



AVALIAÇÃO DE CONDIÇÃO DAS ESTRUTURAS COMO AUXILIAR DE DECISÃO



Vida de projecto

Os primeiros parques eólicos foram instalados nos países pioneiros, como é o caso de Portugal, na segunda metade da década de 90 e, portanto, alguns estão a **alcançar o tempo de vida de projecto**, ou seja, em geral 20 anos de operação.



Vida útil remanescente

A extensão da vida é uma opção desejável para assegurar uma utilização sustentável das energias renováveis e a rentabilidade dos projectos e atraente sob o ponto de vista económico, tendo em conta o elevado custo do investimento em novos parques, no entanto a sua viabilidade depende da **eliminação das incertezas em torno da integridade, segurança e produtividade da vida útil remanescente**, principalmente das estruturas.



Tempo de vida operacional

Se as cargas e pressupostos assumidos no projecto não forem atingidos durante o tempo de vida de projecto, então o tempo de vida máximo admissível será superior ao tempo de vida do projecto e a extensão da vida do gerador será possível





Produtividade e segurança

Um dos principais factores que influenciam na decisão prende-se com a viabilidade do **prolongamento da vida útil em condições de produtividade e segurança.**



Componentes estruturais

Para a verificação da extensão de vida dos geradores eólicos é decisiva a **avaliação de todos os componentes relevantes para a resistência e estabilidade** do gerador, em especial os componentes estruturais que transfiram cargas (torre, fundações, estrutura da “nacelle”, pás, etc)., bem como os sistemas de segurança e controlo.



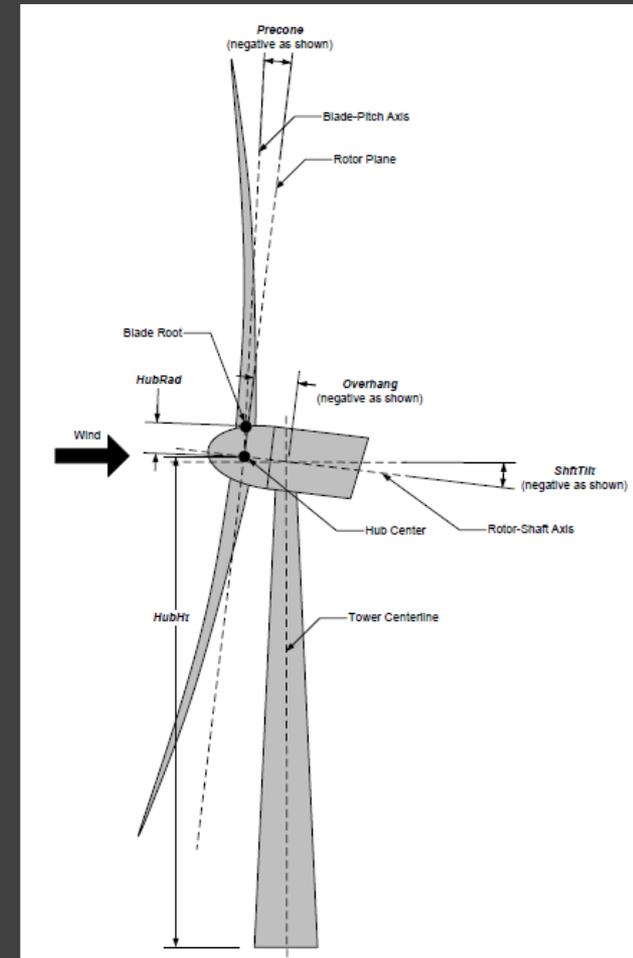
Metodologia

A avaliação da **vida restante** de equipamentos industriais, para além do tempo de vida de projecto, tem sido utilizada pelo ISQ para os produtores de energia, nas últimas três décadas, nomeadamente em componentes de centrais térmicas de produção de electricidade, que sofrem degradação por corrosão, **fadiga** e fluência, função do tempo e das condições de operação. A **metodologia** utilizada baseia-se na conjugação e interação dum **abordagem analítica** com uma **abordagem prática** de inspecção e ensaios.



Abordagem analítica

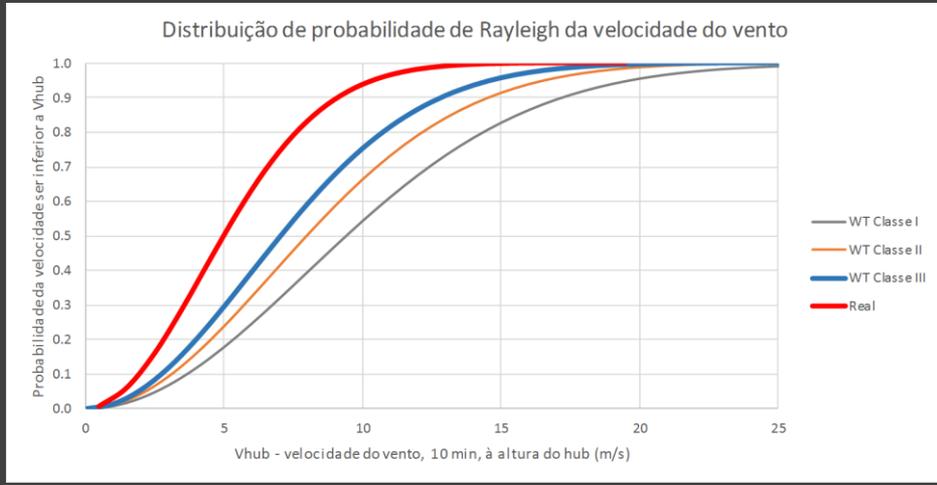
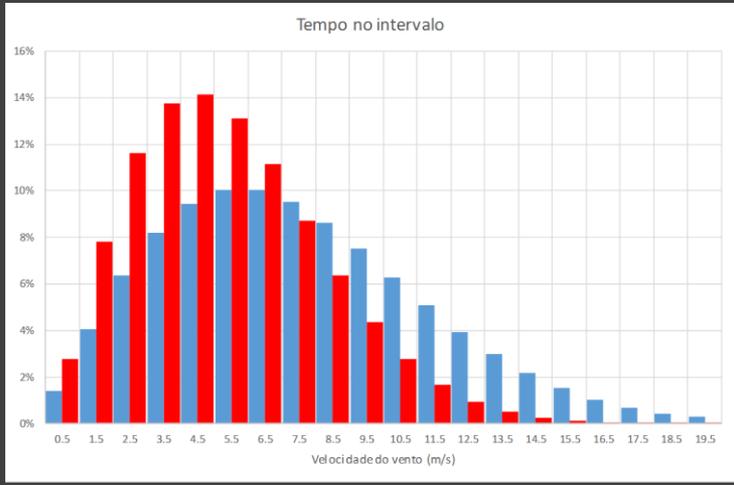
A abordagem analítica visa a determinação do dano actual por fadiga dos componentes principais da turbina eólica e a avaliação da vida restante com base nas condições reais de operação, bem como a definição de componentes e zonas críticas que permitam o estabelecimento de um plano de inspecção adequado e optimizado.



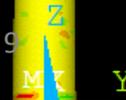
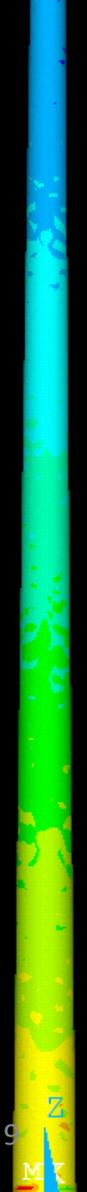


Abordagem analítica

O tipo de abordagem analítica a aplicar está dependente da disponibilidade dos **dados reais locais de operação** e do detalhe da **documentação original de projecto**.



Distribuição de probabilidade de Rayleigh da velocidade do vento





Abordagem analítica

Com base nos dados reais locais de operação o dano de fadiga dos principais componentes estruturais (torre, “nacelle”, “hub”, pás) será estimado usando um cálculo do dano de fadiga pela regra de Miner. O dano acumulado durante toda a vida útil do componente de uma turbina deve ser menor ou igual a 1.

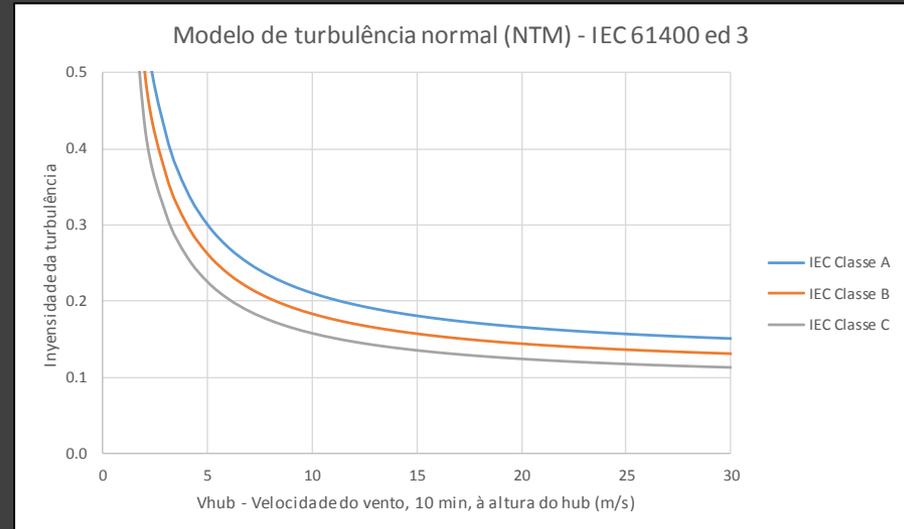
O cálculo do dano por fadiga considerará as amplitudes de tensão e o número de ciclos. Às amplitudes de tensão serão aplicados os coeficientes parciais de segurança (carga, material e consequência de falha) para avaliar o dano de fadiga acumulado.

<p>Contagem de ciclos (por exemplo, método do reservatório)</p>	
<p>Espectro de intervalo de tensões</p>	
<p>Ciclos até à rotura</p>	
<p>Dano acumulado (regra de Palmgren-Miner)</p>	$\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \frac{n_4}{N_4} \leq D_L$



Abordagem analítica

O dano por fadiga de cada componente também poderá ser avaliado em termos de uma **amplitude de carga constante equivalente** (S), que após um determinado número de ciclos (n), cause um dano acumulado equivalente ao provocado pelas series temporais de amplitude variável (S_i, n_i). A avaliação faz-se comparando a amplitude de carga constante equivalente para as condições e tempo de vida de **projecto** com a amplitude de carga constante equivalente para as **condições reais de operação** e tempo de operação pretendido.

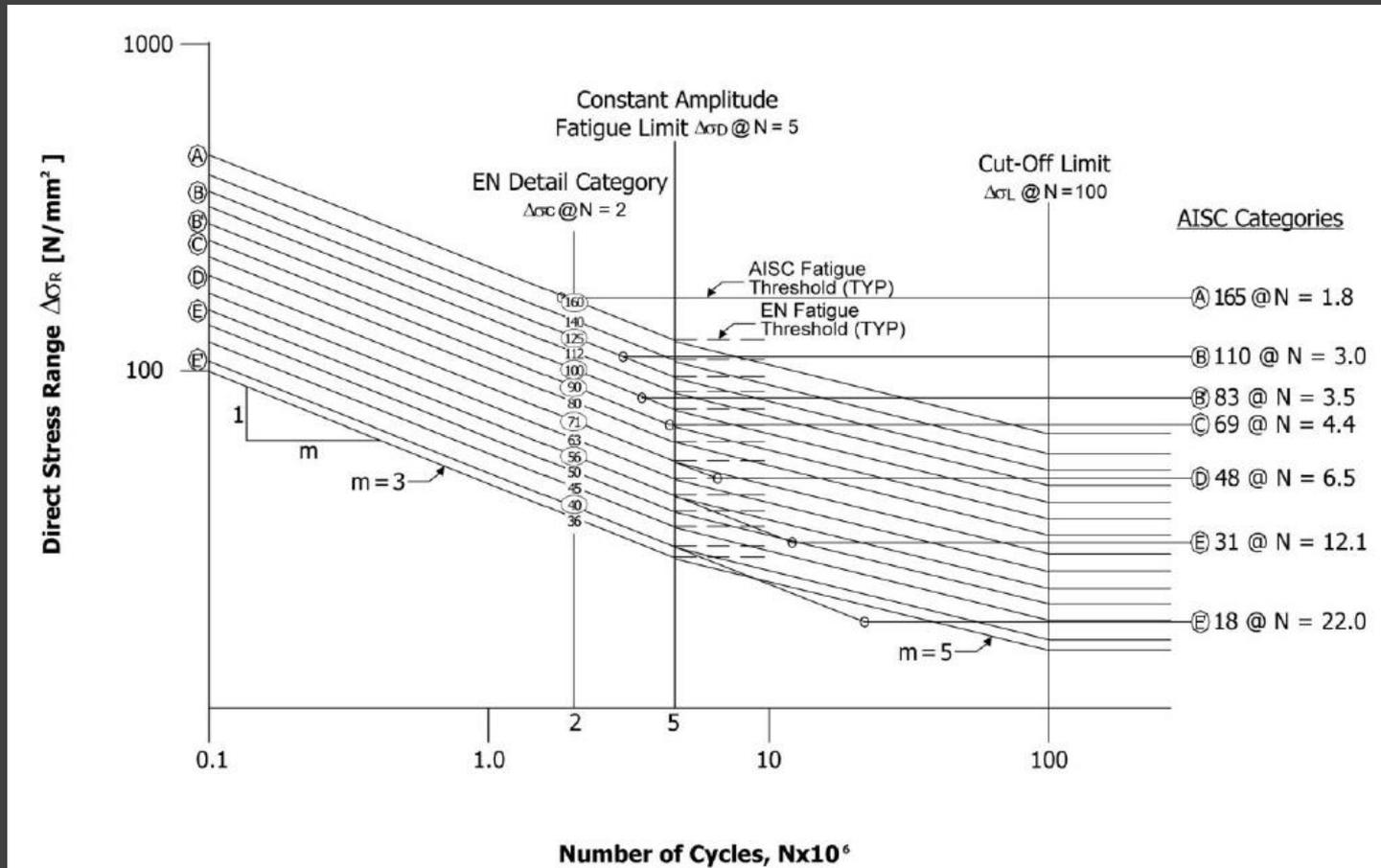


$$\underline{S^m \cdot n} = \sum S_i^m \cdot n_i \quad \equiv \quad S = [(\sum S_i^m \cdot n_i) / n]^{1/m}$$

Para cada componente/material será adoptado um valor adequado para o parâmetro “m” definidor do declive (-1/m) da recta de fadiga quando em gráfico log-log



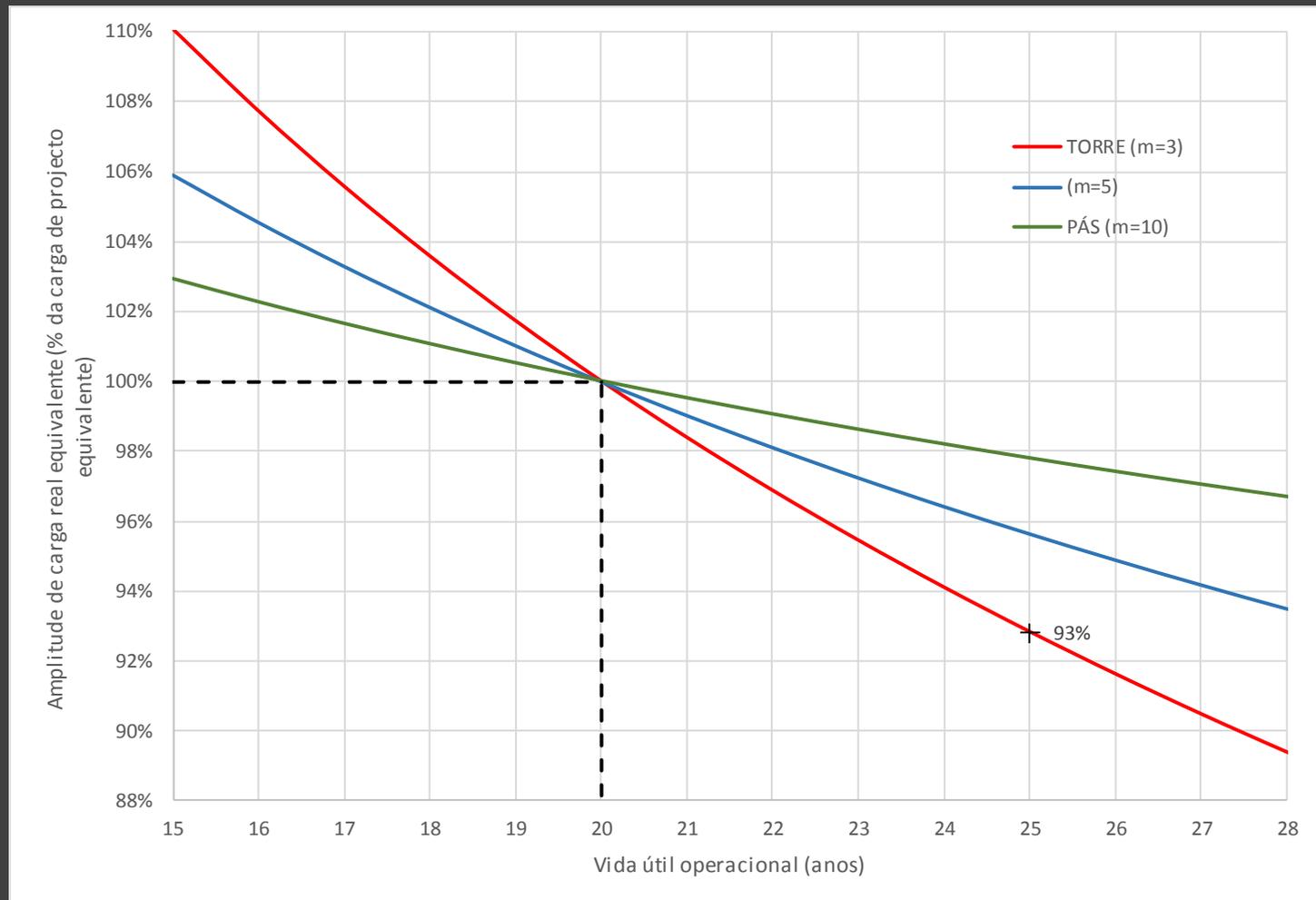
Abordagem analítica



Curvas de resistência à fadiga EN e AISC



Abordagem analítica



Amplitude de carga equivalente real / projecto vs Vida útil operacional



Abordagem prática

Com base no relatório de análise do historial de operação e manutenção e nos resultados da abordagem analítica (identificação de pontos fracos) será definido um **plano de inspecção e controlo** detalhado, que poderá, no entanto, sofrer algumas alterações no decurso da inspecção em função dos resultados que forem sendo obtidos.

O plano de inspecção definirá para cada componente/parte o objectivo da avaliação e o tipo e extensão do controlo a realizar.



Abordagem prática

Objectivo da Avaliação da Estrutura de Suporte / Tipo e extensão do controlo		Objectivo da Avaliação											Tipo e Extensão do Controlo							Notas				
Componente	Parte	Localiz. Interior / Exterior	Fissuração	Comosão	Outros Danos	Perda de Pré-esforço	Dano Fadiga acumul.	Perda de Função	Fadiga de solo	Verticalidade	Frequências Naturais	Tensões dinâmicas	Fragmentação do betão	Análise Visual / Fotográfico / Telescópio	Dimensional	Med. Freq. Naturais	Extensometria Elect.	Verif. Pré-esforço	Medição de Espessura	Ultra-Sons	Magnetoscopia	Radiografia X	Topografia	Notas
Torre	Global	Int/Ext	X	X										X	X				X				X	
Ligação	Flange superior	Int	X												X									
Flanqueada Superior (H42mØ1,20m)	Pescoço da flange inferior (comp.3,7m)	Int	X												X					25%				
	Soldadura circunferencial da flange inferior a virola (comp.3,7m)	Int	X												X				X	25%			(1)	
	Parafusos (36xØ25)	Int		X		X									X			10%		10%				
Ligação	Pescoço da flange superior (comp.5,3m)	Int	X												X					25%				
Flanqueada Intermédia (H21mØ1,68m)	Pescoço da flange inferior (comp.5,3m)	Int	X												X					25%				
	Soldadura circunferencial da flange superior a virola (comp.5,3m)	Int	X				X							X	X				X	25%				
	Soldadura circunferencial da flange inferior a virola (comp.5,3m)	Int	X				X							X	X				X	25%				
	Parafusos (52xØ37)	Int		X		X									X			10%		10%				
Ligação	Pescoço da flange superior (comp.6,7m)	Int	X												X					25%				
Flanqueada Inferior (H0mØ2,15m)	Pescoço da flange inferior (comp.6,7m)	Int	X												X					25%				
	Soldadura circunferencial da flange superior a virola (comp.6,7m)	Int	X				X							X	X				X			25%		
	Sold. circunf. da flange inferior a virola do ancoram. (comp.6,7m)	Int	X				X							X	X				X			25%		
	Parafusos (80xØ37) "chumbadouros"	Int		X		X									X			10%		10%				
Troço superior da Torre	Cruzamentos de soldaduras	Int/Ext	X											X	X					5%				
	Soldaduras circunferenciais (comp.5x1,44m)	Int/Ext	X				X							X	X					5%				
	Falso redondo	Int			X										X									
	Soldadura da gola da porta a virola (comp.3,5m)	Ext	X	X		X								X	X						25%			
	Escada de acesso à "nacelle"	Ext	X	X											X									
Troço inferior da Torre	Cruzamentos de soldaduras	Int/Ext	X											X	X					5%				
	Soldaduras circunferenciais (comp.5x1,44m)	Int/Ext	X				X							X	X					5%				
	Virola a cota 4,5m (esp. 20mm)	Int										X			X			X						
	Falso redondo	Int			X										X									
	Soldadura da gola da porta a virola (comp. 4,5m)	Int/Ext	X	X		X								X	X						25%			
Fundação	Virola do ancoramento	Int/Ext	X			X	X							X	X				X					
	Betão exterior	Int	X				X						X	X	X									(2)
	Betão interior	Ext	X				X					X	X	X	X									(2)
	Solo	Ext			X				X					X		X								
Fixações e Ligações	Soldaduras dos cutelos de fixação da escada interior	Int	X											X	X						25%			
	Soldaduras dos cutelos de fixação das 4 plataformas interiores	Int	X											X	X						25%			
	Soldaduras dos cutelos de fixação da plataforma exterior	Ext	X	X										X	X						25%			
	Ligações da escada interior	Int		X			X							X	X									
	Ligações das 4 plataformas interiores	Int		X			X							X	X									
	Ligações à terra	Int		X	X		X							X	X									
	Ligações da plataforma exterior e escada	Ext		X			X							X	X									
Ligação das Pás ao rotor	Flanges de ligação	Int	X	X										X	X						25%			
	Parafusos	Int		X		X	X							X							10%			

(1) – Incluindo cruzamentos de soldaduras. (2) – Retirar carote para ensaio de compressão

PIE c/ o objectivo da avaliação e tipo e extensão do controlo)



Abordagem prática

O plano básico de inspeção incluirá:

- Fundações

Inspeção das áreas visíveis das fundações para detecção de fissuras, fragmentação, arrancamentos e insuficiente drenagem.

- Torre

Inspeção visual de proximidade e controlo por ACFM (Alternating Current Field Measurement) e/ou Ultra Sons das soldaduras circunferenciais pelo interior, bem como das ligações soldadas das golas das portas, das flanges e de fixações e ligações.

Inspeção visual / controlo das soldaduras pelo exterior (se necessário).

Verticalidade global da torre.



Abordagem prática

- Estrutura da “nacelle” (quadro principal)

Inspeção visual e controlo ACFM das ligações críticas e do sistema de guinada.

-Veio principal e “Hub”

Inspeção visual, controlo por Ultra Sons do veio e verificação do sistema de arfagem das pás.

- Pás

Inspeção visual das pás com telescópio a partir do solo e/ou com drone (delaminações, erosão, fissuras e outros danos provocados por raios e impactos).



Abordagem prática

- Ligações aparafusadas

Controlo por US da sanidade dos chumbadouros.

Controlo das flanges de ligação das pás ao “hub” por “US phased array”.

Verificação do Pré-esforço dos chumbadouros e ligações flangeadas.

- **Equipamento de protecção** contra raios, incluindo ligação ao sistema de terra da fundação.



Acções complementares

Medição da distribuição da velocidade do vento e direcção e da intensidade de turbulência

Frequências naturais dos sistemas

Verticalidade da torre

Tensões em regime dinâmico

Avaliação de condição de partes recobertas das fundações

Com base numa análise das condições de drenagem, comportamento dinâmico da torre (rigidez rotacional), verticalidade global da torre e características locais do solo. Deverá ser removida parcialmente a cobertura de solo com meios mecânicos e limpa a superfície do maciço com jacto de ar para a inspecção visual e detecção de fissuras e arrancamentos. Se necessário, serão retiradas carotes para caracterização da resistência do betão.



Resultados da Avaliação

Relatório

Descrição da **extensão das verificações** (analíticas e práticas)

Resultados da análise interactiva da parte analítica e das inspecções

Possibilidade de extensão de vida e definição do **período**

Definição da **periodicidade** recomendada para as **futuras inspecções**

Irregularidades identificadas

Identificação dos eventuais **danos inadmissíveis** em termos de integridade estrutural

Requisitos especiais (reparar, beneficiar, monitorar, ...)

Nota: Deverão ser devidamente apreciadas as alterações relevantes efectuadas no intervalo das inspecções periódicas, por forma a verificar o seu potencial impacto na extensão da vida.

Obrigado

iso