secundárias.

Moubray (2004) conceitua as funções primárias como aquelas que são a razão principal da compra do equipamento, incluindo assim características como a velocidade, a qualidade do produto, etc. Já as funções secundárias são aquelas esperadas de um equipamento, adicionais as primárias, que não representam o motivo principal do investimento na aquisição do equipamento. Além disso, as funções secundárias representam, também, características como segurança, controlo, conforto e etc.

Sendo assim, a definição das funções primárias e secundárias dos sistemas permite aos responsáveis pela manutenção conhecer todo o funcionamento do sistema.

O segundo passo para a aplicabilidade da estratégia de RCM está relacionado directamente com a identificação de todas as falhas funcionais do sistema. Em seguida, no terceiro passo, são identificados todos os eventos que possam vir a levar o sistema ao estado de falha, ou modo de falha. Moubray (1999) afirma que os modos de fracasso incluem as falhas que tenham ocorrido no mesmo equipamento, ou em equipamentos semelhantes que operam no mesmo contexto, além de incluir também as falhas que estão sendo combatidas pelas acções preventivas de manutenção, dentro do contexto em questão, as falhas causadas por deterioração do equipamento e, também, as causadas por falha humana ou no design do sistema.

O quarto passo baseia-se na descrição das consequências, caso algum modo de falha aconteça. Nessa descrição deverá apresentar-se toda informação necessária para apoiar a avaliação das consequências da ocorrência da falha. Informações como quais as evidências de que a falha ocorreu, ou está a ocorrer, de que forma essa falha representa uma ameaça para a segurança ou para o ambiente, de que forma afecta a produção e a operação, se algum dano físico é causado pela falha e quais as acções devem ser realizadas para reparar a falha (Moubray, 1999).

O autor afirma ainda que o processo de implementação do RCM tende a classificar as consequências da existência de uma falha em 4 grupos diferentes:

Falhas que não têm impacto directo, mas que expõem o sistema a uma série de outras falhas de maiores consequências, esse tipo de falhas é também conhecido como falhas ocultas.

Outra categoria de falhas existentes está relacionada a consequências de segurança e consequências ambientais. São aquelas que, no caso de ocorrerem, podem causar danos físicos a uma pessoa ou podem resultar em consequências negativas ao ambiente.

Uma falha pode também causar danos e afectar os outputs da produção, são consideradas falhas de consequência operacional. Suas consequências estão intimamente ligadas às características da produção como os outputs, a qualidade do produto, o serviço ao cliente e outros.

Por fim, existem as falhas categorizadas como de consequências não operacionais. As falhas classificadas nessa categoria afectam em custos directos para o reparo, contudo não tem consequência em questões de segurança, ambientais, nem operacionais.

A classificação das falhas nas devidas categorias permite o foco das actividades de manutenção nas falhas em que as consequências afectem directamente na performance do sistema.

Já Endrenyi *et al.* (2001) simplifica o processo de implementação do RCM como tendo o seguinte procedimento: Primeiro há a identificação do sistema através de uma listagem dos componentes críticos e as respectivas funções desempenhadas por estes componentes. Em seguida, um modelo relacional entre falhas e seus respectivos efeitos para o sistema é elaborado para cada componente seleccionado, além disso, o histórico das falhas e o cálculo do tempo médio entre falhas é elaborado. A partir daí, é realizada uma categorização dos efeitos das falhas e a determinação das respectivas acções de manutenção aplicáveis. Por fim, uma análise detalhada do programa, incluindo a análise dos custos das acções de manutenção e os custos da relação falhas e efeitos. Ainda de acordo com os autores, o RCM tem sido uma ferramenta muito útil em assegurar a operação económica de estações geradoras de energia.

A implementação do RCM exige a análise detalhada do equipamento e suas funcionalidades, o que requer bastante trabalho e consequentemente maiores custos. Por essa razão, o RCM é uma técnica que é geralmente aplicada quando a manutenção é crítica para a segurança e operacionalização efectiva do equipamento, além de ser aplicada também, quando a falha deste equipamento resultará em sérias consequências em termos ambientais, ou resultando em uma consequência directa na linha de operação (IEC 60300-3-11, 1999).

Sendo assim, a manutenção baseada na fiabilidade procura identificar os meios em que as turbinas eólicas, e seus componentes, desempenham as funções para qual foram desenhadas à realizar. Além disso, o RCM procura também determinar as consequências existentes às falhas e, também, as consequências da realização, ou não, de acções de manutenção preventiva, uma vez que falhas nesses equipamentos causam consequências directas na segurança dos responsáveis pelas actividades de manutenção, como também consequências directas em termos ambientais.

Logo, manutenção baseada na fiabilidade pode ser considerada uma estratégia que procura achar uma solução óptima para os programas de manutenção, englobando políticas de manutenção preventiva e políticas de manutenção correctiva, para as turbinas eólicas.

4.2 Actividades de Manutenção Preditiva

De acordo com Nilsson (2006), as actividades de manutenção preditiva, também conhecidas por *Condition Monitoring System* (CMS), representam o uso de avançadas tecnologias com o propósito de monitorar a condição de um componente e assim prever falhas. Ainda, segundo a autora, o CMS é uma ferramenta que serve para o agendamento de acções de manutenção

baseada em dados como a análise de lubrificantes, análise de vibrações e o uso de tecnologia de infravermelho, em certos casos.

O CMS tem o mesmo objectivo da manutenção preventiva, que é aumentar a fiabilidade do equipamento, reduzindo possíveis avarias e falhas. Contudo, possui uma série de particularidades.

De acordo com Swanson (2001), as acções realizadas nessa política de manutenção geralmente são implementadas assim que o equipamento atinge uma condição de operacionalização específica. A autora ainda defende que equipamentos de diagnósticos sejam utilizados para mensurar a condição física do equipamento. Quando um indicador atinge um nível estabelecido previamente, acções objectivando restaurar o equipamento são realizadas, significando assim que o equipamento sai apenas de operacionalização quando uma evidência de deterioração de algum de seus componentes é detectada.

Este tipo de manutenção também é realizado regularmente, colectando informações que serão registadas e comparadas com informações já existentes, possibilitando conclusões importantes sobre os componentes analisados e sua evolução, permitindo uma melhor estimativa da expectativa de vida restante. Além disso possibilita também, a partir destas estimativas, desempenhar acções correctivas de forma controlada e agendada reduzindo tempos de paragem e custos de manutenção.

O CMS consiste no facto de decidir se as acções de manutenção serão realizadas ou não, com o objectivo de manter o sistema de acordo com o seu estado (Garg & Deshmukh, 2006). Sua característica primária é o facto de permitir a detecção de avarias no sistema em estado inicial. Esta detecção permite ao pessoal encarregado planear as actividades de manutenção, e, caso seja necessário, solicitar partes de reposição. A habilidade de identificar a avaria, em estágio inicial, é necessária para realizar as actividades preventivas correctas, no tempo certo (Ribrant, 2006).

Na figura abaixo é realizada uma comparação entre os principais tipos de manutenção, dentre estes, a manutenção preventiva, a manutenção correctiva, e a política de *Condition Based Maintenance*.

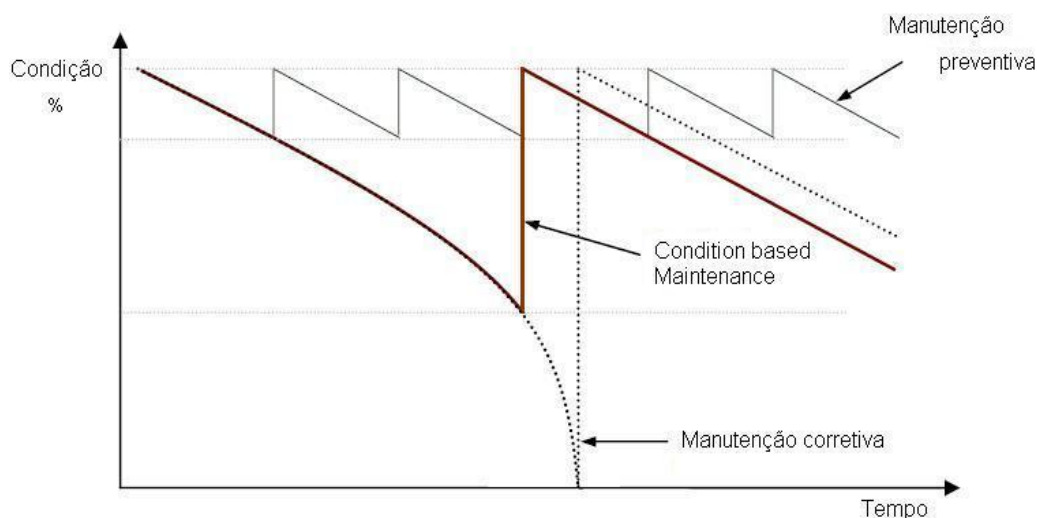


Figura 10: Comparação dos tipos de manutenção

(Adaptado de Ribrant, 2006)

4.2.1 Técnicas de Monitorização

A adopção da política de monitorização da condição é crucial para qualquer tipo de parque gerador de energia, principalmente para os parques de turbinas eólicas, uma vez que, os mesmos estão situados em locais distantes e muitas vezes de difícil acesso, além das acções de manutenção estarem extremamente dependentes das condições meteorológicas.

Além disso, as políticas de monitorização da condição são de extrema importância para as turbinas eólicas devido as acções de manutenção colocarem em risco a integridade física dos funcionários de manutenção, uma vez que muitas vezes têm de ficar no lado externo da Nacelle para inspeccionar falhas e, também, nos casos dos parques eólicos *offshore*, situados longe da costa, os gastos com o transporte de funcionários e peças serem extremamente altos.

Dentre as diferentes ferramentas de monitorização, as mais comumente aplicadas na prevenção de falhas em turbinas eólicas são a análise de vibração, a análise dos lubrificantes e, também, a análise termográfica. A figura abaixo demonstra as técnicas de monitorização aplicáveis às pás e aos equipamentos mais comuns.

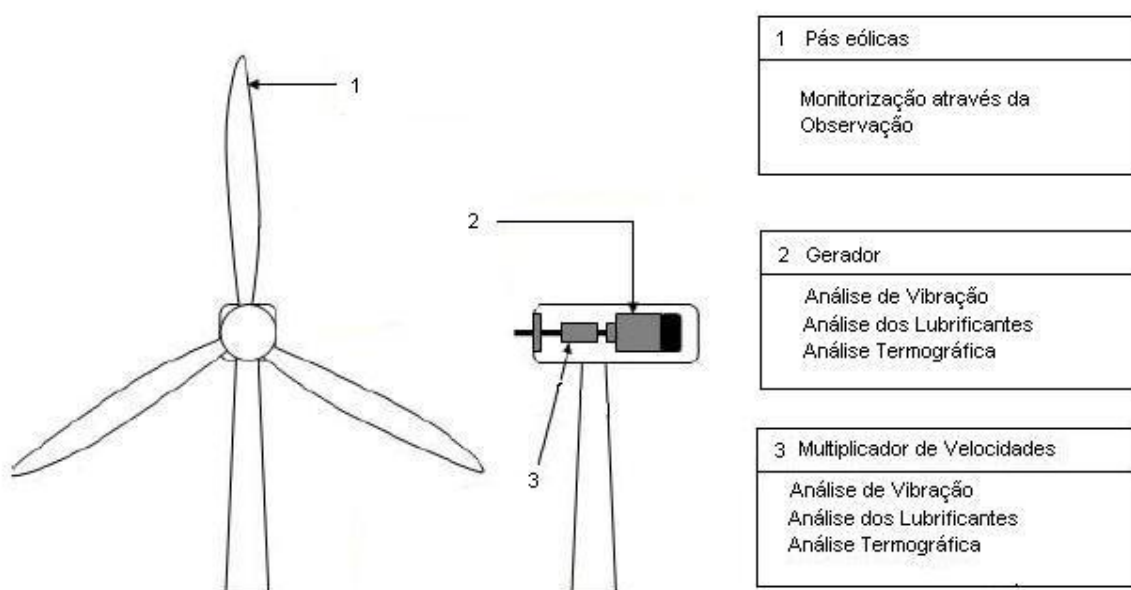


Figura 11: Tipos de acções de monitorização

4.2.1.1 Análise de Vibração

De acordo com Gonçalves *et al.* (2007), a análise de vibração baseia-se no princípio que a estrutura do equipamento, estimulada pelos esforços dinâmicos, dá sinais de vibração, cuja frequência é idêntica à dos esforços que os provocaram. Assim, a medida global das vibrações em algum ponto é a soma das respostas vibratórias da estrutura para os diferentes esforços, sendo possível, com o auxílio de equipamentos de captação, posicionados em pontos definidos, registar a vibração transmitida por um componente para o equipamento e com a análise dessa informação identificar a origem desses esforços dinâmicos.

Este método é bastante útil para a monitorização da operação dos componentes mecânicos e rotativos de um sistema, serve para a detecção de falhas prematuras, como a falta de sincronia, balanceamento e deterioração das partes rotativas do sistema, deslizamento de juntas e rolamentos, dentre outras. Além de permitir também uma grande fiabilidade na operação de instalação e na interrupção de um sistema para o alinhamento de componentes ou para a substituição de componentes desgastados.

Os conversores modernos de energia nas turbinas eólicas actuais têm uma base em componentes rotacionais. Sendo assim, os componentes estimulados pela força dinâmica podem vir a sofrer vibrações que significam um sinal de avaria, e simplesmente ao olhar para o deslocamento do componente, a vibração pode ser medida. Portanto, a mensuração das vibrações e oscilações em componentes estruturais trará dados para o cálculo das características das turbinas eólicas (Ribrant, 2006).

A análise das vibrações é realizada por um equipamento especial que regista as diferentes frequências geradas pelos elementos mecânicos, principalmente as engrenagens. O local mais comum para a recolha de dados sobre vibração é o rolamento localizado no multiplicador de velocidades. Este procedimento deverá ser realizado 2 vezes ao ano para que a evolução dos rolamentos do multiplicador de velocidades seja acompanhada. As informações sobre a actual condição e a evolução dos rolamentos permitem detectar possíveis avarias, ou pequenas falhas, para que assim, acções correctivas sejam agendadas, evitando maiores danos.

Para este tipo de análise é necessário conhecimento específico. Os fornecedores do sistema de análise de vibrações geralmente oferecem como um único serviço os referidos sistemas, além dos diagnósticos dos dados processados e a manutenção do equipamento desse sistema (Verbruggen, 2003).

4.2.1.2 Análise de Lubrificantes

Os lubrificantes podem ser encontrados, de acordo com seu estado físico, em formato sólido, pastoso e gasoso. Os lubrificantes pastosos são geralmente caracterizados principalmente pela viscosidade, contudo possuem também outras propriedades importantes. A análise da propriedade de viscosidade é o foco principal em um programa de análise de lubrificantes (Gonçalves *et al.*, 2007).

Uma ferramenta da manutenção preditiva realizada comumente em sistemas mecânicos, como em componentes do sistema de uma turbina eólica, é a análise de lubrificantes. Um exemplo disso é a análise da consistência da graxa nos rolamentos do gerador e a análise de amostras do óleo utilizado no multiplicador de velocidade.

Geralmente, a análise dos lubrificantes é realizada de forma *off-line*, através da colecta de amostras, contudo, objectivando a salvaguarda da qualidade do lubrificante, está a tornar-se comum a análise dos lubrificantes de forma *on-line*, através do uso de sensores (Verbruggen, 2003).

Diante disto, amostras da graxa e do óleo são analisadas regularmente objectivando verificar a condição das características de lubrificação desses materiais. Caso comprovada na análise a degradação das características de lubrificação, será necessária a mudança desses materiais. Além da mais-valia anterior, a análise dos lubrificantes permite a verificação da existência, ou

não, de partículas sólidas que podem ser resultantes do desgaste de algum componente do equipamento.

Com este sistema de análise pode-se obter uma optimização no trabalho do equipamento, minimizando desperdícios, o que acaba por ser uma vantagem sob as actividades agendadas de manutenção preventiva baseadas em horas de operação do equipamento.

A análise dos materiais lubrificantes actuates nos rolamentos e engrenagens dos equipamentos em uma turbina eólica informam também da existência ou não de partículas de metal, possibilitando assim a detecção de possíveis avarias em estados iniciais.

4.2.1.3 Análise Termográfica

A termografia é uma técnica de inspecção não destrutiva e não invasiva que tem como base a detecção da radiação infravermelha emitida naturalmente pelos corpos com intensidade proporcional à sua temperatura. Através desta técnica é possível identificar regiões, ou pontos, onde a temperatura está alterada com relação a um padrão pré-estabelecido, objectivando, assim, encontrar avarias ou falhas consequentes da degeneração de algum componente ou mau contacto entre elementos do sistema (Verbruggen, 2003).

No caso das turbinas eólicas, a análise termográfica é realizada nos sistemas eléctricos. Máquinas termográficas recolhem imagens permitindo a detecção de pontos específicos que indicam problemas de lubrificação em casos mecânicos, ou problemas de conexões incorrectas, falhas de arrefecimento, contactos deficientes, dentre outros problemas, nos casos dos sistemas eléctricos. Este tipo de análise é importante pois auxilia a detecção de falhas que não seriam identificadas até que resultassem em uma avaria de maior gravidade.

4.2.1.4 Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)

Um *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), ou sistema de supervisão e aquisição de dados, é um sistema com base computacional que permite o controlo remoto e local das funções básicas das turbinas eólicas e recolhe dados que podem ser utilizadas para analisar e relatar o desempenho operacional de uma turbina ou de todo o parque eólico.

Estes sistemas de monitorização e controlo são bastante difundidos entre as turbinas eólicas pois permitem a monitorização remota de elementos pertencentes ao sistema eólico, nomeadamente o gerador, a caixa de velocidades, as temperaturas, a pressão, o óleo, a análise vibratória, dentre outros.

Em parques eólicos, SCADA torna-se fundamental para permitir a efectiva operação de controlo e monitorização comunicação.

Dentro de parques eólicos, sistemas SCADA, como ilustrado na figura abaixo, fornecem a ligação entre a sala de controlo e os diferentes elementos da turbina eólica. Os recursos oferecidos variam dependendo do fornecedor do sistema. Contudo, as características básicas incluem:

- Capacidade para iniciar e parar remotamente máquinas.
- Dados sobre a potência e parâmetros de funcionamento de cada máquina.

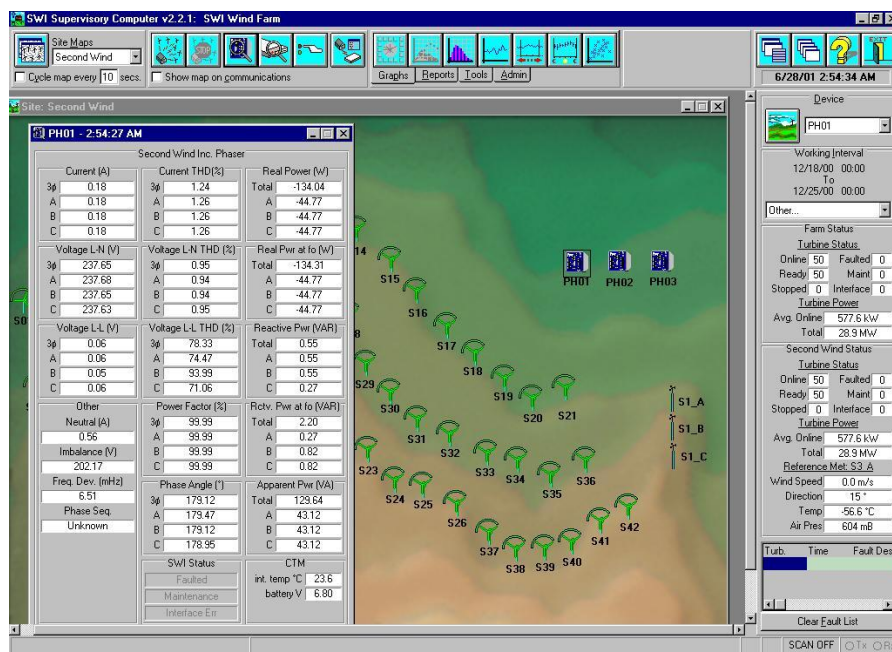


Figura 12: SCADA
(Jacobs, 2005)

4.3 Telemonitorização

O avanço das tecnologias de comunicação possibilitou o aprimoramento das técnicas de monitorização nos programas de manutenção preditiva. O uso de técnicas de monitorização à distância é importante, principalmente no caso de parques eólicos, tendo como uma das vantagens de sua implementação a redução de custos de manutenção, uma vez que elimina a necessidade de uma visita do responsável pela manutenção de uma turbina para a análise, reduzindo também riscos a segurança do funcionário.

A telemonitorização permite, através de sinais de rádio ou WI-FI, o envio de imagens ou sinais recebidos por sensores instalados na turbina eólica a uma central especializada para a análise dessa informação, permitindo assim, o planeamento das actividades de manutenção de forma mais precisa.

4.4 Falhas Comuns em um Sistema Eólico

Uma turbina eólica é um sistema gerador de energia único pois seus componentes encontram-se sob uma carga inconstante de turbulências e outras condições do vento.

Hahn, em 1999, divulgou um estudo realizado sobre falhas em turbinas eólicas na Alemanha. Ao total foram acompanhadas 1.500 turbinas eólicas, sendo analisados um total de 33.000 relatórios sobre acções de manutenção realizadas num período de nove anos.

O autor constatou que diante do total de falhas até o ano de 1997, 50% destas estavam relacionadas a componentes eléctricos do sistema e 50% aos componentes mecânicos. Diante destes dados, os componentes mecânicos do sistema que possuíam o maior potencial de falhas eram: o sistema hidráulico, as pás e o multiplicador de velocidades.

Em um estudo semelhante, Ribrant & Bertling (2007), com dados sobre as falhas em parques eólicos na Suécia durante o período de 1997 a 2005, revelam, também, que os períodos de inatividade causados por falhas mecânicas são semelhantes aos períodos de inatividade causados por falhas eléctricas. Os dados foram recolhidos de uma média de 624 turbinas por ano e revelam a distribuição do número de falhas, por componentes de uma turbina eólica, considerando as falhas que levam a inatividade da mesma.

Os resultados do estudo mostram que o maior tempo de inatividade das turbinas foram causados por falhas nos rolamentos (19,4%), seguidas por falhas no sistema de controlo (18,3%), no sistema eléctrico (14,3%), falhas nas pás (9,4%), por falhas no gerador (8,9%), dentre outros.

Diante dos dados citados acima, foram desenvolvidos blocos com instrução de trabalho, para identificação da necessidade de acções de manutenção preventiva, que encontram-se no volume de anexos em separado dessa dissertação. Nestes blocos de instrução, pode-se verificar as falhas mais comuns e suas metodologias de inspecção.

5 Introdução ao e-Learning

Entidades de ensino e formação à distância há algum tempo vêm sendo reconhecidas como meio de prover acesso ao conhecimento para aqueles em que, em outras situações, não tinham acesso ao conhecimento (Gunasekaran et al., 2002).

Ainda segundo o autor, as principais vantagens do ensino à distância são: a flexibilidade, economia de custos e o uso mais eficiente do tempo, além de possibilitar um aumento considerável na motivação dos funcionários.

Recentemente, com o advento e a divulgação das tecnologias de informação, em particular a popularização em massa da internet, novas oportunidades foram identificadas para o desenvolvimento de ensino à distância em uma actividade mais avançada, num ambiente *on-line* (Furnell et al., 1998).

Na educação, a popularização da internet, possibilitou um leque de oportunidades e metodologias para melhorar a experiência de aprendizagem, bem como, para ampliar as oportunidades educativas para um conjunto maior de estudantes. Especificamente, a educação a distância tem capacidade para atingir um maior número de estudantes usando métodos especializados e a auto-aprendizagem.

Uma dessas experiências é o e-Learning (*Electronic Learning*), onde a criação de plataformas dinâmicas está substituindo outras plataformas de aprendizagem existentes (Dagger et al., 2007).

Segundo García & Jorge (2006), uma plataforma de e-Learning, também conhecida por Ambientes Informatizados de Aprendizagem, ou *Learning Management Systems* (LMS), é um termo genérico que converge uma variedade de diferentes componentes, todos voltados para o suporte da aprendizagem do conhecimento e utilizando meios de media electrónicos. Esses produtos podem ser usados para oferecer diferentes meios de educação *on-line*, abrangendo os mais variados conceitos de aprendizagem, tanto o modelo “tradicional” de aprendizagem em sala de aula, para o ensino a distância *off-line*, como também a aprendizagem *on-line*.

Machado (2001) define e-Learning como a utilização das tecnologias da internet para fornecer, à distância, um conjunto de soluções para o aperfeiçoamento, ou, a aquisição de conhecimentos e a aplicabilidade prática dos mesmos, com resultado na vida de cada um. Baseado em rede, o que o torna capaz de suportar actualizações instantâneas, ter capacidade de armazenamento sem limitações de suporte físico, além de uma fiável distribuição de instrução e informação. O e-Learning é acessível pelo utilizador através de um computador ligado à internet ou a uma *intranet* ou *extranet*.

Ainda segundo o autor, a principal vantagem do uso do e-Learning é o facto de estar disponível a qualquer hora, sem necessidade de cumprir um horário; em qualquer lugar, sem estar limitado a um espaço físico, eliminando a situação geográfica e as barreiras da distância no acesso a especialistas; a facilidade de utilizar um ambiente multimédia, permitindo assim, uma maior interacção, além da disponibilidade para organizar grupos de discussão; permite a evolução ao ritmo de cada aluno, tanto em modo de colaboração assíncrona, como síncrona; tem o foco centrado no aluno, que deixa de ser um participante passivo, tornando-se em um interessado pró-activo na pesquisa da informação; possui uma infra-estrutura electrónica

flexível, que permite gerir e medir a interacção entre formandos e formadores, além da arquitectura do curso ser realizada por módulos, o que facilita diferentes construções de conteúdos, no desenho e na duração; actualização rápida de dados, sem disponibilizar conteúdos obsoletos; e, um custo inferior permitido pela eficiência e o modelo de custo de um processo natural para formar pessoas em larga escala.

Gold (2001), contudo, afirma que o e-Learning não pode ser considerado apenas como educação a distância, ou educação *on-line*. O autor define como sendo a entrega de conteúdo por meio de todo e qualquer meio de média electrónica, incluindo internet, *intranet*, *extranet*, transmissões via satélite, audio/video, TV interactiva e CD-rom.

Já Guha & Maji (2008) definem o e-Learning como instrução, ou técnicas de aprendizagem, entregue ou facilitada pela tecnologia electrónica, tendo potencial para revolucionar princípios básicos da aprendizagem e tornar a aprendizagem em base individual, em vez de base institucional.

De acordo com Pantazis (2002), o controle do processo de aprendizagem passa da instituição de ensino para o indivíduo, que assume grande responsabilidade para desenvolver suas habilidades e conhecimentos.

Existem outras plataformas, ou espaços virtuais, que também podem ser usados com fins educativos, contudo não foram planejados para esse fim, como o *second-life*, além de espaços que se auto consideram “Fóruns de Educação a Distância”, onde pode ser encontrado centenas de arquivos com conteúdo educativo, contudo sem nenhuma hierarquia lógica para fins de educação, sendo considerados meros repositórios de material. Para que seja caracterizado como e-Learning, a plataforma requer um certo grau de interacção, um contexto que promova a troca de conhecimentos entre os usuários e o formador.

O e-Learning emprega um variado número de tecnologias disponíveis na internet, como personalização, simulação e mobilidade para construir cenários pedagógicos, que não estão disponíveis em outras formas de aprendizagem (Dagger *et al.*, 2007).

O crescimento da internet traduz-se numa oportunidade significativa para o e-Learning. De acordo com dados do *Internet World Stats* (2009), houve um acréscimo de 336,1% do número de usuários da internet do ano de 2000 para o ano de 2008. Entretanto, a mesma pesquisa afirma que apenas 23,5% da população mundial tem acesso a internet, demonstrando ainda um amplo potencial para o crescimento.

O e-Learning está, pouco a pouco, convertendo-se na resposta mais adequada às necessidades de formação profissional de pessoas diferentes, em diferentes momentos da vida, oferecendo formação às pessoas que por diferentes razões, ou por trabalharem bastante, ou por morarem longe dos centros de formação, não possam usufruir das ofertas de formação presencial, constituindo uma necessidade na sociedade actual (Garcia *et al.*, 2007).

O presente capítulo aborda quatro tópicos relativos ao desenvolvimento do e-Learning como plataforma de ensino a distância, com foco em educação continuada, iniciando com os conceitos iniciais sobre o e-Learning. Em seguida, descreve-se o desenvolvimento de objectos de aprendizagem, o *Shareble Content Object Model* (SCORM) e a aplicabilidade de ferramentas de realidade virtual com o objectivo de facilitar a aprendizagem e facilitar a contextualização do curso à formação técnica.

5.1 O Uso do e-Learning como Ferramenta de Formação Técnica

À medida que a economia requer cada vez mais das pessoas a aprendizagem de novos conhecimentos e habilidades de forma rápida e efectiva, os avanços tecnológicos na área de tecnologias de informação estão provendo para diversos meios, apoiar o aprendizado de forma personalizada, flexível, portátil e sob demanda (Zang *et al.*, 2004).

As primeiras tentativas de utilização do e-Learning como plataforma de aprendizagem falharam ao envolver os alunos e mantê-los motivados, pois nas primeiras plataformas a instrução era estática e não interactiva. No entanto, hoje, as ferramentas desenvolvidas para aprendizagem *on-line* oferecem ambientes ricos e interactivos onde os alunos podem participar activamente (Starck & Schmidt, 2002).

Actualmente o e-Learning ganha cada vez mais espaço dentre as formas existentes de formação. A educação a distância baseada em plataforma web oferece aos utilizadores acesso a um número incomparável de recursos que não podem ser alcançados em outras modalidades como a educação tradicional (Olson & Wisher, 2002).

Pessoas de qualquer lugar do mundo, nas mais diferentes áreas de conhecimento e com as mais diferentes necessidades de conteúdo, estão se beneficiando do uso de sistemas de e-Learning inteligentes, que se adaptam às necessidades individuais (Cristea *et al.*, 2004).

Além disso, o e-Learning é um dos mercados de mais rápido crescimento no campo da educação e formação (Gold, 2001). O estudo realizado pela *Sloan Consortium* junto com o *BABSON Survey Research Group* verificou que, em 2006, 3,5 milhões de estudantes norte americanos cursaram ao menos uma disciplina *on-line*, um crescimento de 10% em relação ao ano anterior (Allen & Seaman, 2007).

O mesmo estudo, realizado no ano de 2008, constatou que o número de utilizadores de plataforma de e-Learning como meio de aprendizagem cresceu 12,9% em relação a 2007 (Allen & Seaman, 2008).

Young (2001) defende que nesse contexto de ambiente virtual, os indivíduos podem aceder a cursos, tópicos individuais e recursos de suporte a qualquer momento, em qualquer lugar, com acesso a um computador.

O e-Learning procura atingir as necessidades existentes da audiência alvo oferecendo ao estudante um recurso apelativo, valioso e produtivo para suas aspirações e metas (Gunasekaran *et al.*, 2002)

De acordo com Guha & Maji (2008), e-Learning é importante não apenas por razões económicas, mas também por razões sociais. Destina-se a aumentar os conhecimentos, competências e capacidades produtivas dos alunos numa situação global.

Ao alargar o acesso a uma educação de qualidade e formar oportunidades para os diversos segmentos da sociedade, tem o potencial de reduzir as consequências das disparidades económicas causadas pela negação da educação para a população, oferecendo-lhes melhores oportunidades de trabalho e renda.

Dagger *et al.* (2007) defende que “as plataformas tradicionais de e-Learning oferecem ambientes holísticos para a entrega e administração de experiências educacionais. Estas plataformas apresentam um grupo de ferramentas que dão suporte *on-line* a criação de cursos, manutenção, entrega, envolvimento do usuário e etc.”.

O autor defende, ainda, que as plataformas de e-Learning existentes podem ser agrupadas em dois grupos principais. No primeiro grupo estão as plataformas classificadas como “*open source initiatives*”, plataformas gratuitas, construídas tipicamente em *frameworks* extensíveis que permitem ajustes e modificações para adaptarem-se a necessidades específicas. Já o segundo grupo é formado por plataformas chamadas de “*Proprietary solutions*”, ou seja são plataformas privadas desenvolvidas para o e-Learning.

Fry (2001) afirma que um número de factores foram identificados como condutores para a escolha do e-Learning como a plataforma de formação técnica e corporativa mais eficaz, dentre elas, a rápida obsolescência do conhecimento e da formação prévia dos técnicos, combinada com uma necessidade de formação ao longo da vida, considerando o factor custo/eficácia na entrega, além da eficiência final da formação. A autora defende que o uso da plataforma de e-Learning na formação técnica e corporativa resulta em efeitos positivos no desenvolvimento de novos conhecimentos e na criação de novas sinergias.

O que diferencia o conteúdo desenvolvido para o e-Learning, dos desenvolvidos para outras plataformas educacionais, é o factor de poder ser desmontado em objectivos individuais de aprendizagem, codificados e armazenados para a reutilização em uma variedade de diferentes contextos. Estes objectivos de aprendizagem podem ser agrupados em diferentes configurações dependendo dos requisitos encontrados na situação educacional de cada indivíduo. A possibilidade da reutilização do conteúdo é um dos princípios mais valiosos do e-Learning (Harris, 2005).

5.2 Objectos de Aprendizagem (Learning Objects - LO)

De acordo com Dutra & Tarouco (2006), Objectos de Aprendizagem podem ser conceituados como a ideia de recursos suplementares ao processo de aprendizagem, que possam ser reutilizados para apoiar a aprendizagem, ou seja, o conteúdo representado de forma mínima que possa ser montado em conjunto com outros conteúdos, construindo um contexto de aprendizagem.

A utilização de objectos de aprendizagem permite aos criadores de conteúdo para cursos de e-Learning desenvolverem pequenos módulos que possam ser reutilizados diversas vezes em contextos variados.

Com a popularização da tecnologia de objectos de aprendizagem no apoio às actividades de ensino/aprendizagem, surgiram algumas iniciativas visando padronizar a especificação, a construção e a identificação dos objectos de aprendizagem. A adopção de modelos e padrões para o desenvolvimento de Objectos de Aprendizagem é cada vez mais importante, visto que o rápido avanço da tecnologia leva à possível substituição dos ambientes informatizados de aprendizagem com maior rapidez do que a obsolescência de um objecto de aprendizagem (Dutra & Tarouco, 2006).

O SCORM é actualmente a abordagem mais popular e com o maior número de ferramentas de suporte, além de possuir uma abordagem mais centrada na autonomia e auto-aprendizagem.

5.2.1 *Shareable Content Object Reference Model (SCORM)*

Em 1997, o Ministério da Defesa norte-americano e o Gabinete da Ciência e Política Tecnológica da Casa Branca, lançaram a iniciativa *Advanced Distributed Learning (ADL)*.

O principal objectivo da iniciativa era desenvolver um curso para aprendizagem económica, proporcionando acesso a uma educação de qualidade e, também, acesso a material didáctico, facilmente adaptado às necessidades individuais, sempre disponíveis e sempre que necessário. Para conseguir este objectivo, a ADL consolidou especificações das grandes normas internacionais emergentes sobre e-Learning em uma única especificação, designado por *Shareable Content Object Reference Model - SCORM* (Jones, 2002).

O autor afirma ainda que o SCORM é um conjunto de especificações para o desenvolvimento e entrega de educação de alta qualidade e, também, de materiais de formação, onde e quando sejam necessários. Já Dutra & Tarouco (2006) definem o SCORM como um modelo de referência, ou seja, conjunto unificado de especificações para a disponibilização de conteúdos e serviços de e-Learning. Este conjunto de especificações define um modelo de agregação de conteúdo, um modelo de sequenciamento e um ambiente de execução para objectos de aprendizagem baseados na internet.

Ainda segundo os autores, o grande diferencial para a utilização do SCORM no desenvolvimento de conteúdos para educação a distância é o seu foco em quatro pontos principais: reutilização, acessibilidade, interoperabilidade e durabilidade.

O SCORM tem como objectivos propiciar a independência de plataforma, na qual os objectos de aprendizagem serão utilizados, assim como, facilitar a migração de cursos entre diferentes *Learning Management Systems* que sejam compatíveis com esse modelo. Além disso, o conteúdo desenvolvido em conformidade com SCORM é independente de contexto, ou seja, funcionará em situações variadas, seja inserido em um ambiente de gerenciamento de aprendizagem, ou como parte de um curso *on-line* publicado directamente na internet, ou ainda em cenário híbrido.

Segundo Bohl *et al.* (2002), o objectivo fundamental dos *standards* SCORM é a fácil portabilidade do conteúdo de aprendizagem de um sistema de gestão de aprendizagem para outro, assim como, a reutilização dos objectos de aprendizagem.

5.3 Realidade Virtual

Existe uma diferença entre a educação de disciplinas ligadas à engenharia e outras áreas do conhecimento. A engenharia é baseada amplamente em ciência e em conceitos matemáticos, assuntos que são bastante complicados para a aprendizagem *on-line*, pois é necessário o acompanhamento em laboratórios, além do acompanhamento de resolução de equações muito complexas. O avanço das tecnologias de informação possibilitou o acompanhamento da resolução das equações, contudo, com relação aos laboratórios, o assunto é mais delicado por tratar-se de uma actividade que é aprendida em parte na prática, sendo necessária a experiência presencial do estudante em um laboratório (Bourne *et al.*, 2005).

O avanço tecnológico permitiu a utilização de simuladores e o uso de laboratórios virtuais, através do uso de realidade virtual como uma das ferramentas interactivas que podem ser utilizadas pelos Ambientes Informatizados de Aprendizagem, possibilitando uma maior

interactividade, entre o utilizador e a plataforma, permitindo também, que outras áreas do conhecimento pudessem ser exploradas e que novos cursos em plataforma electrónica fossem elaborados.

Feisel & Rosa (2005), apresentam um estudo onde afirmam que o uso de simuladores pode substituir exercícios em laboratórios reais, uma vez que nas comparações realizadas, entre estudantes que usaram apenas a simulação e estudantes que usaram laboratórios reais, constatou-se que ambos os grupos desempenharam, em um momento de avaliação posterior, os exercícios nos laboratórios reais de forma satisfatória. Além disso, o grupo de estudantes que realizaram os exercícios em simuladores recebeu maiores notas nos exames escritos.

Os autores afirmam, como um exemplo, que o uso do simulador de voo, antes e durante a segunda guerra mundial, permitiu a economia de milhares de dólares, além de salvar várias vidas, marcando assim, o início do uso da tecnologia como fonte para formação bastante específica. Actualmente, a simulação é utilizada para a formação das mais diversas funções, desde a formação de pilotos de aeronaves ou navios, aos operadores de usinas nucleares ou aos funcionários que ocupam complexos cargos na indústria química.

5.4 Blended Learning (b-Learning)

De acordo com Adão & Bernardino (2003), o b-Learning surge como uma modalidade de e-Learning, contudo, difere deste pelo facto de misturar actividades presenciais com recursos disponibilizados pelo ensino a distância.

Os autores defendem que existem duas abordagens associadas ao b-Learning. Na primeira abordagem, o conceito é utilizado para designar o complemento às aulas presenciais, sendo assim, nesta abordagem o aluno pode aceder à distância aos conteúdos, comunicar com os colegas e com os docentes, participar em discussões e actividades de aprendizagem, recuperar e consolidar conhecimentos. Contudo estas actividades não substituem as aulas presenciais. Na segunda abordagem, são planeadas sessões presenciais no início e ao fim das acções entre os diferentes módulos que compõem o curso, todos os outros eventos formativos são realizados à distância com calendarização de tempo para o auto-estudo, sessões síncronas (*chat*), testes de auto-avaliação, desenvolvimento de trabalhos e outras actividades de aprendizagem.

A utilização do b-Learning permite a minimização de algumas desvantagens existentes nos cursos de e-Learning, como a ausência de interacção física entre os usuários, e entre os usuários e o docente, além de permitir uma maior motivação aos frequentadores do curso. Contudo, o b-Learning minimiza vantagens como a flexibilidade total de um curso de e-Learning e o facto de poder ser acedido em qualquer lugar.

Esta foi a abordagem escolhida como base para o projecto e-WindTech, substituindo ao máximo as actividades presenciais por actividades de aprendizagem que possam ser realizadas à distância, beneficiando-se dos pontos positivos de ambas abordagens, a “tradicional” e o e-Learning.

6 Plataforma e-WindTech

O curso é formado por 5 módulos que abordam tópicos sobre a manutenção de turbinas eólicas. O objectivo principal é que o conteúdo do curso aborde entre 60 a 75% das operações mais críticas na manutenção de turbinas eólicas.

6.1 Recolha de Informações e Requisitos

O e-WindTech procura qualificar técnicos para a manutenção de turbinas eólicas. Em Portugal, o Catálogo Nacional de Qualificações (CNQ) procura gerir de forma estratégica as qualificações nacionais de nível não superior. Neste contexto, os responsáveis pela manutenção de turbinas eólicas são classificados como “Técnico / Instalador de Sistemas Eólicos”.

Diante do CNQ, os assuntos básicos relacionados à formação voltada para a produção de energia eólica são: “manutenção”, “dinâmica dos ventos”, “energia eólica” e “construção, dimensionamento e instalação de turbinas eólicas”.

Sendo um dos objectivos da plataforma a adaptação à realidade da manutenção de turbinas eólicas enfrentadas por gestores de parques eólicos, foram realizadas pesquisas em todos os países, dos quais fazem parte os participantes do e-WindTech, com o intuito de obter mais detalhes dos pontos críticos e necessários para o desenvolvimento dos conteúdos que servirão como base para uma formação de técnicos em manutenção de turbinas eólicas.

Em Portugal, foi realizada uma pesquisa com 4 empresas responsáveis pela gestão de parques eólicos, foram elas: *MGE*, *Repower*, *Enercon* e *Novenergia Trust*. O modelo de questionário utilizado na recolha de informações pode ser verificado no anexo A.

Diante das respostas analisadas e agrupadas, aos questionários aplicados pelos parceiros do projecto, o conteúdo do curso foi desenvolvido contemplando os seguintes tópicos:

- Instruções de trabalho para acções de manutenção de componentes mecânicos
- Manutenção de componentes hidráulicos
- Inspeção das pás e de superfícies da turbina eólica
- Manutenção preventiva
- Prevenção de riscos e plano de emergência

6.2 Estrutura Geral

O curso será desenvolvido em formato de b-Learning, ou seja, os módulos terão um número determinado de horas presenciais, e obrigatórias, além de uma estimativa de horas para o auto-estudo e utilização da plataforma de e-Learning.

A estimação do tempo dedicado às sessões de auto-estudo foi desenvolvida no intuito de orientar os utentes em relação ao tempo que é considerado necessário para a assimilação dos conteúdos de cada módulo. Estes tempos foram estimados com base na experiência dos técnicos responsáveis pelo desenvolvimento dos conteúdos específicos de cada módulo.

Esta abordagem foi escolhida para o projecto, uma vez que um dos objectivos é reduzir ao máximo o componente presencial, “tradicional”, substituindo por actividades de aprendizagem que possam ser realizadas à distância, reduzindo assim os custos com a necessidade de deslocamento dos funcionários às turbinas eólicas e, também, reduzindo o risco a integridade física dos funcionários.

6.2.1 Recursos Desenvolvidos

Para implementação do curso foram desenvolvidos materiais de apoio, manuais e *check lists* objectivando o suporte às sessões presenciais e ao auto-estudo. Além de serem desenvolvidos exercícios de múltipla escolha e em simulação baseados em programas de realidade virtual, que servirão de apoio à avaliação na plataforma de e-Learning.

6.2.1.1 Materiais de Apoio, Manuais e *Check Lists*

Um dos módulos desenvolvidos até o momento em que a dissertação estava a ser desenvolvida, pode ser observado no anexo em separado da dissertação, os anexos: B, C, D, E, F e G, todos componentes do módulo 4 do curso.

Seguidamente, é apresentada uma breve descrição dos módulos desenvolvidos especialmente para o curso.

Módulo 1: Energia Eólica

O primeiro módulo aborda conhecimentos básicos sobre energia eléctrica, mecânica e hidráulica, aborda também, os componentes básicos de uma turbina eólica. Para este módulo estão definidas 10 horas de aulas presenciais, e prevista uma quantidade de 15 horas de interacção com a plataforma de e-Learning e estudo não presencial. Abaixo pode-se perceber o conteúdo do módulo.

- O Vento
- Energia Eólica
- Curva Energética de uma Turbina Eólica
- Energia produzida por uma Turbina Eólica
- Instalação de Turbinas Eólicas

Módulo 2: Descrição e Componentes de uma Turbina Eólica

Este módulo descreve de maneira generalizada as acções de manutenção realizadas num parque eólico (acções de manutenção correctiva e preventiva). Estão determinadas para este módulo 20 horas presenciais, e, também, previstas 30 horas de interacção com a plataforma de e-Learning e estudos individuais. Os tópicos desse módulo englobam:

- Introdução
 - Histórico
 - Os primeiros conversores da energia eólica em energia eléctrica
- Componentes Básicos de uma Turbina Eólica
 - Torre
 - Rotor
 - Nacelle

Módulo 3: Introdução à Manutenção de Turbinas Eólicas

O módulo introduz as falhas mais ocorrentes nas turbinas eólicas e as práticas de manutenção realizadas. Cabe ao módulo 10 horas presenciais e uma previsão de 15 horas de interacção com a plataforma de e-Learning. O módulo abrange:

- Incidentes mais comuns numa turbina eólica
- Manutenção Preventiva
- Manutenção Preditiva
- Manutenção Proactiva
- Manutenção Correctiva
- Instruções de Trabalho
- Agendamento de acções de manutenção
- Análise de informação e dados
- Gestão Documental

Módulo 4: Descrição das acções de manutenção nos componentes de uma Turbina Eólica

No módulo são descritos as falhas mais comuns e as suas respectivas actividades de manutenção preventivas. O módulo terá 30 horas de aulas presenciais e uma previsão de 45 horas de interacção com a plataforma. Encontra-se dividido em 4 blocos:

- *Check List* de Acções de Manutenção Preventiva
- Falhas mais comuns nas Pás Eólicas e acções de inspecção
- Falhas mais comuns nas Engrenagens e acções de inspecção
- Tensionamento

Módulo 5: Acções Preventivas na Manutenção de Turbinas Eólicas

O último módulo aborda instruções de trabalho, definição e avaliação de riscos, equipamento de protecção pessoal e documentação a ser realizada em acções de manutenção. O módulo possui um componente presencial de 10 horas, associada a 15 horas de interacção com a plataforma de e-Learning. O módulo contempla os seguintes assuntos:

- Planificação do trabalho: Instruções de trabalho.
- Definição de risco e sua avaliação
- Uso correcto das ferramentas de trabalho
- Inspecção para evitar o risco
- Descrição e conteúdo de um plano de emergência
- O que fazer em caso de acidentes? Primeiros socorros, resgate técnico e protocolo de comunicação
- Equipamentos de protecção pessoal
- Documentos a ser elaborados
- Regulamentação e legislação

As funções principais da SPI foram a revisão de todo conteúdo, a adaptação deste conteúdo ao normativo SCORM e a implementação da ferramenta em centros de formação técnico. Entretanto de acordo com o cronograma original, no mês de Junho, do corrente ano, estava programada a implementação e avaliação do curso em instituições de ensino técnico. Contudo, pelo grande atraso, decorrente principalmente na elaboração dos exercícios em realidade virtual, não foi possível a implementação e avaliação do curso nos centros de formação técnica.

6.2.1.2 Exercícios

Os exercícios elaborados para acompanhamento e avaliação contínua dos alunos, por parte dos formadores, em momentos não presenciais podem ser divididos em dois grupos.

O primeiro grupo é composto por questões de múltipla escolha, realizadas ao final de cada módulo, permitindo ao formador avaliar e acompanhar a evolução dos utentes. A figura abaixo serve como exemplo de um das questões elaboradas para o Módulo 1: Energia Eólica.

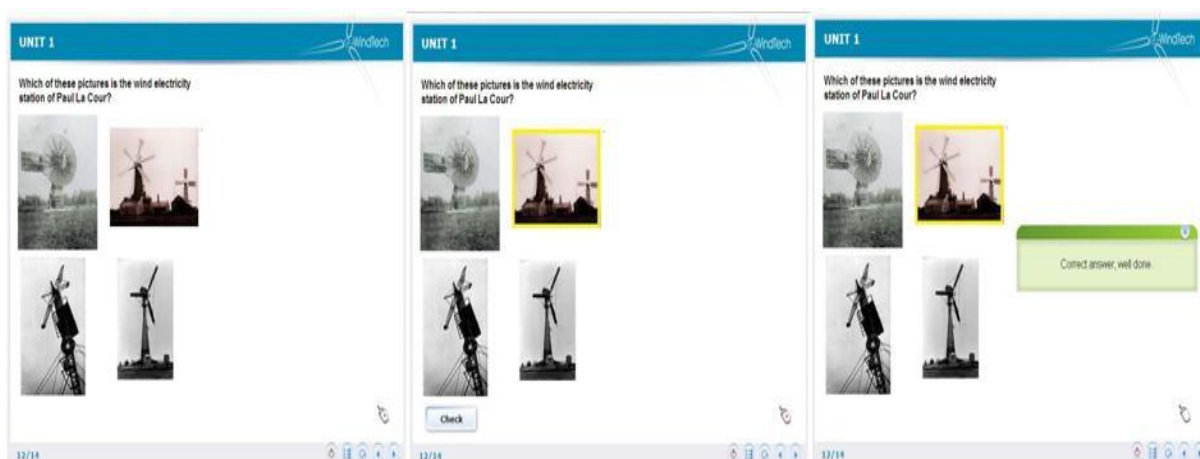


Figura 13 Exemplo de questão de múltipla escolha

Já o segundo grupo de questões é formado por aquelas desenvolvidas em ferramentas de realidade virtual que irão tentar aproximar ao máximo o utente aos problemas existentes em acções de manutenção de turbinas eólicas.



Figura 14: Exemplo de exercício de simulação desenvolvido

6.3 Meios de Disponibilização dos Conteúdos

Os conteúdos serão disponibilizados de duas formas:

A primeira forma será a disponibilização do conteúdo em um modo on-line, no *website* do projecto. Assim, é pré-requisito para aceder aos conteúdos que o utilizador tenha acesso a uma ligação à internet.

Também será disponibilizado em CD-ROM, onde os utilizadores podem imprimir os manuais significando, assim, a possibilidade de aceder a conteúdos de forma *off-line*. Nesse caso o único requisito para aceder aos conteúdos é um computador que possibilite a visualização de arquivos e a realização dos exercícios elaborados em *Flash*, além da necessidade de possuir placa de som. Contudo, por ser um curso que foca principalmente na característica do factor colaborativo, a constituição de uma “comunidade de aprendizagem” é de extrema importância e que o utilizador participe de todas as actividades agendadas no ambiente *on-line*.

6.4 Adaptação do conteúdo

Os conteúdos do curso foram primeiramente desenvolvidos em manuais que servirão de material de apoio para o desenvolvimento das actividades presenciais, além também de servir de base para o auto-estudo do aluno.

Após o desenvolvimento e revisão dos módulos, os conteúdos foram adaptados às normas SCORM, para que pudessem ser transferidos para a plataforma de e-Learning com sucesso.

O *software* utilizado para tal adaptação de conteúdo foi o *WBTEexpress*, uma ferramenta de *opensource* de fácil utilização e que obedece a todos os normativos impostos pela regra SCORM e, também, permite de maneira rápida a inclusão de todos os recursos planeados para o curso. A figura abaixo mostra o sumário do primeiro módulo, após introduzido nas especificações requeridas.

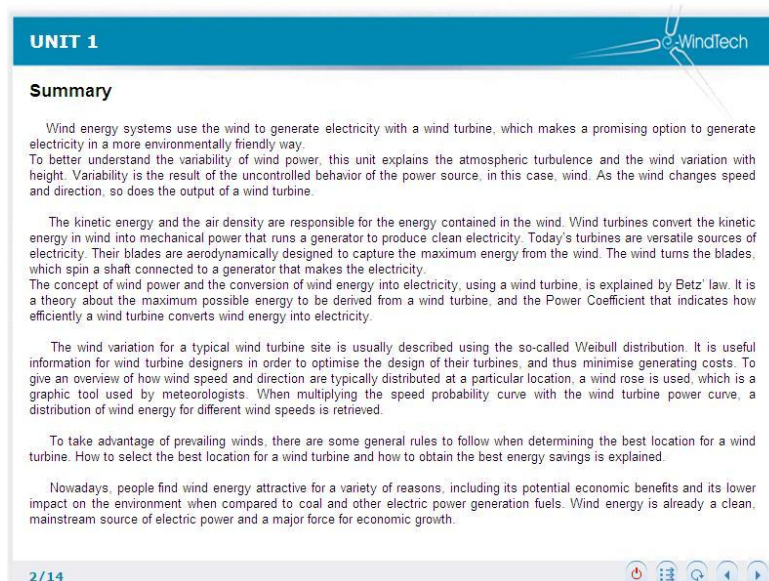


Figura 15: Sumário do módulo 1 adaptado ao SCORM

6.4.1 Plataforma escolhida

Diante de um grande número de ambientes informatizados de aprendizagem existentes para a implementação do conteúdo desenvolvido para o curso “e-WindTech”, a plataforma escolhida foi a conhecida como “Plataforma *Moodle*”.

O factor distintivo para a escolha da plataforma, primeiramente, é o facto de ser uma plataforma de código livre ou *opensource*. Outra característica importante é o facto de o *Moodle* possuir uma filosofia construtiva, possibilitando assim a melhoria constante dos conteúdos do curso, e a adopção de uma estrutura modular, que permite a navegação do aluno pelos diferentes conteúdos, e caso seja necessário, voltar a algum módulo anterior, sem a necessidade de percorrer todo o curso para isso. Contudo, o conteúdo desenvolvido ainda não foi transferido por completo para a plataforma.

7 Conclusão

O foco desse trabalho consistiu no estudo das necessidades existentes e análise dos conteúdos desenvolvidos para a criação de um curso voltado para a formação técnica em manutenção de turbinas eólicas. O presente trabalho buscou também à análise das actividades de manutenção actualmente existentes e aplicáveis e a escolha da melhor estratégia de manutenção voltada especificamente à manutenção de turbinas eólicas.

7.1 Comentários Finais

O presente trabalho, para atingir seus objectivos, procurou explorar os conceitos de introdutórios sobre os tipos de manutenção existentes, e suas estratégias de implementação, para a estruturação dos conteúdos, e para a consecutiva implementação deste conteúdo em uma plataforma de e-Learning, procurando assim, criar um curso novo, agregando os pontos positivos tanto dos cursos de formato presencial, como dos cursos à distância.

Como base para trabalho futuro, sugere-se inicialmente o estudo da implementação da ferramenta dos centros tecnológicos, já seleccionados para implementação nos países parceiros. Este estudo faria parte dessa dissertação, contudo, devido a atrasos em todas as fases do projecto, apenas foi possível a análise do material desenvolvido e a transferência deste material para o formato de e-Learning, a ser implementado na plataforma *Moodle*.

O estudo da implementação do curso é extrema importância uma vez que permitirá a análise de todo conteúdo desenvolvido. Além também, de avaliar a aceitação, tanto de empresas produtoras de turbinas eólicas, como de empresas responsáveis pela gestão de parques eólicos, com relação ao conteúdo e ao material desenvolvido para o curso, uma vez que estas empresas, uma vez que mostraram o interesse em no projecto, em público alvo.

Um segundo estudo que pode ser desenvolvido está relacionado a implementação de novos conteúdos, com base na evolução constante dos equipamentos que compõem uma turbina eólica, e caso venha a ser necessário, desenvolver módulos de actualização de conteúdo e módulos interactivos para o curso.

Referências e Bibliografia

- AHUJA, I. P. S.; KHAMBA, J. S.; “Total productive maintenance: literature review and directions”, *International Journal of Quality & Reliability Management*, volume 25, nº 7, 2008, pp. 709-756.
- ALLEN, Elaine & SEAMAN, Jeff; “Online Nation: Five years of growth in Online Learning”, *The Sloan Consortium and BABSON Survey Research Group*, 2007, disponível em: http://www.sloan-c.org/publications/survey/pdf/online_nation.pdf, visita: 04/03/2009.
- ALLEN, Elaine & SEAMAN, Jeff; “Staying the course: Online Education in the United States in 2008”, *The Sloan Consortium and BABSON Survey Research Group*, 2008, disponível em: http://www.sloanconsortium.org/publications/survey/pdf/staying_the_course.pdf, visita: 05/03/2009.
- ACKERMANN, Thomas & SÖDER, Lennart; “An overview of wind energy-status 2002”, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, volume 6, 2002, pp. 67-128.
- ADÃO, Carlos & BERNARDINO, Jorge; “Blended Learning no Ensino de Engenharia: Um Caso Prático”, *Actas da III Conferência Internacional sobre Tecnologias de Informação e Comunicação na Educação*, Braga, Setembro de 2003, disponível em: <http://www.nonio.uminho.pt/challenges/05comunicacoes/Tema2/02CarlosAdao.pdf>, visita: 02/06/09.
- Banco Espírito Santo; “*Espírito Santo Research – As Energias Renováveis em Portugal 2008*”.
- BARAÚNA, Alessandra; GOMES, Rita de C. G.; Loch, Márcia & BARCIA, Ricardo M.; “Discutindo e-Learning e a experiência do laboratório de ensino a distância da UFSC”, *COBENGE – XXIX Congresso Brasileiro de Ensino a Engenharia*, 2001, Rio Grande do Sul.
- BELL, Jane; “E-learning: your flexible development friend?” *Development and Learning in Organizations*, volume 21, nº 6, pp. 7-9.
- BOHL, Oliver; SHELLHASE, Jörg; SENGLER, Ruth & WINAND, Udo; “The Sharable Content Reference Model (SCORM) – A Critical Review”, *Proceeding of the International Conference on Computers in Education*, ICCE’02, IEEE, 2002, disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.3.4279&rep=rep1&type=pdf>, visita: 14/04/09.
- BOURNE, John; HARRIS, Dale & MAYADAS, Frank; “Online Engineering Education: Learning anywhere, anytime”, *Journal of Engineering Education*, volume 94, nº 1, January 2005, pp. 131-146.
- CASTRO, Rui M. G.; “Introdução à Energia Eólica”, *Energias Renováveis e Produção Descentralizada*, edição 3.1, março de 2008, disponível em: http://enerp4.ist.utl.pt/ruicastro/download/Eolica_ed3p1.pdf, visita: 18/03/09.

- CBEE – Centro Brasileiro de Energia Eólica, Universidade Federal de Pernambuco 2000.
www.eolica.com.br
- COHEN, Eli B. & NYCZ, Molgozarta; “Learning Objects and e-Learning: an Informing Science Perspective”, *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects*, volume 2, 2006, pp. 23-34.
- CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Salvo Brito, 2009;
www.cresesb.cepel.br, visita dia: 05/05/09
- CRISTEA, Paul Dan; TUDUCE, Rodica; SAVESCU, Ioana Alexandra; GORGORIN, Cristian Alexandru; TOMOZEI, Dan-Cristian; GRADINESCU, Victor Radu & RANGU, Calin Mihai; “Prototype Implementation of an Intelligent E.Learning System”, *IASTED International Conference – WEB BASED EDUCATION*, February 16-18, 2004, Innsbruck, Austria, disponível em: <http://www-ice.upc.es/butlleti/innsbruck/416-830.pdf>, visita: 03/03/2009.
- DAGGER, Declan; O’CONNOR, Alexander; LAWLESS, Séamus; WALSH, Eddie, & WADE, Vincent P.; “Service-Oriented E-Learning Platforms: From Monolithic Systems to Flexible Services”, *IEEE Internet Computing*, May/June 2007, pp. 28-35.
- DICKERSON, Marla; “Why Obama’s green job plan might work”, L.A. TIMES, 4th January of 2009. <http://www.latimes.com/business/la-fi-greenjobs4-2009jan04,0,378269.story?page=1>, visita: 17/02/2009.
- DUTRA, Renato Luís de Souza & TAROUÇO, Liane Margarida Rockenbach; “Objectos de Aprendizagem: Uma comparação entre SCORM e IMS Learning Design”, *Novas Tecnologias na Educação*, Volume 4, nº 1, Julho, 2006.
- ENDREYI, J.; ABORESHEID, S.; ALLAN, R.N.; ANDERS, G.J.; ASGARPOOR, S.; BILLINTON, R.; CHOWDHURY, N.; DIALYNAS, E.N.; FIPPER, M.; FLETCHER, R.H.; GRIGG, C.; MCCALLEY, J.; MELIOPOULOS, S.; MIELNIK, T.C.; NITU, P.; RAU, N.; REPPEN, N.D.; SALVADERI, L.; SCHNEIDER, A. & SIGH, Ch.; “The Present Status of Maintenance Strategies and the Impact of Maintenance on Reliability”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Volume 16, nº4, Novembro, 2001, pp. 638-646.
- EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION; “02 February 2009 Statistics” 2009, disponível em: <http://www.ewea.org/index.php?id=259>, visita: 20/02/09.
- EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION; “Wind Energy –The Facts” 2009, disponível em: <http://windfacts.eu/>, visita: 20/02/09.
- FAUSTICH, S.; HAHN, B.; JUNG, H. & RINGHANDT, A.; “Appropriate Failure Statistics and Reliability Characteristics” *DEWEK 2008 - 10th German Wind Conference*, Bremen, Germany, disponível em: http://www.iset.uni-kassel.de/abt/FB-I/publication/2008-021_Appropriate_failure_statistics.pdf, visitado em: 31/03/2009.
- FEISEL, Lyle D.; ROSA, Albert J.; “The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education”, *Journal of Engineering Education*, January, 2005, pp. 121-130.
- FERREIRA, Luís; “Novas Estratégias de Manutenção” *Actas da Jornada de Manutenção da APMI*, Porto, 2000.

- FERREIRA, Luís & SILVA, Nuno; “An industrial application of RCM: methodology and critical analysis”, *Analysis Maintenance & Asset Management*, vol. 18, nº 4, 2003, pp. 13-17.
- FRY, Kate; “E-learning markets and providers: some issues and prospects”, *Education + Training*, volume 43, nº4/5, 2001, pp. 233-239.
- FURNELL, S.M.; ONIONS, P.D.; BLEIMANN, U.; GOJNY, U.; KNAHL, M.; RODER, H.F. & SANDERS, P.W.; “A security framework for online distance learning and training”, *Internet Research: Electronic Networking Applications and Policy*, volume 8, nº3, 1998, pp. 236-242.
- GARCIA, Carlos Marcelo; PLAZA, Carmen Lázaro; ARCOS, Francisco J. Álvares, & MORILLO, María José Vázquez; “E-learning para la formación Profesional Inicial en Andalucía: cuatro años de experiencia”, *Revista de Educación a Distancia*, ano VI, nº 18, 2007, disponível em: http://www.um.es/ead/red/18/marcelo_et_al.pdf, visita: 01/06/09.
- GARCÍA, Félix Buendía & JORGE, Antonio Hervás; “Evaluating e-Learning Platforms Through SCORM Specifications”, *IADIS Virtual Multi Conference on Computer Science and Information Systems*, 2006, disponível em: www.iadis.org/multi2006/papers/15/S020-EL.pdf, visita: 04/05/2009.
- GARG, Amik & DESHMUKH, S.G.; “Maintenance Management: literature review and directions”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, volume. 12, Nº 3, 2006, pp.205 – 238.
- GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL & GREEN PEACE; “*Global Wind Energy Outlook 2006*”, disponível em: http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/GWEC_A4_0609_English.pdf, visita: 10/02/09.
- GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL & GREEN PEACE; “*Global Wind Energy Outlook 2008*”, disponível em: http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/GWEO_2008_final.pdf, visita: 22/02/09.
- GOLD, Steven; “E-learning: The Next Wave of Experiential Learning”, *Developments in Business Simulation and Experiential Learning*, volume 8, 2001, pp. 76-79.
- GOMES, Maria João; “Desafios do e-Learning:do conceito às práticas”, *Actas do congresso GalaicoPortuguês de PsicoPedagogia*, Braga: CIED/IEP/UM,66-76, 2005.
- GONÇALVES, Aparecido Carlos, CUNHA, Rodrigo Carvalho & LAGO, Daniel Fabiano; “Vibration and wear particles analysis in a test stand”, *Industrial Lubrication and Tribology*, volume 59, nº 5, 2007, pp. 209-216.
- GUHA, A.S. & MAJI, Subhashish; “E-learning: the latest spectrum in open and distance learning”, *Social Responsibility Journal*, volume 4, nº 3, 2008, pp. 297-305.
- GUNASEKARAN, A.; McNEIL, Ronald D. & SHAUL, Dennis, “E-learning: research and applications”, *Industrial and Commercial Training*, volume 34, nº 2, 2002, pp 44-53.
- GUO, Haitao; WATSON, Simon; TAVNER, Peter & XIANG, Jiangping; “Reliability analysis for wind turbines with incomplete failure data collected from after the date of initial installation” *Reliability Engineering and System Safety*, volume 94, 2009, pp. 1057 – 1063.

- HAU, Erich; “Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Applications, Economics” 2^o edition, Springer, Birkhäuser, 2006, ISBN 3540242406.
- HAHN, B.; “Reliability Assessment of Wind Turbines in Germany – Results of the national, ,250 MW WIND PROGRAMME” Institut für Solare Energieversorgungstechnik, Verein an der Universität Gesamthochschule Kassel e. V, 1999., disponível em: http://www.iset.uni-kassel.de/abt/FB-I/publication/99-05-05_euwec-reliability_en.pdf , visita: 31/03/2009.
- HARRIS, J. (2005); “E-learning strategy: repurposing content”, *Chief Learning Officer*, October, volume 4, pp.24-28.
- IEC International Standard; “IEC 60300-3-11: Dependability Management – Part 3-11: Application guide – Reliability Centred Maintenance”, First edition, 1999.
- International Labour Organization; “*Green Jobs: Towards decent work in a sustainable low carbon world, 2008.*”, disponível em: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/publication/wcms_098503.pdf, visita: 10/02/09.
- Internet World Stats; “World Internet Usage and Population Statistics”, disponível em: www.internetworldstats.com/stats.htm, visita: 02/03/2009.
- JACOBS, Mike; “WindPower Interconnections: Standards for Wind under and over 20 MW”, *NCRECA Webcast*, 08 December 2005.
- JENKINS, Garry; “Wind energy – a brief history and current status”, *Nutrition and Food Science*, volume: Jan, issue:3, 1999.
- JONES, Edward R.; “Implications of SCORM and Emerging e-Learning Standards on Emerging Education”, *Proceedings of the 2002 ASEE Gulf-Southwest Annual Conference*, The University of Louisiana Lafayette, March 20-22, 2002, disponível em: <http://sorubank.ege.edu.tr/~e190411147/scorm/scorm5.pdf>, visita: 14/04/09.
- KOPF, David, “E-learning market to hit \$52,6B by 2010” *T.H.E Journal*, July 2007, disponível em: <http://www.thejournal.com/articles/21046>, visita: 02/03/2009.
- MACHADO, José; “E-Learning em Portugal”, FCA – Editora de Informática LTDA. – Setembro de 2001, ISBN 972-722-260-9.
- MOUBRAY, John; “The Responsible Custodianship of Physical Assets”, 1999, disponível em : <http://www.thealadonnetwork.com/PDFs/custUK.pdf>, visita: 27/04/09.
- MOUBRAY, John; “Reliability-centered maintenance”, segunda edição, ISBN: 0-7506-0230-9, Oxford, 2004.
- MUNSON, Gerald; “The Maintenance Challenge in Wind Power”, *North American WINDPOWER*, Dezembro, 2004, disponível: <http://www.isopur.cn/Cases/NA%20wind%2011-04.pdf> , visita: 08/06/09.
- NILSSON, Julia; “Maintenance Management of Wind Power Systems: Cost Effect Analysis of Condition Monitoring Systems”, *Master Thesis*, KTH School of Electrical Engineering, 2005/2006.
- NILSSON, Julia & BERTLING, Lina; “Maintenance Management of Wind Power Systems Using Condition Monitoring Systems – Life Cycle Cost Analysis for Two Case Studies”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Volume: 22, nº 1, Março, 2007, pp. 223-229.

- OLIVEIRA, Paulo M.; LOBO, Victor; BARROSO, Victor, & PIRES, Fernando Moura, “Caracterização, Visualização e Classificação na Manutenção Preditiva”, *Seminário Segurança, Fiabilidade e Análise de Avarias*, Escola Naval, Lisboa, 8 e 9 de Abril de 1999, disponível em: http://www.isegi.unl.pt/docentes/vlobo/Publicacoes/3_01_lobo99_manutencao.pdf, visita: 03/04/09.
- OLSON, T.M. & WISHER, R.A.; “The effectiveness of web-based instruction: an initial inquiry”, *International Review of Research in Open and Distance Learning*, Volume: 3, nº 2, October, 2002.
- PANTAZIS, Cynthia; “Maximizing e-Learning to train the 21st century workforce”, *Public Personnel Management*, volume 31, nº1, Washington, 2002.
- PHAM, Hoang & WANG, Hogzhou; “Imperfect Maintenance”, *European Journal of Operational Research*, volume 94, 1996, pp.425-428.
- PULLEN, Angelika; “World wind’s whirlwind growth”, *Renewable energy focus*, volume. July/August 2008.
- REINMANN, Gabi; “Perceber o e-Learning: Uma opção para a Europa.”, *European Journal of Vocational Training*, número 38, 2006.
- RIBRANT, Johan; “Reliability performance and maintenance – A survey of failures in wind power systems”, *Master Thesis*, KTH School of Electrical Engineering, 2005/2006.
- RIBRANT, Johan & BERTLING, Lina Margareta; “Survey of Failures in Wind Power Systems with Focus on Swedish Wind Power Plants During 1997 – 2005” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, volume 22, nº 1, Março, 2007, pp. 167-173.
- ROA, K. Parameswara; “Delivering E-Learning through Technology in Open and Distance Learning”, *Proceedings of the Second International Conference on e-Learning for Knowledge Based Society*, August 4-7, 2005, Bangkok Thailand.
- SCHWARZ, Karlheinz; “Advanced Condition Monitoring of Primary Equipment with the Standard Series IEC 61850 and IEC 61400-25”, *17th Conference of the Electric Power Supply Industry*, Macau SAR, China, 27 - 31 October, disponível em: http://www.cepsi2008.org/CEPSI2008/files/oral/26/full_paper_karlheinz_schwarz.pdf, visita: 26/05/09.
- SHERWIN, David; “A Review of overall models for maintenance management”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Volume 6, nº 3, 2000, pp.138-164.
- SORENSEN, Bent; “Progress in Wind Energy Utilization”, *Annual Review of Energy and Environment*, January 1995, volume 20.
- STARCK, Carolyn M., & SCHMIDT, Kathy J.; “Transitioning to e-Learning: A Case Study”, *2002 ECI Conference on e-Technologies in Engineering Education: Learning Outcomes Providing Future Possibilities*, Davos, Switzerland, paper 30, disponível em: <http://services.bepress.com/eci/etechnologies/30>, visita: 02/03/2009.
- SWANSON, Laura; “Linking maintenance strategies to performance”, *International Journal of Production Economics*, Volume 70, 2001, pp. 237-244.

- TERCIOTE, Ricardo; “Eficiência Energética de um Sistema Eólico Isolado; *Anais do Encontro de Energia no Meio Rural*, 2002, Campinas, São Paulo, disponível em: <http://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2002/pdf/0100.pdf>, visita: 23/03/09.
- ULYSSEÁ, Maurício Silveira; “Definição da periodicidade óptima da manutenção preventiva de relés de protecção”, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- VERBRUGGEN, T.W.; “Wind Turbine Operation & Maintenance based on Condition Monitoring – WT- Ω Final Report” Energy Research Center of the Netherlands, ECN-C--03-047, April, 2003, disponível em: <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2003/c03047.pdf>, visita: 06/04/09.
- WALFORD, Christopher A.; “Wind Turbine Reliability: Understading and Minimizing Wind Turbine Operation and Maintenance Costs”, SANDIA REPORT – Sandia National Laboratories, March, 2006, disponível em: <http://www.prod.sandia.gov/cgi-bin/techlib/access-control.pl/2006/061100.pdf>, visita: 24/03/09.
- World Wind Energy Association, “World Wind Report 2008”, 2009, disponível em: http://www.wwindea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2008_s.pdf, visita: 18/02/09.
- YOUNG, K.; “The effective deployment of e-learning”, *Industrial and Commercial Training*, volume 33, nº 1, 2001, pp. 5-11.
- ZANG, Dongsong; ZHAO, J. Leon; ZHOU, Lina & NUNAMAKER, Jay F. Jr.; “Can e-learning replace classroom learning?”, *Communications of the ACM*, May/2004, volume 47, nº 5, pp.74-79.

ANEXO A: <Questionário para Recolha de Informações e Requisitos>



Projecto e-WindTech

Questionário para a identificação de necessidades de Formação

O **programa e-WindTech** insere-se no Leonardo da Vinci Lifelong Learning Programme e inclui o desenvolvimento de uma ferramenta e-learning para a formação de profissionais na área de Manutenção de Turbinas Eólicas. Esta ferramenta será dotada de aspectos inovadores, incluindo aplicações em simulação virtual, que permitirão uma melhor aprendizagem das matérias leccionadas.

Esta ferramenta constituirá um elemento útil para empresas de manutenção de aerogeradores, fabricantes, técnicos, responsáveis por projectos eólicos e centros de formação.

A implementação deste projecto é da responsabilidade das seguintes entidades.

- **Fundación para la Formación en Energías Renovables – Spain:** *Centro de formação especializada em energias renováveis;*
- **Iniciativas Inovadoras – Spain:** *Empresa de consultadoria de gestão;*
- **Berufsbildungszentrum der Kreishandwerkerschaft Märkischer Kreis e.V. (BBZ) – Germany:** *Centro de formação profissional;*
- **Fraunhofer Institute for Computer Graphics Rostock – Germany:** *Centro de investigação especializado na área da interactividade gráfica e na tecnologia multimédia;*
- **IDEC SA – Greece:** *Empresa de consultadoria e formação;*
- **Sociedade Portuguesa de Inovação (SPI) – Portugal:** *Empresa de consultadoria nas áreas de investigação, desenvolvimento e formação;*
- **Viešoji Įstaiga Strategines savivaldos institutas - Strategic Self-Management institute (SSI) – Lithuania:** *Instituto de investigação científica e inovação.*

A primeira actividade a ser desenvolvida consiste na identificação das necessidades formativas dos profissionais que efectuem a manutenção de aerogeradores, e com este objectivo contamos com a sua colaboração. Necessitamos de identificar todos os processos, trabalhos, actividades e tarefas efectuadas na manutenção de aerogeradores que possam ser leccionadas através desta ferramenta.

Por favor, leia com atenção o questionário e responda a todas as questões.

OBRIGADO PELA SUA COLABORAÇÃO!

INFORMAÇÃO GERAL

Nome e Apelido	Empresa
Cargo na empresa	Actividade
Principais Tarefas	Número de empregados
Número de anos de experiência	País

AVALIAÇÃO DE PROJECTOS

1. Considera a utilização deste tipo de ferramentas interessante para o processo de formação de técnicos de manutenção de turbinas eólicas? Porquê?

2. Qual o critério que utilizaria para quantificar a utilidade desta ferramenta?

Por exemplo: *Poupança de tempo em formação em sala.*

ASPECTOS TÉCNICOS

3. As maiores das tecnologias utilizadas nas turbinas eólicas encontram-se mencionadas na seguinte tabela. Por favor quantifique, em percentagem de tempo, cada das tecnologias atendendo à frequência com que as efectua.

0% Nunca efectuei qualquer trabalho de manutenção relacionado com esta tecnologia

100% Todo trabalho de manutenção que efectuo, está relacionado com esta tecnologia

	Tecnologia	%
<i>Gerador</i>	<i>Síncrono</i>	
	<i>Assíncrono</i>	
	<i>Multi pólos</i>	
	<i>Com multiplicador</i>	
<i>Regulação de potência</i>	<i>Turbinas Stall (Controlo Passivo)</i>	
	<i>Pitch eléctrico (Controlo Activo)</i>	
	<i>Pitch hidráulico (Controlo Activo)</i>	
<i>Velocidade de rotação</i>	<i>Velocidade constante</i>	
	<i>Velocidade variável</i>	

4. Por favor, mencione os modelos e marcas de turbinas eólicas às quais, normalmente, efectua manutenção.

Por exemplo: GE 1.5s

--

NECESSIDADES DE FORMAÇÃO

5. Efectue uma breve descrição das formações frequentadas, durante o seu processo de qualificação como técnico qualificado de manutenção de turbinas eólicas.

Por exemplo "Quando entrei para a empresa, frequentei um curso interno de 30 horas sobre turbinas eólicas e sobreutilização de ferramentas e utensílios, frequentei também um curso de Higiene e Segurança no Trabalho de 16 horas, implementado por uma entidade especializada.

--

6. No conjunto de todas as actividades de **manutenção preventiva** desenvolvidas em turbinas eólicas, por favor, mencione aquelas que poderão ser leccionadas através deste tipo de ferramenta.

Dê uma prioridade a cada uma delas atendendo ao conteúdo prático que o curso e-Learning poderá ter. A escala é de 1 a 4; sendo 1 alta prioridade e 4 sem prioridade.

Tarefa/Actividade	Descrição	Frequência	Prioridade

7. No conjunto de todas as actividades de **manutenção predictiva** desenvolvidas em turbinas eólicas, por favor, mencione aquelas que poderão ser leccionadas através deste tipo de ferramenta.

Dê uma prioridade a cada uma delas atendendo ao conteúdo prático que o curso e-Learning poderá ter.

Tarefa/Actividade	Descrição	Frequência	Prioridade

8. No conjunto de todas as actividades de **manutenção correctiva** desenvolvidas em turbinas eólicas, por favor, mencione aquelas que poderão ser leccionadas através deste tipo de ferramenta.

Dê uma prioridade a cada uma delas atendendo ao conteúdo prático que o curso e-Learning poderá ter.

Tarefa/Actividade	Descrição	Frequência	Prioridade

9. No conjunto de todas as actividades relacionadas com segurança industrial e saúde e segurança no trabalho, por favor, mencione aquelas que poderão ser leccionadas através deste tipo de ferramenta. Dê uma prioridade a cada uma delas atendendo ao conteúdo prático que o curso e-Learning poderá ter.

Tarefa/Actividade	Descrição	Frequência	Prioridade

10. Para futuros técnicos da sua equipa de manutenção, indique as actividades de formação, pelas quais é responsável, que possam ser complementadas ou substituídas por esta ferramenta.

CONCLUSÕES

11. Por fim, com base na informação introduzida neste questionário, mencione, pelo menos, 3 actividades de maior utilidade, para si e para a sua empresa que poderiam ser leccionadas através desta ferramenta.

12. Atendendo às actividades mencionadas na questão 11, qual a duração que sugere para os respectivos cursos?

13. Comentários e sugestões

OBRIGADO PELA SUA COLABORAÇÃO!

ANEXO B: <Generic Wind Turbine Generator Preventive Maintenance>

GENERIC WIND TURBINE GENERATOR PREVENTIVE MAINTENANCE

4.1 – GENERIC WIND TURBINE

Both main wind turbine generator (WTG) configurations in the market, Multipole Generator WTG and Gearbox WTG were considered for the development of this Generic Wind Turbine Generator Preventive Maintenance guide.

Due to Gearbox WTG still being the predominant configuration and also the most complex from the Preventive Maintenance point of view, Gearbox WTG configuration has been chosen for the purpose of this guide.

As a guide to get a general understanding of the Preventive Maintenance tasks in this Generic WTG, as well as those specifically to WTGs related preventive tasks, five documents have been created:

- Generic Wind Turbine Preventive Maintenance Check List
- Blades Failures and Inspection
- Gear Failures and Inspection
- Tensioning
- Torque Tightening

4.2 – PREVENTIVE MAINTENANCE CHECK LIST

Associated to every preventive maintenance task there is always a record format known as check list.

A check list has two purposes: guide preventive maintenance technicians in tasks to be performed and serve as a recording medium for future reference.

In the Gearbox WTG configuration there are different subset minor configurations for each subset of the WTG. This check list has compiled the most common of them and, so, for some of the subsets you can find different options.

4.3 – BLADES FAILURES AND INSPECTION

The most characteristic subset of a wind turbine is the rotor. Wind turbine blades are unique components in the mechanical world.

We have compiled their typical failures and how they should be inspected in a reference work instruction.

This work instruction is to be used as the reference work instruction to inspect blades in search of failures during the performance of any other preventive maintenance check list as the Generic Wind Turbine Preventive Maintenance Check List.

4.4 – GEAR FAILURES AND INSPECTION

One common element to all wind turbines, although not as characteristic as the rotor, is gear. Wind turbines can have gears in the pitch, the power train and the yaw.

We have compiled their typical failures and how they should be inspected in a reference work instruction.

This work instruction is to be used as the reference work instruction to inspect gears in search of failures during the performance of any other preventive maintenance check list as the Generic Wind Turbine Preventive Maintenance Check List.

4.5 – TORQUE TIGHTENING

Wind turbines are a huge assembly of small pieces joined by bolts and nuts.

The traditional way of tightening properly a joint by means of a bolt and a nut is torque tightening it.

We have created a reference work instruction explaining how to achieve an accurate torque tightening in a wind turbine.

This work instruction is to be used as the reference work instruction to torque tightening during the performance of any other preventive maintenance check list as the Generic Wind Turbine Preventive Maintenance Check List.

4.6 – TENSIONING

Wind turbines are growing in size quickly and there is a new requirement for more accurately tightened joints.

The traditional way of tightening a joint is being replaced by tensioning.

We have created a reference work instruction explaining how to achieve an accurate tensioning in a wind turbine.

This work instruction is to be used as the reference work instruction to tensioning during the performance of any other preventive maintenance check list as the Generic Wind Turbine Preventive Maintenance Check List.

ANEXO C: <Wind Power Maintenance: Preventive Maintenance Check List>

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

Task Type	Preventive		Client	e-WindTech
Scope	Model	Generic	1st application	6 months
	Project	e-WindTech Wind Farms	Frequency	6 months

Site	Wind Turbine #	Work Instruction	Start Date
e-WindTech 1	e-WT1_1		

Work Order #	Technicians	End Date

Point	Description	✓/✗/Value
01. GENERAL TASKS		
01.01	Check for any possible noise and/or vibration. Check visually all the turbine parts.	
01.02	Check visually the power wiring condition, looking for any kind of abnormality in the assembly.	
02. SAFETY VERIFICATIONS		
02.01	Press emergency buttons one by one, each at a time, and check the turbine is in emergency status. Reset the turbine in manual mode.	
02.02	Write down wind speed in m/s (<20m/s).	
02.03	Write down the hydraulic unit temperature in °C.	
02.04	Write down the gearbox temperature in °C.	
02.05	Press one emergency button and check that the brake is applied with a delay of approximately 10s.	
02.06	Check visually that all the labels and the safety and prevention stickers are present.	
03. FUNCTIONS VERIFICATIONS		
SAFETY		
03.01	Press one of the emergency buttons. Check that the safety system is activated. Check visually that the high speed shaft brake is applied after 10s. Check safety system surveillance relay state. Check visually the physical state of the buttons.	
03.02	Check correct operation of Safety System Reset Button.	
YAW		
03.03	Put the turbine into yaw neutral position. In this position, observe if the marks made in the yaw bearing match and the power cables are twisted not more than ½ turn.	
03.04	Check correct operation of the absolute yaw position sensor.	
03.05	Check correct operation of the cable twisting sensor.	
REFRIGERATION		
03.06	Check correct operation of the lubrication and refrigeration pump and the frequency converter, verifying that the motor starts up and feedback is received in the controller.	

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

03.07	Check correct operation of the gearbox refrigeration fan motor, verifying that the motor starts up and feedback is received in the controller.	
03.08	Check correct operation of the generator refrigeration fan motors, verifying that the motors start up and feedback is received in the controller.	
PITCH		
03.09	Check correct pitch system speed. Move the blades to negative limit: speed must be $-7 \pm 0.1^\circ$. Move blades to positive limit: verify speed must be $+7 \pm 0.1^\circ$. If the speed isn't the indicated, adjust the control card.	
	For safety reasons next step must be done with all personnel at ground level.	
03.10	Make the rotor turn at 30% of nominal speed. Once the blades are moving to regulate speed, press ground emergency button and check: - Emergency pitch system speed $8 \pm 0.5^\circ/\text{s}$ - Angle difference among blades: less than 2° If any of these requirements is not fulfilled, adjust the speed blade.	
03.11	Apply a sinusoid set-point to the blades and check visually that they follow the sinusoid from 90° to 0° and back. Check that angle difference among blades is less than 1° .	
03.12	Take the blades to one end position and to the other end position. Check with the blade angle gauge that the difference between each of the three blades and the reference at system is within $\pm 0.2^\circ$.	
03.13	Operating the blade locking system. Press an emergency button and verify that the blade locks are centered in the hole and verify that the piston rods are properly threaded.	
OVER-SPEED CONTROL		
	For safety reasons next step must be done with all personnel at ground level.	
03.14	Generator electric over-speed test. Check the activation of the safety system when exceed the maximum revolutions allowed, seen on the operator screen.	
	For safety reasons next step must be done with all personnel at ground level.	
03.15	Generator mechanical over-speed test. Verify that the over-speed protection trips and activates the safety system.	
03.16	Rotor over-speed test. Verify that the alarm is triggered when exceed the maximum revolutions allowed, seen on the operator screen.	
04. FOUNDATION AND TOWER		
FOUNDATION		
04.01	Check visually for cracks in the upper part of the concrete ring.	
04.02	Check visually for gaps between the lower flange inside of the first section and the concrete ring. Check for rust in the foundation.	
04.03	Clean the foundation.	
TOWER		

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

04.04	Check visually for cracks or deformations in the lifeline turnbuckles.	
04.05	Check visually the lifeline cable for cracks, deformations or corrosion.	
04.06	Check both lifeline cable ends at the anchoring points for loosen loops. Check shackles state.	
04.07	Check state of lifeline cable guides on ladder. Check that the guides are properly placed and hold the cable in place.	
04.08	Check visually condition of the ladder sections union plates.	
04.09	Check visually ladder to tubular tower union plates for breakages, cracks or deformations. Check the torque of these unions' fasteners.	
04.10	Check that platform studs' protection cups are properly placed.	
04.11	General cleaning of platform and ring sections of the tower.	
04.12	Visual inspection of 100% of the studs fastening the foundation and 1st section flanges and check by tensioning tool 8 of them.	
04.13	Visual inspection of 100% of the bolts fastening the 1st section and 2nd section flanges and check by torque tool 8 of them.	
04.14	Visual inspection of 100% of the bolts fastening the 2nd section and 3rd section flanges and check by torque tool 8 of them.	
04.15	Check condition of power and control wiring in touch with the main frame or metallic pieces.	
04.16	Examine all the wires for possible damage and wear. Clean the wires if there is any grease on them.	
04.17	Check visually the state of the wiring attaching clamps.	
04.18	Check visually wires' protections state where they pass through the platforms.	
04.19	Check that all the grounding wires are properly tightened and that the connection is good.	
04.20	Loop status. Grease the pivot bolts with required grease. Check that the bolts are tightened. Check the loop movement.	
04.21	Check that the draining hose and the liquid collection trays are not obstructed.	
04.22	Empty and clean the liquid collection trays and containers.	

05. LIFT

CABLE TYPE LIFT

05.01	Check that the service platform is according to the supplier's manual.	
05.02	Check the pulley.	
05.03	Check the cable system.	
05.04	Check the cage.	
05.05	Check the electric unit.	

GEAR TYPE LIFT

05.06	Check the gear pinions, measuring the distance between the opposite flanges of two consecutive teeth.	
-------	---	--

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

05.07	Check the condition and wear of the lift rack of each tower section. Measure the distance between the opposite flanges of two consecutive teeth.	
05.08	Check visually the gear meshing clearance.	
05.09	Check for oil leaks.	
05.10	Collect an oil sample from the lift gearbox.	
05.11	Check the centrifugal brake behaviour, letting the lift fall around 4m with nominal load.	
05.12	Every 48 months. Review the brake blocks and springs. Check the centrifugal brake pads.	
05.13	Test the motor brake behaviour according to the procedure.	
05.14	Review the torque of the cage bolts.	
05.15	General review of deformations, wear and corrosion.	
05.16	Check the correct operation of the master switch, phase relays, inside/outside switch, switches of the upper and lower hatch, door proximity detector, safety tray switch, lift rack proximity detector.	
06. CONE, HUB & BLADE BEARING		
	Remember that there is a rotational hazard entering the cone and hub. Lock-out / Tag-out the rotor before entering.	
CONE		
06.01	Check the tightening torque of at least one of the bolts at every bolted joint between the nose cone support plates and the hub.	
06.02	Check for loose bolts in fiberglass connections.	
06.03	Check the nose cone for cracks in fiberglass around the bolt connections.	
06.04	Check each one of the lightning current transfer units for loose bolts.	
06.05	Check all parts on the lightning current transfer units for burns after lightning. Replace the metallic parts if they have larger damages.	
06.06	Check the gap between the pin - nacelle and the pin – blade in all lightning current transfer units.	
HUB		
06.07	Check 1 of every 10 bolts in blade bearing and hub joint.	
06.08	Check general condition of hub parts: hoses, cable conduits, cable supports and other elements. Check their union. If one of these elements unfastens when rotating, it could cause irreversible damage to the turbine. Check general cleanliness of the hub.	
06.09	Check defects absence on the hub inner surface area.	
BLADE BEARING		
06.10	Check visually the outer lip seals in order to detect possible leakages.	
06.11	Check visually the inner lip seals in order to detect possible leakages.	

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

06.12	Bearing lubrication: • Dismount the grease drain nipples caps. • Screw drainage bottles into the grease drain nipples. • Apply a sinusoid set-point to the blades in order to move the blades 0° - 90° - 0°. • Grease the bearings through the grease nipples. • Let the blades pitching 10-20 times after terminated greasing, and before dismounting the drainage bottles. • Mount the grease drain nipples caps.	
07. BLADES		
07.01	Check 1 of every 10 bolts in blade and blade bearing joint.	
07.02	Check the lightning conductor system as well as the blade surface in search of defects caused by lightning strikes. If you find superficial marks, clean them. If you find defects in the laminate of the blade, notify supervisor.	
EXTERNAL FIBERGLASS FROM CRANE		
07.03	Clean the drainage hole at the blade tip.	
07.04	Inspect the leading edge and the trailing edge for failures as described in Blades Failures and Inspection Instruction.	
07.05	Inspect the pressure and suction valves for failures as described in Blades Failures and Inspection Instruction.	
07.06	Check if there are defects caused by lightning in the visible parts of the lightning conductor system.	
07.07	Check that the visible parts of the lightning conductor system are properly positioned.	
07.08	Inspect the laminate between the blade root and the maximum chord station for failures as described in Blades Failures and Inspection Instruction.	
EXTERNAL FIBERGLASS FROM NACELLE COVER		
	Remember that there is a fall hazard on nacelle cover. Use adequate personal protective equipment.	
07.09	Inspect the area of the root cylinder for failures as described in Blades Failures and Inspection Instruction.	
07.10	Review that the sealing between the blade and the nose is intact.	
INTERNAL FIBERGLASS		
	Remember that there are a fall hazard and a trap hazard inside the blades. Use adequate personal protective equipment.	
07.11	Check the union between the ribs and the valves of the blade.	
07.12	Check the union of the platform to the blade and its correct laminate.	
07.13	Check for the possible existence of water in the blade, if the drainage hole was not checked.	
07.14	Inspect all the accessible area of the blade for failures as described in Blades Failures and Inspection Instruction.	

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

08. PITCH SYSTEM		
	Remember that there is a rotational hazard entering the cone and hub. Lock-out / Tag-out the rotor before entering.	
HYDRAULIC PITCH SYSTEM		
08.01	Check the torque of pitch plate to blade bearing bolts in each blade.	
08.02	Check the torque of spherical bearing to pitch plate bolts in each blade.	
08.03	Grease pitch spherical bearings. Rotate the blade slowly while greasing.	
08.04	Check the torque of pitch spherical bearing cover bolts in each blade.	
08.05	Check pistons' shaft expandable protection covers.	
08.06	Check the torque of piston shaft to spherical bearing union in each blade.	
08.07	Check the torque of hydraulic cylinder support bolts in each blade.	
08.08	Check the torque of anti-return block to cylinder bolts.	
08.09	Check blade position transducer connectors' condition.	
08.10	Check distribution block electrical connections and check oil leaks absence.	
08.11	Check the torque of manifold block to hub bolts.	
08.12	Check the torque of accumulator clamps to hub bolts.	
08.13	Check condition of accumulator clamps, unions and weldings.	
08.14	Check accumulator pressure transducers of each blade.	
08.15	Check the torque of blade locking cylinder to pitch plate union bolts.	
08.16	Check hydraulic connections of the distribution block and check oil leaks absence.	
08.17	Check the torque of distribution block to hub bolts.	
08.18	Check hoses for rubbing areas.	
08.19	Check junction box is isolated from moisture deterioration.	
08.20	Check junction box terminals condition.	
08.21	Check blade accumulators' nitrogen pressure.	
ELECTRIC PITCH SYSTEM		
08.22	Check motor encoder connections.	
08.23	Check pitch gears oil leaks absence.	
08.24	Measure pitch motor brushes height with a Vernier gauge. If the height of one is lower than the limit, all brushes shall be replaced.	
08.25	Check electric connectors correct connection and state.	
08.26	Check batteries state and voltage. If the voltage of one is lower than the limit, all batteries shall be replaced.	
08.27	Check batteries resistance. If the resistance of one is lower than the limit, all batteries shall be replaced.	
08.28	Check emergency phone line.	

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

08.29	Check the torque of pitch controller cabinet to hub bolts.	
08.30	Check the torque of pitch gears to hub bolts.	
08.31	Check rectifier connections.	
08.32	Inspect pitch gears and pinions for gear failures as described in Gear Failures and Inspection Instruction.	
08.33	Grease blade gears and pinions.	

09. HYDRAULIC SYSTEM

09.01	Check the torque of support plate to silent blocks bolts.	
09.02	Check support plate condition.	
09.03	Check the torque of silent blocks to main frame bolts.	
09.04	Check silent blocks rubber Condition.	
09.05	Check oil tank condition.	
09.06	Start up the hydraulic unit and let it make three cycles. Take a sample from the sample gauge (scraping first quarter of liter) in a special sample bottle. Put a label on the bottle with the sample data, wind farm name, wind turbine number and wind turbine operating hours.	
09.07	Check oil level.	
09.08	Change return filter.	
09.09	Change air filter.	
09.10	Check condition and leaks absence for hoses and hydraulic connectors.	
09.11	Review pressure limit valves setting values.	
09.12	Review pressure reduction valves setting values.	
09.13	Review pressure sensor switches set-point values.	
09.14	Check high speed shaft brake accumulator nitrogen pressure.	

HYDRAULIC PITCH AND YAW BRAKE SYSTEMS

09.15	Check the torque of general accumulator clamps to frame bolts.	
09.16	Check general accumulator nitrogen pressure.	
09.17	Check yaw brake accumulator nitrogen pressure.	

10. MAIN FRAME

10.01	Visual inspection of the main frame, looking for cracks or other defects.	
10.02	Visual inspection of main frame to secondary frame bolts.	
10.03	Check the torque of nacelle fibre to frames attachment bolts.	
10.04	Check the torque of top controller support to frame bolts.	
10.05	Check the torque of top controller to top controller support bolts.	
10.06	Visual inspection of nacelle cabin access steps bolts.	
10.07	Visual inspection of nacelle access ladder bolts.	
10.08	Check the torque of rotor inductive sensors support to frame bolts.	

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

10.09	Check the torque of rotor inductive sensors nuts.	
11. LOW SPEED SHAFT		
	Remember that there is a rotational hazard working in the low speed shaft. Use adequate personal protective equipment.	
11.01	Check the tension of hub to main shaft studs.	
11.02	Check the tension of bearing housings to main frame studs.	
	Listen for noise or vibrations in the bearing housing while the rotor rotates slowly.	
	Check the torque of seal retention plates bolts.	
	Bearings lubrication: • Dismount the grease drain nipples caps. • Screw drainage bottles into the grease drain nipples. • Let the rotor spin slowly while lubricating. • Grease the bearings through the grease nipples. • Mount the grease drain nipples caps.	
	Check locking pins for damages.	
	Lubricate pins through grease nipples at the end of the shafts. Pins must be fully extended before lubricating.	
	Check pins operation by locking and unlocking the low speed shaft.	
12. GEARBOX		
	Remember that there is a rotational hazard working in the gearbox. Use adequate personal protective equipment.	
12.01	Visual inspection of 100% of the bolts fastening gearbox silent blocks to main frame.	
12.02	Check visually the elastomeric material of the shock absorber. If there are cracks, elongations or signs of wear, replace it.	
12.03	Measure the distance between both shrink disc coupling rings.	
12.04	Check joints, seals and covers for leakages.	
12.05	Start up the turbine and let it run at nominal speed for three minutes. Take a sample from the sample gauge (scraping first quarter of liter) in a special sample bottle. Put a label on the bottle with the sample data, wind farm name, wind turbine number and wind turbine operating hours.	
12.06	Inspect gearbox internally for gear failures as described in Gear Failures and Inspection Instruction.	
12.07	Check that the upper cover seal of the gearbox is not damaged.	
12.08	Check gearbox oil level. If oil level is low, refill.	
	NOTE: • Wait for the gearbox to be stopped for at least ten minutes before checking oil level. • Oil level depends on the oil temperature.	
12.09	Check that air filter is clean of dust and oil. If it is dirty, change the filter.	

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

LUBRICATION AND COOLING SYSTEM		
12.10	Measure oil pressure drop in oil filter. If pressure drop is above 2.5 bars, change the filter. Check gearbox oil level after changing the filter.	
12.11	Check that lubrication system pressure switches are properly adjusted.	
12.12	Check oil pressure at the gearbox input.	
12.13	Check the torque of pump to support bolts.	
12.14	Check the torque of manifold block to gearbox bolts.	
12.15	Check that the intercooler is clean of dust. If not, it must be cleaned.	
12.16	Check that tarpaulin evacuation tube is correctly attached both to intercooler air outlet and to nacelle fiber.	
12.17	Check the torque of intercooler support to gearbox bolts.	
13. HIGH SPEED SHAFT COUPLING		
	Remember that there is a rotational hazard working in the high speed shaft coupling. Use adequate personal protective equipment.	
13.01	Measure brake pads thickness. If thickness is lower than 4 mm, change brake pads.	
13.02	Check the brake disc surface for cracks, damages and/or corrosion.	
13.03	Measure the thickness of the brake disc.	
13.04	Check that there are no leaks or cracks in any of the parts.	
13.05	Check the tightness of all the connectors and hoses of the circuit. If there are any loosen, re-tighten them.	
13.06	Check the torque of calliper bolts.	
	Locking the rotor is required to perform next task.	
13.07	Brake system bleeding: • Connect a hose to one of the bleeder screws on the caliper. • Put the other hose end in a bottle. • Open the bleeder screw slowly and bleed oil/air until pure oil comes out. • Tighten the bleeder screw again.	
13.08	Check generator and gearbox alignment.	
13.09	Check that the covers are correctly installed.	
COMPOSITE DISCS COUPLING		
13.10	Check the composite tube, the adhesive joint at both ends and both flanges for cracks.	
13.11	Check composite discs for circular cracks, radial cracks and de-lamination.	
13.12	Check all bolts torque.	
CONNECTING RODS COUPLING		
13.13	Check visually the coupling condition.	

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

13.14	Check torque for bolts and nuts fastening brake disc and flexible coupling front rods.	
13.15	Check torque for bolts and nuts fastening flexible coupling rear rods and generator shrink disc.	
13.16	Check torque for bolts and nuts fastening flexible coupling rods and coupling central part.	
13.17	Check generator shrink disc bolts torque.	
CARDAN COUPLING		
13.18	Visual Inspection.	
13.19	Check bearings in x-joints for wear.	
13.20	Check x-joints for leakages.	
13.21	Lubricate x-joints.	
13.22	Check coupling bolts torque in both ends.	
13.23	Extract x-joints grease sample.	
14. GENERATOR		
	Remember that there is a rotational hazard working in the generator. Use adequate personal protective equipment.	
14.01	Start up the wind turbine in order to listen for unusual noise at generator bearings.	
14.02	Lubricate the front generator bearing. Let the generator rotate slowly while lubricating.	
14.03	Lubricate the rear generator bearing. Let the generator rotate slowly while lubricating.	
14.04	Check if there are any cracks or flaws in the rubber of the generator silent blocks.	
14.05	Check the torque of silent blocks to main frame connection bolts.	
14.06	Check the torque of generator to silent blocks connection bolts.	
14.07	Check visually that the grounding braids of all generator legs are properly attached to generator and frame.	
14.08	Check the torque of encoder speed sensor to slip rings cabinet connection bolts.	
SLIP RINGS		
	• Disconnect generator circuit breakers and apply lock out / tag out to them. • Lock the rotor. • Wait 8 minutes for the residual energy to be dissipated before accessing the cabinet. • Check voltage absence with a voltmeter. • Verify that the heater and the fan are de-energized.	
14.09	Remove dust from the slip rings and the cabinet with a brush and a vacuum cleaner.	
14.10	Remove dust from insulators and cables with a cloth and non-flammable dielectric solvent.	

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

14.11	Measure brushes height with a Vernier gauge. It is important to measure the shortest length described by the radial shape of the slip rings. If the height of one is lower than the limit, all brushes shall be replaced.	
14.12	Check slip rings surface looking for deformations, chips, rust...	
14.13	Check slip rings refrigeration suction filter. If filter surface is covered with dust and dirt, replace or wash it.	
14.14	Check slip rings refrigeration outlet filter. If filter surface is covered with dust and dirt, replace or wash it.	
CABLES AND CONNECTORS		
	• Disconnect generator circuit breakers and apply lock out / tag out to them. • Lock the rotor. • Wait 8 minutes for the residual energy to be dissipated before accessing the cabinet. • Check voltage absence with a voltmeter. • Verify that the heater and the fan are de-energized.	
14.15	Check that cable connections are properly tightened in the generator rotor terminal box and that they are undamaged.	
14.16	Check that cable connections are properly tightened in the generator stator terminal box and that they are undamaged.	
14.17	Measure insulation resistance of stator windings with an insulation tester.	
14.18	Measure insulation resistance of rotor windings with an insulation tester.	
14.19	Check stator terminals torque.	
14.20	Check rotor terminals torque.	
REFRIGERATION SYSTEM		
14.21	Check visually the condition of the intercooler assembly.	
14.22	Dismount the fan and wash out the dirt from its blades. Mount it back.	
14.23	Check visually the condition of the blower casing.	
14.24	Check the torque of intercooler to generator connection bolts.	
15. YAW SYSTEM		
	Remember that there are a rotational hazard and a trap hazard working in the yaw system. Use adequate personal protective equipment.	
GENERAL		
15.01	Activate the AUTOMATIC YAW test and check possible yaw sliding, noise and vibrations of the yaw system.	
15.16	Lubricate yaw teeth with grease and a brush.	
15.02	Inspect yaw gear for gear failures as described in Gear Failures and Inspection Instruction.	
15.03	Inspect yaw pinions for gear failures as described in Gear Failures and Inspection Instruction.	
YAW MOTOR-GEARS		
15.04	Check 4 diagonally opposite bolts per gear fastening yaw gears to frame.	

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

15.05	Check the gear output shaft bearings clearance. Listen for noise or vibrations in the bearing when the nacelle is yawing. If it is suspected that there is wear in the bearings or in the output shaft, check it with a dial gauge.	
15.06	Check the lower seals for oil leakages.	
15.07	Check the oil level of the planetary gear and refill if necessary to the maximum level mark.	
15.08	Check visually that the wiring of the motors is properly connected and in good condition.	
15.09	Check the correct set-point of motors' overload relays.	
15.10	Check motor brakes operation. Force motor brake relays to unlock the yaw gears and verify that the brakes are unlocked by moving the motors manually with a wrench in one direction and the opposite.	
15.11	Check the condition of the electric brake, verifying absence of rust, dust and wear.	
15.12	Measure the gap between brake pads.	
15.13	Check the braking torque of the electric brakes by using a dynamometric wrench to try to move the motor brakes manually in one direction and the opposite.	
PASSIVE SLIDING SYSTEM		
15.14	Check 1 of every 3 yaw ring to tower connection bolts.	
15.15	Check 1 bolt of every yaw system claw.	
15.16	Check the bolts of the end-stops of the radial sliding plates.	
15.17	Lubricate the sliding plates. Do not lubricate in excess.	
15.18	Lubricate sliding surfaces of the yaw ring with a very thin grease layer and remove surplus grease.	
ACTIVE BEARING SYSTEM		
15.19	Visual inspection of 100% of the tower and yaw bearing studs.	
15.20	Visual inspection of 100% of the yaw bearing and main frame studs.	
15.21	Grease the yaw bearing.	
15.22	Check visually that the bearing seals are in good condition and in the correct position.	
HYDRAULIC BRAKE		
15.23	Check 2 diagonally opposite bolts of two of the actuator blocks, one located in the back of the nacelle and the other in the front	
15.24	Check the wear of the yaw brake pads, one from the back and one from the front.	
15.25	Check all the joints and all the parts of the yaw hydraulic circuit, verifying that there are no leaks or fissures. Check visually that the drainage circuit of the yaw brake pads is not full.	
15.26	Check the tightness of all the connectors and hoses of the circuit.	

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

15.27	Check visually the braking surface area. There must be no cracks, deep marks or rust present. Clean the braking surface area.	
15.28	Yaw brake pad grinding: • Clean the braking surface area. • Apply 20% of nominal braking pressure to the cylinders. • Yaw 2 turns clockwise and two counter clockwise. • Release pressure from the cylinders.	

16. NACELLE COVER

03.01	Check that all nacelle grounding braids are connected.	
03.0	Check the torque of all nacelle cover bolts and nuts.	
03.0	Check nacelle cover silicone sealing.	
03.0	Check for nacelle cover fibreglass cracks.	
03.0	Check noise insulation proper adherence to nacelle sides and check for noise insulation damages absence.	
	Remember that there is a fall hazard on nacelle cover. Use adequate personal protective equipment.	
03.0	Check the outer roof rails for cracks or damages absence. Check the nacelle cover fibreglass very carefully for cracks absence at the fastening points.	
03.0	Check the torque of outer roof rails to nacelle cover bolts.	
03.0	Check presence and state of emergency gear: first-aid kit, fire extinguisher, emergency rescue kit and emergency rescue eyebolt.	
03.0	Check state for rear door latch, safety bars and emergency rescue eyebolt.	
03.0	Check nacelle cover window state.	
03.0	Check aviation lights performance.	

17. WIND MEASUREMENT SYSTEM

	Remember that there is a fall hazard on nacelle cover. Use adequate personal protective equipment.	
17.01	Check the torque for anemometer and wind vane to support bolts.	
17.02	Check the torque for anemometer and vane support to nacelle cover bolts.	
17.03	Check anemometer and wind vane heating elements performance.	

18. HOIST

	Remember that there is a trap hazard working in the hoist. Use adequate personal protective equipment.	
18.01	Check the torque for hoist to nacelle cover bolts.	
18.02	Check full length of hoist chain for links deformation and worn absence.	
18.03	Check the hook for deformations and cracks absence.	
18.04	Check hoist brake correct operation.	
18.05	Check hoist emergency button.	

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

19. TOP CONTROLLER		
	Remember that there are energized parts inside the cabinet. Use electrical hazard personal protective equipment.	
19.01	Check the state of enclosures, locks, doors and handles.	
19.02	Check voltage fault indicators.	
19.03	Check wires not to be loosen, rubbing with sharp metal parts or creating hot spots.	
19.04	Clean air-extraction fan filters.	
19.05	Check fan blades condition.	
19.06	Check heating resistance operation.	
19.07	Check fans operation.	
19.08	Check thermostats set-points.	
19.09	Check power supply sources correct state.	
19.10	Check contactor and automatic circuit breaker terminals state.	
19.11	Check automatic circuit breakers set-points.	
20. GROUND CONTROLLER		
	Remember that there are energized parts inside the cabinet. Use electrical hazard personal protective equipment.	
20.01	Check the state of enclosures, locks, doors and handles.	
20.02	Check voltage fault indicators.	
20.03	Check wires not to be loosen, rubbing with sharp metal parts or creating hot spots.	
20.04	Clean air-extraction fan filters.	
20.05	Check fan blades condition.	
20.06	Check heating resistance operation.	
20.07	Check fans operation.	
20.08	Check thermostats set-points.	
20.09	Check power supply sources correct state.	
20.10	Check contactor and automatic circuit breaker terminals state.	
20.11	Check automatic circuit breakers set-points.	
Notes: _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____		

CHECK LIST

Wind Power Maintenance

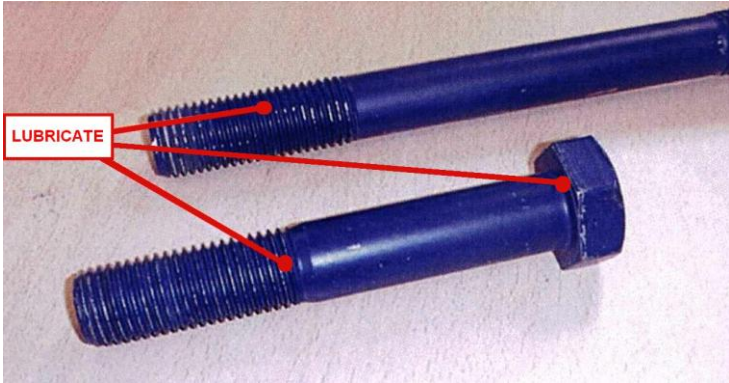
GENERIC WIND TURBINE PREVENTIVE MAINTENANCE

ANEXO D: <Wind Power Maintenance: Torque Tightening Instructions>

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

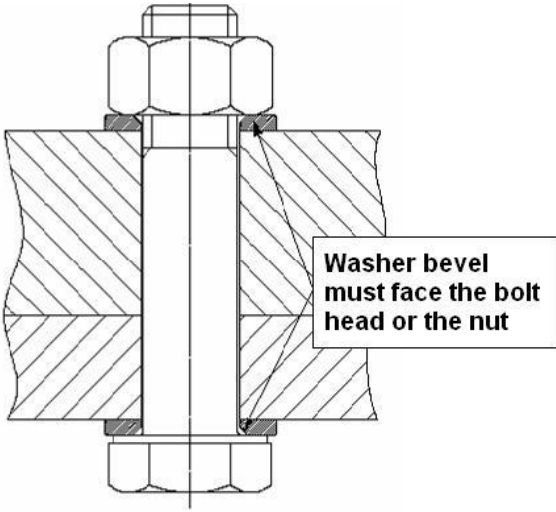
TORQUE TIGHTENING

Task Type	Mechanical		Client	e-WindTech
Scope	Model	Generic		
	Project	e-WindTech Wind Farms		
OBJECT				
Describing the process to achieve a pre-determined residual bolt stress.				
SCOPE				
The following torque tightening procedure is to tighten joints with both hydraulic and manual dynamometric wrenches and is specifically compiled for torque tightening of standard pressure containing flanged joints.				
SAFETY				
Prior to commencement of bolt torquing ensure that: • All necessary safety precautions have been carried out. • Personnel performing the task are certified and qualified in the use of bolt torque wrench and tightening techniques. • Personnel know the PPE required for the task and use it. • The torque values to be used are authorized by a responsible Engineer and available. • The joints to be torque tightened aren't under any force.				
GENERAL TIPS				
01. LUBRICATING				
01.01	To achieve a more accurate tightening value, lubrication of the bolt thread and the bolt head and the nut friction surfaces is required. 			
01.03	ISO 320 mineral oil must be applied with a brush or spray to achieve a homogeneous layer.			
02. ASSEMBLING				

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

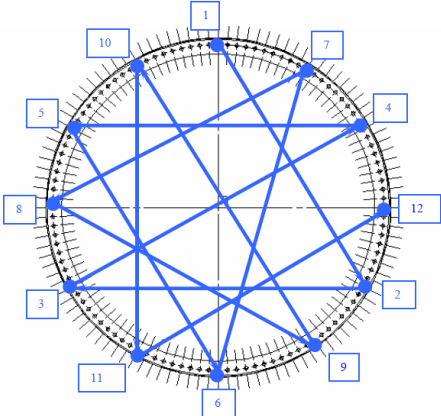
TORQUE TIGHTENING

02.01	The washer bevel must always face the bolt head or the nut.  Washer bevel must face the bolt head or the nut
02.02	The traceability marks of the nuts, washers and bolts have to be visible once tightened. 
03. TOOLS	
03.01	Commonly a dynamometric torque wrench, with or without an additional torque multiplier, is used for most torque tightening tasks. 

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

TORQUE TIGHTENING

03.02	For small spaces, big joints or time cost efficiency hydraulic wrenches are used. 
	To tighten a bolt and nut, apply torque to the head of the bolt and use a spanner to hold the nut, or vice versa.
04. SECUENCE (CIRCULAR JOINTS)	
04.01	As a general rule, unless indicated otherwise, will be torqued with a manual or hydraulic dynamometric torque wrench applied in a double-star pattern sequence. 
04.02	Torque 120° each bolt. When you have tightened one double-star, mark the twelve torqued bolts before torquing the next counterclockwise twelve.
04.03	Repeat 04.02 until all bolts are 120° torqued.
04.01	Starting at first bolt and continuing with double-star pattern sequence, apply twice per bolt 100% torque value.
04.02	Repeat 04.01 until all bolts are 100% torqued.
05. SECUENCE (OTHER JOINTS)	
05.01	The sequence to follow will be specifically defined for each type of joint.
TIGHTENING PROCESS	
01. STAGE 1	
01.01	Number each bolt 1, 2, 3, etc. according to the standard criteria for that type of joint.
02. STAGE 2	

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

TORQUE TIGHTENING

02.01	Place the dynamometric torque wrench or the hydraulic wrench over the first bolt to be torqued and introduce the nut completely into the socket. 
	It is very important, that the socket rest perfectly on the surface of one of the elements to be joined in its entire perimeter. Don't torque the bolt if this requirement is not fulfilled.
03. STAGE 3	
03.01	If you are using a hydraulic wrench, plug the pump to the wrench/s using the hoses provided by the supplier. Take special care that all connectors are clean and all connections are correctly made. 
	Never mix pump, wrenches, connectors or hoses from different suppliers.
04. STAGE 4	
04.01	If you are using a hydraulic wrench, calibrate the pump to the required torquing pressure. If you are using a dynamometric torque wrench, calibrate the wrench to the required torque.
05. STAGE 5	
05.01	If you are using a hydraulic wrench, apply pressure from the pump until reaching the torque required (previously set to this value). If you are using a dynamometric torque wrench, apply force to the wrench until reaching the torque required (previously set to this value).
05.02	If you are using a hydraulic wrench, remove pressure from the wrench. If you are using a dynamometric torque wrench, stop forcing the wrench.
05.03	Repeat steps 05.01 to 05.02 again.
06. STAGE 6	

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

TORQUE TIGHTENING

06.01	Change the dynamometric torque wrench or the hydraulic wrench to the following sequence position.
07. STAGE 7	
07.01	Repeat stages 5 and 6 as many times as needed.
LOOSENING PROCESS	
01. STAGE 1	
01.01	Number each bolt 1, 2, 3, etc. according to the standard criteria for that type of joint.
02. STAGE 2	
02.01	Place the dynamometric torque wrench or the hydraulic wrench over the first bolt to be loosened and introduce the nut completely into the socket.
	It is very important, that the socket rest perfectly on the surface of one of the elements to be joined in its entire perimeter. Don't torque the bolt if this requirement is not fulfilled.
03. STAGE 3	
03.01	If you are using a hydraulic wrench, plug the pump to the wrench/s using the hoses provided by the supplier. Take special care that all connectors are clean and all connections are correctly made.
	Never mix pump, wrenches, connectors or hoses from different suppliers.
04. STAGE 4	
04.01	If you are using a hydraulic wrench, calibrate the pump to the required torquing pressure. If you are using a dynamometric torque wrench, calibrate the wrench to the required torque.
05. STAGE 5	
05.01	If you are using a hydraulic wrench, apply pressure from the pump until reaching the torque required to loosen the nut (previously set to this value). If you are using a dynamometric torque wrench, apply force to the wrench until reaching the torque required to loosen the nut (previously set to this value).
05.02	Loosen the nut as many degrees as required.
05.03	If you are using a hydraulic wrench, remove pressure from the wrench. If you are using a dynamometric torque wrench, stop forcing the wrench.
06. STAGE 6	
06.01	Change the dynamometric torque wrench or the hydraulic wrench to the following sequence position.
07. STAGE 7	
07.01	Repeat stages 5 and 6 as many times as needed.
08. STAGE 8	
07.01	After a loosening process, a tightening process is required.
	Loosening process does not guarantee an accurate and homogeneous torque for the whole joint.

ANEXO E: <Wind Power Maintenance: Tensioning Instructions>

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

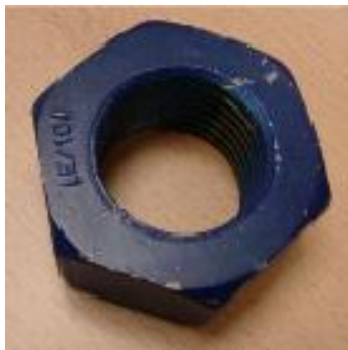
TENSIONING

Task Type	Mechanical		Client	e-WindTech
Scope	Model	Generic		
	Project	e-WindTech Wind Farms		
OBJECT				
Describing the process to accurately achieve a pre-determined residual bolt stress.				
SCOPE				
The following tensioning procedure is only for use with Hydraulic Bolt Tensioners and is specifically compiled for tension tightening of standard pressure containing flanged joints.				
SAFETY				
Prior to commencement of bolt tensioning ensure that: - All necessary safety precautions have been carried out. - Personnel performing the task are certified and qualified in the use of bolt tensioners and tightening techniques. - Personnel know the PPE required for the task and use it. - The tension values to be used are authorized by a responsible Engineer and available. - The joints to be tensioned aren't under any force.				
GENERAL TIPS				
01. TENSION VALUES				
Every time you are going to perform a tensioning task you will have:				
01.01	Bolts of a specific metrics that have to be tensioned by a specific force (kN). 			
01.02	Two flanges to be tightened by the bolt. If the material of one is different of the other's, they won't dilate equally under different ambient temperatures. In that case, a force by ambient temperature correction chart is required to tension that joint.			

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

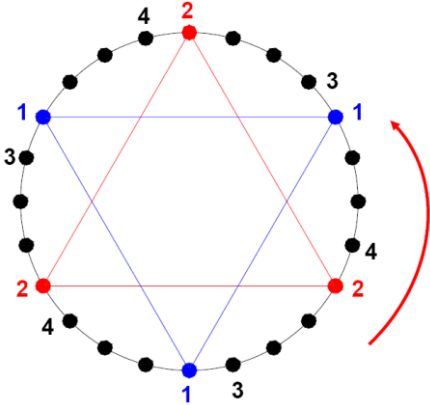
TENSIONING

01.03	Tensioning cylinders that, to tension the bolts with the required force, need a specific hydraulic pressure (bar). The pressure-force conversion chart is provided by the tensioning cylinder manufacturer. 
01.04	A hydraulic pump that supplies the pressure required by the tensioning cylinders (bar). 
02. PREPARATION	
Before starting the tensioning operation, remember:	
02.01	Both surfaces to be tightened must be perfectly clean. Eliminate dirtiness with solvent.
02.02	Square up the flanged joint before starting this procedure. To do so, tighten the nuts with a spanner, until a 0.1mm shim cannot fit between the two surfaces. Do not tension the bolts if you cannot achieve this.
	Don't tension the bolts if the requirement in previous point is not fulfilled.
02.03	The number of tensioning cylinders to be used will depend on the type of joint and will be specifically indicated for every application.
02.04	Always mount the nuts with the traceability marks visible. 

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

TENSIONING

02.05	The bolt length that must be screwed into the tensioning cylinder is equal to the bolt's diameter. For this reason, always leave this amount of thread above the nut, with a tolerance of $\pm 2\text{mm}$.
02.06	A bolt must not be completely screwed into the hole. If this happens, unscrew it half a turn.
	Don't tension the bolt if the requirements in previous two points are not fulfilled.
03. SEQUENCE (CIRCULAR JOINTS)	
03.01	As a general rule, unless indicated otherwise, will be tensioned with three tensioning cylinders applied in a star pattern sequence. 
03.02	Tension twice each bolt. When you have tightened twice one star, mark the six tensioned bolts before tensioning the next counterclockwise six.
03.03	Repeat 03.02 until all bolts are tensioned.
04. SEQUENCE (OTHER JOINTS)	
04.01	The sequence to follow will be specifically defined for each type of joint.
TIGHTENING PROCESS	
01. STAGE 1	
01.01	Number each bolt 1, 2, 3, etc. according to the standard criteria for that type of joint.
02. STAGE 2	
02.01	Screw the tensioning cylinder/s into the bolt/s, ensuring that the nut goes into the socket and that the tensioning cylinder is supported along its perimeter on one of the elements to be joined. 

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

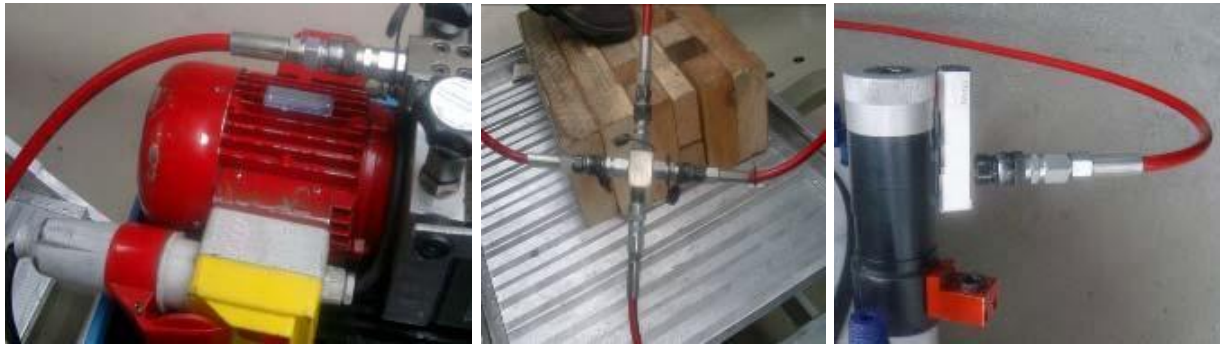
TENSIONING

	It is very important, that the tensioning cylinder rest perfectly on the surface of one of the elements to be joined in its entire perimeter. Don't tension the bolt if this requirement is not fulfilled.
03. STAGE 3	
03.01	Plug the pump to the tensioning cylinder/s using the hoses provided by the supplier. Take special care that all connectors are clean and all connections are correctly made. 
	Never mix pump, tensioning cylinders, connectors or hoses from different suppliers.
04. STAGE 4	
04.01	Calibrate the pump to the required tensioning pressure.
05. STAGE 5	
	Never stay in the direction of tensioning force, nor closer than 60 cm to the hoses, when the bolt is being tensioned.
05.01	Apply pressure from the pump until reaching the force required (previously set to this value).
05.02	Stop the pump and do not release pressure. Tighten the nut by rotating the socket with a spanner. 
05.03	Remove pressure from the tensioning cylinder (open the stop valve), depressurize the cylinder and allow the piston to return to its end position.
05.04	Wait until the piston has reached its end position before uncoupling the hose or unscrewing the bolt tensioning cylinder.
05.05	Repeat steps 05.01 to 05.03 again.
06. STAGE 6	
06.01	Change the tensioning cylinder/s to the following sequence position.

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

TENSIONING

07. STAGE 7	
07.01	Repeat stages 5 and 6 as many times as needed.
LOOSENING PROCESS	
01. STAGE 1	
01.01	Number each bolt 1, 2, 3, etc. according to the standard criteria for that type of joint.
02. STAGE 2	
02.01	Screw the tensioning cylinder into the bolt until there is a gap of 2-3 mm between the cylinder and the support surface (applies to bolts up to 1000 mm in length). Check the penetration depth through the hole in the change bushing.
02.02	Check that the bolt length that is screwed into the tensioning cylinder is equal to the bolt's diameter with a tolerance of ± 2 mm.
02.03	A bolt must not be completely screwed into the hole. If this happens, unscrew it half a turn.
	Don't tension the bolt if the requirements in previous two points are not fulfilled.
03. STAGE 3	
03.01	Plug the pump to the tensioning cylinder/s using the hoses provided by the supplier. Take special care that all connectors are clean and all connections are correctly made. 
	Never mix pump, tensioning cylinders, connectors or hoses from different suppliers.
04. STAGE 4	
04.01	Calibrate the pump to the required tensioning pressure.
05. STAGE 5	
	Never stay in the direction of tensioning force, nor closer than 60 cm to the hoses, when the bolt is being tensioned.
05.01	Apply pressure from the pump until reaching the force required to loosen the nut (previously set to this value).

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

TENSIONING

05.02	Stop the pump and do not release pressure. Loosen the nut by rotating the socket with a spanner. Unscrew the nut on the pressurized joint approximately 2-3 mm away from the support surface (applies to bolts up to 1000 mm in length). Observe the turning of the nut through the observation groove. 
05.03	Remove pressure from the tensioning cylinder (open the stop valve), depressurize the cylinder and allow the piston to return to its end position.
05.04	Wait until the piston has reached its end position before uncoupling the hose or unscrewing the bolt tensioning cylinder.
06. STAGE 6	
06.01	Change the tensioning cylinder/s to the following sequence position.
07. STAGE 7	
07.01	Repeat stages 5 and 6 as many times as needed.
08. STAGE 8	
07.01	After a loosening process, a tightening process is required.
	Loosening process does not guarantee an accurate and homogeneous tensioning for the whole joint.

ANEXO F: <Wind Power Maintenance: Gears Failures and Inspection>

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

GEAR FAILURES AND INSPECTION

Task Type	Mechanical		Client	e-WindTech
Scope	Model	Generic		
	Project	e-WindTech Wind Farms		

OBJECT

Describing the process to perform a good inspection of gears and identify failures.

SCOPE

The following inspection procedure is to inspect gears in every subset of a windturbine.

SAFETY

Prior to commencement of gear inspection ensure that:

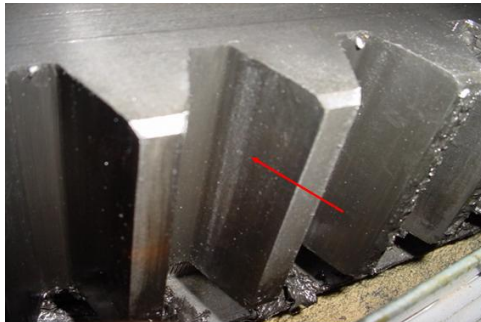
- All necessary safety precautions have been carried out.
- Personnel performing the task are certified and qualified in the inspection of rotary parts.
- Personnel know the PPE required for the task and use it.
- The rotary parts lock-out/tag-out procedures to be used are authorized by a responsible Engineer and available.

GREASE LUBRICATED GEARS FAILURES

01. WEARING

01.01

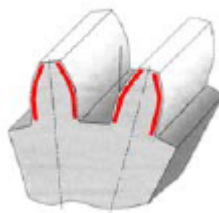
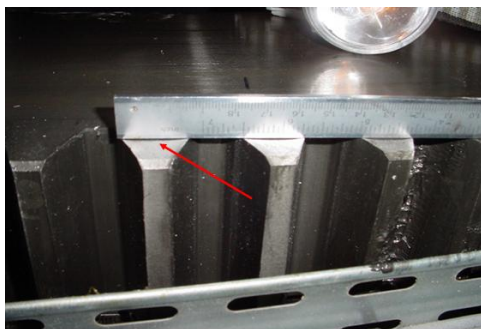
Gear teeth flank erosion:



02. MATERIAL DISPLACEMENT

02.01

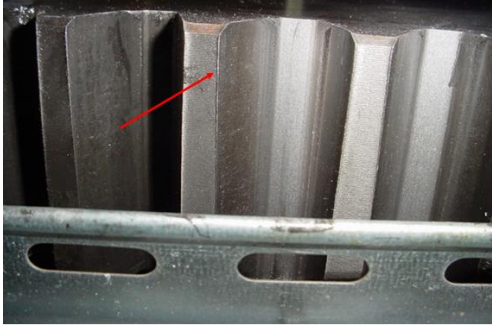
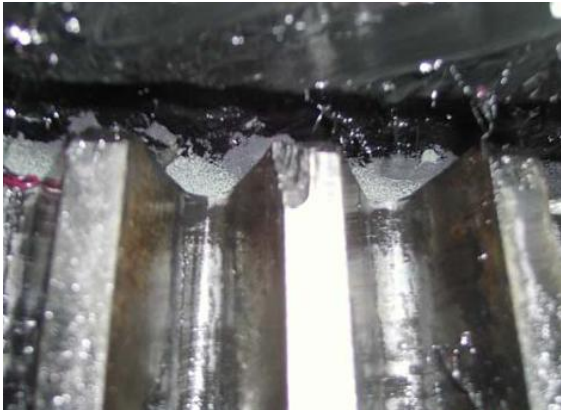
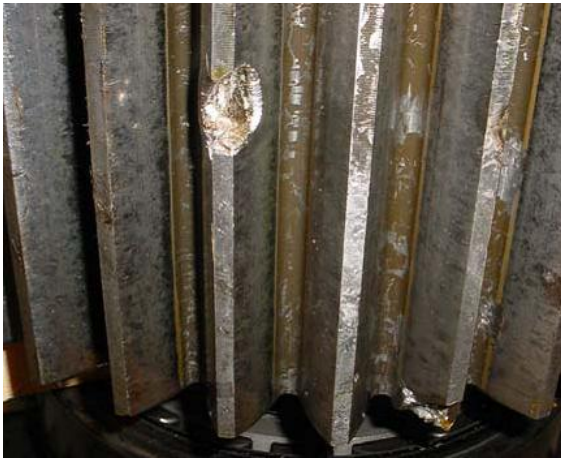
Gear teeth plastic deformation to the sides of the gear:



INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

GEAR FAILURES AND INSPECTION

02.02	Gear teeth material drag from teeth flank to crest:  
03. BROKEN TEETH	
03.01	Gear teeth or part of the gear teeth broken or cracked: 
OIL LUBRICATED GEARS FAILURES	
01. BROKEN TEETH	
01.01	Gear teeth or part of the gear teeth broken or cracked:  

INSTRUCTION

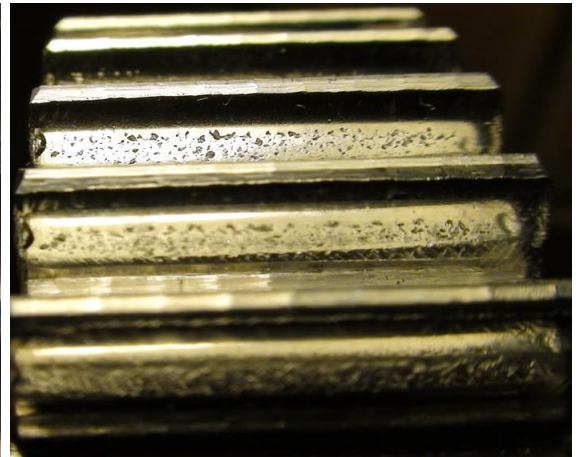
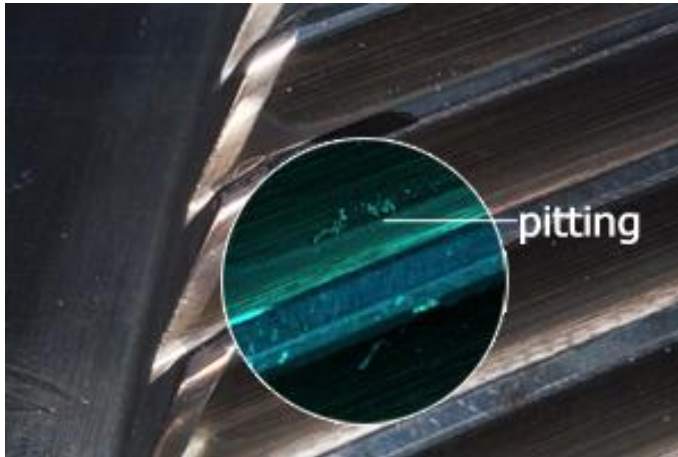
Wind Power Maintenance

GEAR FAILURES AND INSPECTION

02. PITTING

02.01

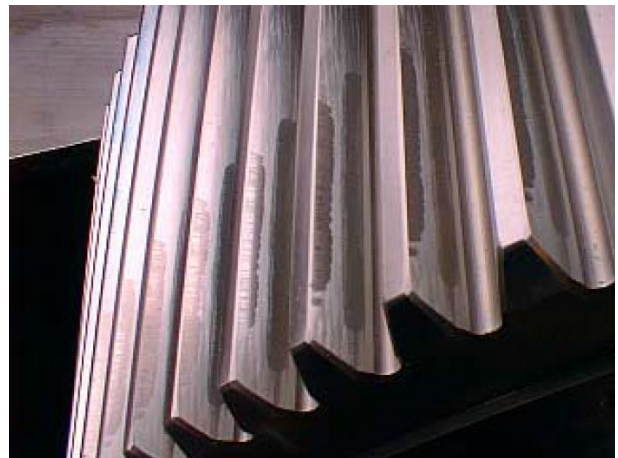
Surface fatigue phenomenon. Pits are typically on the order of 0.5 to 1.0 mm in diameter and are large enough to be seen by the unaided eye.



03. SCUFFING

03.01

Damage to a tooth surface due to welding and tearing of the tooth surface by the flank of the mating tooth. It is characterized as radial scratch lines.

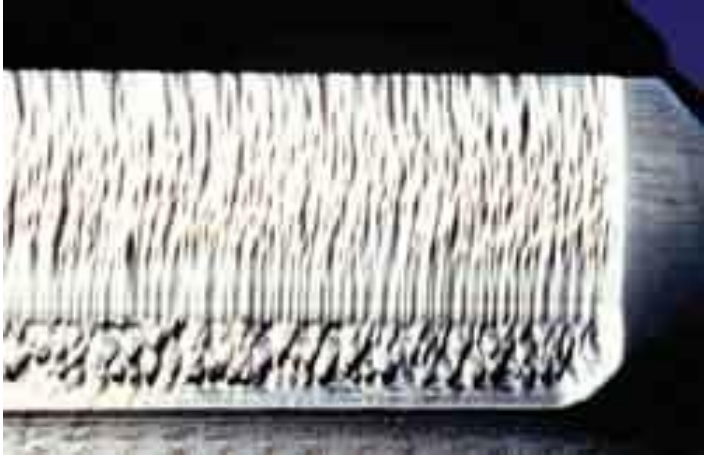
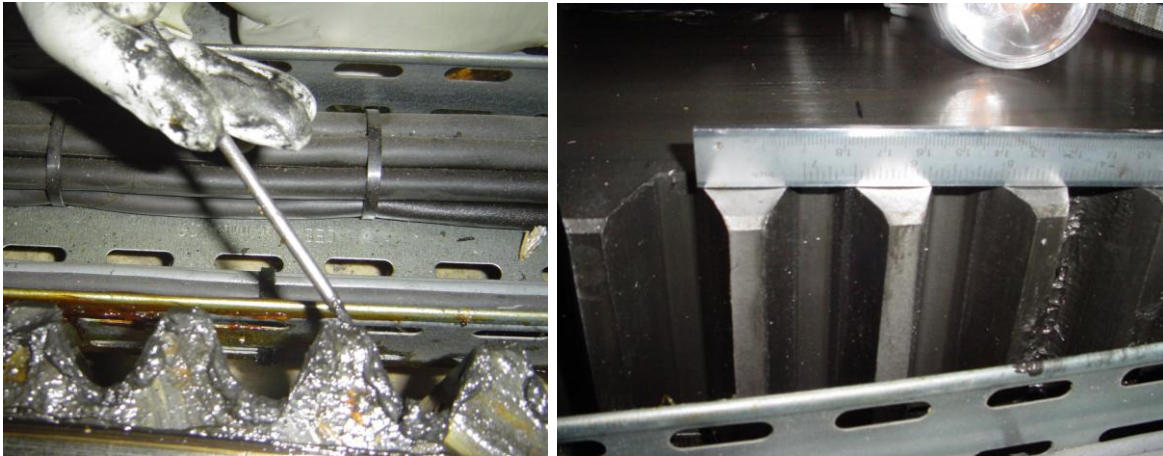


04. WEAR

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

GEAR FAILURES AND INSPECTION

04.01	Removal or displacement of metal from gear tooth surfaces. Damage due to scuffing or pitting is not normally considered wear. Wear reduces tooth thickness and can change the contour of the teeth. 
GREASE LUBRICATED GEARS INSPECTION	
01. TOOLS REQUIRED	
01.01	• Cleaning clothes • Solvent • Portable lamp • Steel needle or awl • Ruler or level plate
02. INSPECTION	
02.01	Make sure the gear is stopped and locked to avoid unexpected movement during inspection.
	A gear not stopped and locked involves a trapping hazard. Don't execute the inspection if this requirement is not fulfilled.
02.02	Clean the gear teeth with clothes impregnated in solvent.
02.03	Check wearing, material displacement and broken teeth absence using the steel needle to palpate the potential areas and the ruler to check for deformations. 

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

GEAR FAILURES AND INSPECTION

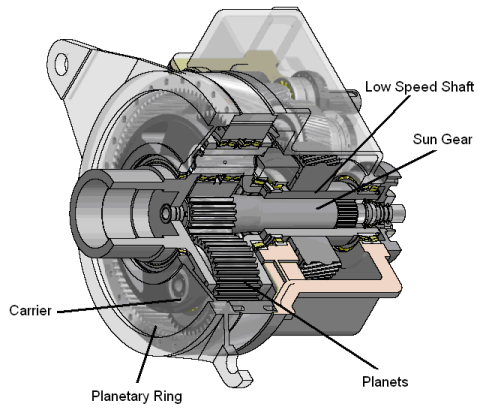
OIL LUBRICATED GEARS INSPECTION	
01. TOOLS REQUIRED	
01.01	• Portable lamp • Steel needle • Ruler or level plate • Mirror, endoscope or videoscope
02. INSPECTION	
02.01	Make sure the gear is stopped and locked to avoid unexpected movement during inspection.
	A gear not stopped and locked involves a trapping hazard. Don't execute the inspection if this requirement is not fulfilled.
02.02	Tie all tools with lines to avoid dropping them accidentally.
02.03	Check wearing, material displacement and broken teeth absence with steel needle, ruler and portable lamp help.
	Oil bubbles can be interpreted as pits or cracks. Change visual angle to make sure.

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

GEAR FAILURES AND INSPECTION

Inaccessible gears, as planet and sun gears in a planetary gearbox, would require the use of a mirror, an endoscope or a videoscope to be inspected.



02.04

Example of videoscope:



Using an endoscope or a videoscope, never forget that images are bigger than reality.

ANEXO G: <Wind Power Maintenance: Blade Failures and Inspection>

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

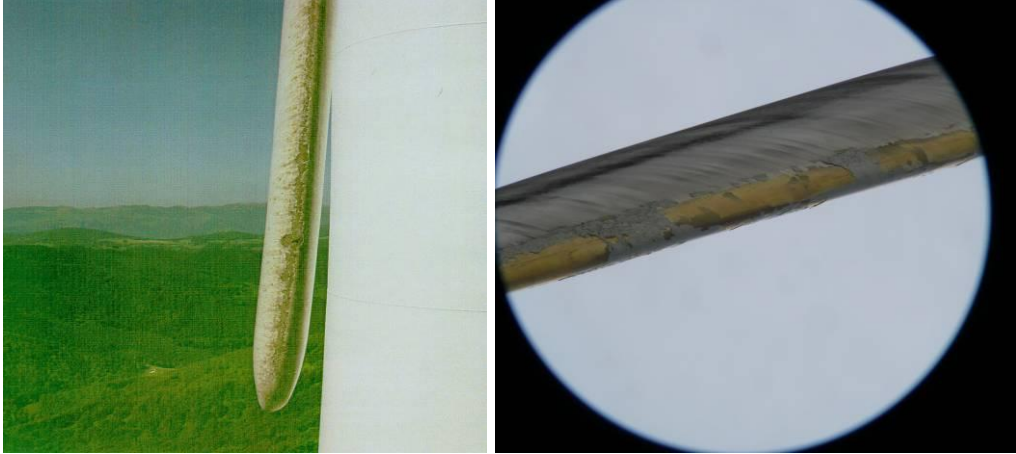
BLADES FAILURES AND INSPECTION

Task Type	Mechanical		Client	e-WindTech
Scope	Model	Generic		
	Project	e-WindTech Wind Farms		
OBJECT				
Describing the process to perform a good inspection of blades and identify failures.				
SCOPE				
The following inspection procedure is to inspect blades in a wind turbine.				
SAFETY				
Prior to commencement of blades inspection ensure that: • All necessary safety precautions have been carried out. • Personnel performing the task are certified and qualified in the inspection of rotary and height-hazard parts. • Personnel know the PPE required for the task and use it. • The rotary parts lock-out/tag-out procedures to be used are authorized by a responsible Engineer and available. • The height-hazard parts safety procedures to be used are authorized by a responsible Engineer and available.				
EXTERNAL BLADE FAILURES				
01. LEADING EDGE				
01.01	Cracks:			
				

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

BLADES FAILURES AND INSPECTION

01.02	Erosion: 
01.03	Pitting: 
01.04	Chips: 

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

BLADES FAILURES AND INSPECTION

01.05	Breakages: 
02. TRAILING EDGE	
02.01	Cracks: 
02.02	Unstuck valves: 

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

BLADES FAILURES AND INSPECTION

02.03	Erosion: 
02.04	Pitting: 
02.05	Breakages: 
03. VALVES	

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

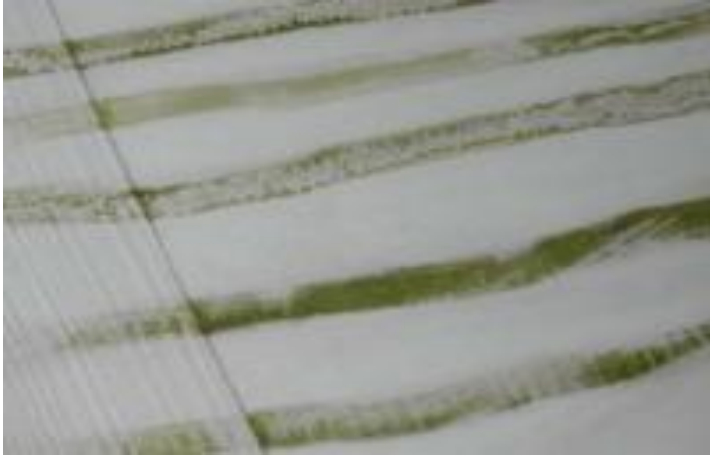
BLADES FAILURES AND INSPECTION

03.01	Cracks:  
03.02	Chips: 
03.03	Dirtiness:  

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

BLADES FAILURES AND INSPECTION

03.04	Mould: 
04. TIP	
04.01	Lightning Strike: 
04.02	Split Tip: 
05. ROOT	

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

BLADES FAILURES AND INSPECTION

05.01	Cracks: 
-------	---

INTERNAL BLADE FAILURES

01. LAMINATES

01.01	Loosen fibres: 
-------	--

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

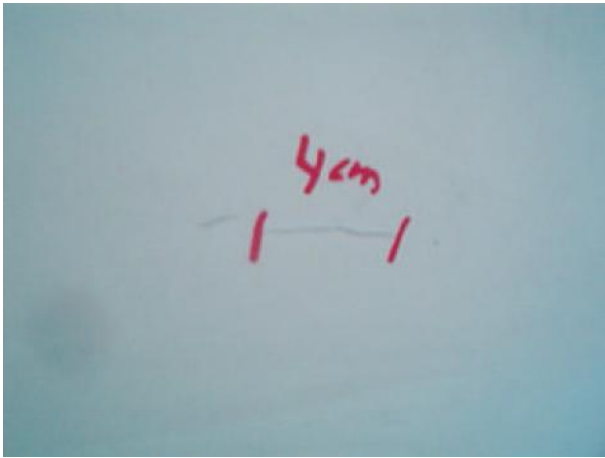
BLADES FAILURES AND INSPECTION

01.02	Air bubbles: 
01.03	Wrinkles and folds: 
EXTERNAL BLADE INSPECTION WITH PLATFORM	
01. TOOLS REQUIRED	
01.01	• Platform basket lift • Cleaning clothes • Gel coat cleaner • Wood hammer • Permanent ink felt-tip pen
02. INSPECTION	

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

BLADES FAILURES AND INSPECTION

02.01	Lock the rotor with a blade downwards
	A rotor not stopped and locked involves a rotational hazard. Don't execute the inspection if this requirement is not fulfilled.
02.02	Move the platform basket lift up and down along the vertical blade on both valve sides.
02.03	Check visually for failures.
02.04	Clean dirtiness with clothes and cleaner in suspicious areas.
02.05	Use wood hammer to look by noise for bubbles, cracks or unstuck areas.
02.06	Mark the failures with a permanent ink felt-tip pen for future inspections records or corrective maintenance team guidance. 
	Always put the basket down to the ground before moving the rotor to change the blade to inspect.

EXTERNAL BLADE INSPECTION WITH TELESCOPE

01. TOOLS REQUIRED

- | | |
|-------|--|
| 01.01 | <ul style="list-style-type: none">• Telescope• Tripod |
|-------|--|

02. INSPECTION

02.01	Stop the rotor with a blade downwards
02.02	Place the telescope on the tripod in a position allowing us to check the full length of a valve and one of the edges.
02.03	Move the telescope up and down along the blade and the edge.
02.04	Check the other two blades.
02.05	Shift the telescope position to one allowing us to check the full length of the opposite valve and the other edge.
02.06	Move the telescope up and down along the blade and the edge.
02.07	Check the other two blades.

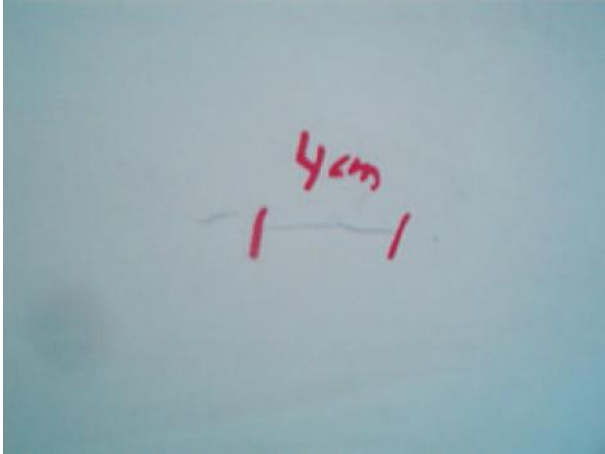
INTERNAL BLADE INSPECTION

01. TOOLS REQUIRED

INSTRUCTION

Wind Power Maintenance

BLADES FAILURES AND INSPECTION

01.01	• Portable lamp • Wood hammer • Permanent ink felt-tip pen
02. INSPECTION	
02.01	Lock the rotor with a blade horizontal.
	A rotor not stopped and locked involves a rotational hazard. Don't execute the inspection if this requirement is not fulfilled.
02.02	Check visually the horizontal blade interior for failures.
02.03	Use wood hammer to look by noise for bubbles, cracks or unstuck areas.
02.04	Mark the failures with a permanent ink felt-tip pen for future inspections records or corrective maintenance team guidance. 
	Always get out of the hub before moving the rotor to change the blade to inspect.