

Turbinas eólicas

Manutenção

1 Enquadramento

A monitorização do estado de um qualquer processo industrial é uma ferramenta indispensável. A possibilidade de se conhecer o estado em que uma determinada máquina está a operar, bem como poder aferir do seu estado de funcionamento e do seu estado de conservação, permite aos operadores e responsáveis pelo escalonamento da manutenção, ter informação mais fidedigna sobre o real estado da máquina/sistema em que está a operar, bem como uma estimativa da data da próxima operação de manutenção. Normalmente, qualquer sistema de monitorização de máquinas elétricas rotativas envolve a medição de vibrações, temperaturas e espectro das correntes. Estes sinais, depois de adquiridos, são trabalhados com o objetivo de se poderem antecipar futuras falhas, mecânicas ou elétricas e prever avarias mais graves que possam ocorrer em outros componentes e que possam levar a uma paragem prolongada da máquina ou até mesmo à sua destruição.

Como em qualquer outro tipo de negócio, a produção de energia através de parques eólicos, visa a maximização do lucro. Para que essa maximização seja efetiva são necessários sistemas fiáveis, com baixa taxa de avarias e, conseqüentemente, taxas de funcionamento elevadas.

Está estimado que uma turbina com 20 anos de serviço, numa instalação *onshore*, tenha custos de exploração e manutenção que rondam os 10 a 15% da sua capacidade produtiva.

Atendendo a que os custos de exploração e manutenção em instalações *offshore* são mais elevados, os sistemas de monitorização tornam-se ferramentas essenciais neste tipo de instalações.

2 Tipos de Manutenção

De acordo com a NP EN 13306:2007, manutenção é definida como sendo a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa cumprir a função requerida.

Todo o tipo de máquinas requer manutenção pelo que também se aplica ao caso das turbinas eólicas. Neste tipo de sistemas, a diversidade de equipamentos é enorme, englobando equipamentos elétricos, tais como o gerador, o transformador, diversos motores e ventiladores e também equipamentos mecânicos, sendo exemplo disso a caixa de engrenagens e os diversos rolamentos e sistemas rotacionais. Desse modo, as equipas de manutenção terão que ser multifuncionais e com conhecimentos dos diversos sistemas existentes.

A manutenção dos sistemas eólicos, tal como em qualquer sistema industrial é classificada em dois tipos. A manutenção corretiva e a manutenção preventiva. O esquema representado na figura 1 apresenta a classificação dos tipos de manutenção.

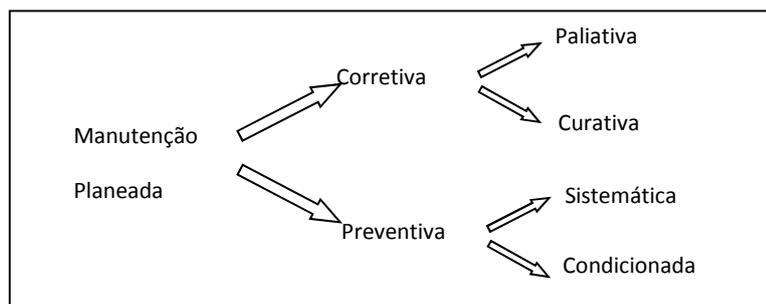


Figura 1 – Classificação da manutenção

A manutenção não planeada, ou de emergência, está associada à rutura de um material e à necessidade de colocação de um material em funcionamento imediato.

A manutenção corretiva é realizada após a ocorrência da anomalia e tem como objetivo reparar o sistema. Também poderão ser englobadas intervenções para melhoria global dos equipamentos, mesmo sem que tenha ocorrido avaria.

A manutenção preventiva é efetuada em períodos pré-determinados ou de acordo com um determinado critério, com a intenção de reduzir a probabilidade de ocorrência de uma anomalia. Existem dois tipos de manutenção preventiva: a manutenção sistemática ou planeada e a manutenção condicionada ou baseada no estado do equipamento, diferenciando-se apenas pelo método de decisão de quando se realiza a manutenção.

A manutenção planeada, quando associada a turbinas eólicas inclui ações de lubrificação, aperto de parafusos, mudança de filtros e verificação de equipamentos de segurança.

A manutenção condicionada é uma manutenção preventiva, que está baseada no desempenho e monitorização dos equipamentos através de sistemas de monitorização.

Qualquer estratégia de manutenção, caso exista, poderá conjugar os três métodos, já que será uma combinação de manutenção corretiva e preventiva.

O objetivo de qualquer estratégia de manutenção preventiva será o de reduzir a um nível mínimo as operações de manutenção corretiva, pelo que as tarefas de manutenção preventiva deverão incluir verificações de rotina e testes aos equipamentos, por forma a aumentar a fiabilidade dos equipamentos, reduzir as avarias em serviço e, consequentemente, levar a uma redução dos custos devido a avarias e aumento da disponibilidade do sistema.

A manutenção corretiva, que devido aos custos envolvidos deverá ser minimizada, compreende a realização de uma

série de tarefas como resposta ao desgaste dos componentes, erros humanos, defeitos do projeto e fatores operacionais. Os operadores tornam-se conscientes das tarefas corretivas durante as inspeções de rotina ou então quando o sistema de proteção pára as turbinas em resposta a um defeito incipiente.

Os operadores encarregues da manutenção das turbinas eólicas possuem uma *checklist* em que constam todos os elementos e procedimentos que têm que verificar nas ações de manutenção. As *checklists* são específicas para cada turbina e as atividades incluem, de um modo geral, uma verificação à caixa de transmissão e aos níveis de óleo do sistema hidráulico, inspeção de fugas de óleo, inspeção dos cabos instalados na torre e dos seus sistemas de suporte, observação da máquina em operação para verificação de algumas vibrações pouco comuns do sistema de transmissão, inspeção dos discos do travão e inspeção do equipamento de saída de emergência.

Outras atividades incluem a verificação da segurança das fixações (fixação das pás, da caixa de transmissão, da entrada dos rolamentos, dos parafusos da base da torre, etc.), o alinhamento de veio de alta velocidade, o ajustamento do travão e o desgaste das pastilhas do travão, o desempenho do sistema de controlo direcional e sistemas de travagem, a lubrificação dos rolamentos, a segurança dos terminais dos cabos, a calibração do *pitch* (para máquinas reguladas por *pitch*), filtros de óleo, etc.

Na figura 2 está representada uma comparação entre os vários tipos de manutenção possíveis. Como se pode observar, a manutenção programada é executada com mais frequência que a manutenção baseada na condição do equipamento. Quando as ações de manutenção programada são executadas, o equipamento ainda se encontra num bom estado, em comparação com o estado dos equipamentos aquando da realização das operações de manutenção condicionada ou corretiva. Neste último tipo de manutenção, o equipamento já se encontra com problemas.

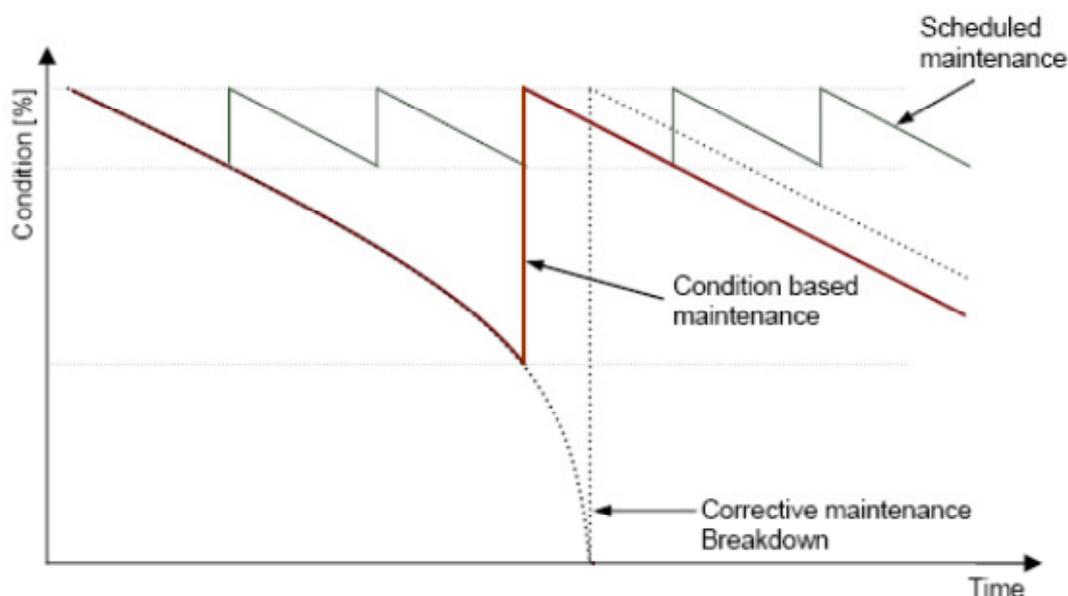


Figura 2 – Comparação entre os três tipos de manutenção

A estratégia de manutenção, quando é assegurada pelos fabricantes dos aerogeradores, é definida pelos mesmos e é característica para cada tipo de sistema. Há fabricantes que executam operações de manutenção trimestrais, sendo que em cada trimestre um sector da turbina é analisado. Outros propõem verificações semestrais, uma mais simples e outra mais profunda e com tempos de paragem maiores. No entanto, com o objetivo de otimizar as estratégias de manutenção, vários métodos têm vindo a ser desenvolvido e aplicados.

3 Estratégias de manutenção de parques eólicos

Baseados em estratégias que visam a otimização da manutenção, como forma de maximizar a disponibilidade das máquinas e minimizar os encargos, todos os fabricantes definem estratégias de manutenção apropriadas às suas máquinas. Normalmente, os fabricantes de aerogeradores definem a manutenção das suas máquinas de um forma regular e baseada no tempo. Fabricantes como a Gamesa, Alston, Izar Bonus e Vestas executam 2 manutenções anuais. Uma mais rápida, que denominam de *minor maintenance* e outra mais profunda e a que chamam de *major maintenance*.

A *minor maintenance* é normalmente executada por duas pessoas e demora normalmente 4 horas e a *major maintenance* tem uma duração mínima de 7 horas para duas pessoas. Normalmente, os vários sistemas que existem nos aerogeradores são verificados pelas mesmas equipas, pois os elementos que as constituem possuem habilitações para executarem a manutenção dos sistemas elétricos/eletrónicos e dos sistemas mecânicos.

A Enercon executa uma estratégia de manutenção diferente. De três em três meses é feita uma verificação a um sistema diferente do aerogerador.

Existe uma inspeção baseada na verificação visual aos sistemas, passados três meses é feita manutenção para efeitos de lubrificação dos sistemas de desgaste, três meses depois é feita a manutenção dos sistemas elétricos e por último é feita a manutenção dos sistemas mecânicos.

Além de a estratégia de manutenção definida ser diferente da executada pelos outros fabricantes, existe também a particularidade de existirem equipas de manutenção específicas para o tipo de manutenção a executar.

As turbinas, mesmo que instaladas num mesmo parque eólico, estão sujeitas a regimes de funcionamento variáveis e, por isso, o desgaste não se fará sentir de igual forma em todas as máquinas. Desse modo, alguns componentes de alguns aerogeradores podem ter um desgaste maior que a média e, por isso, ações de manutenção baseadas no tempo podem não ser uma boa solução.

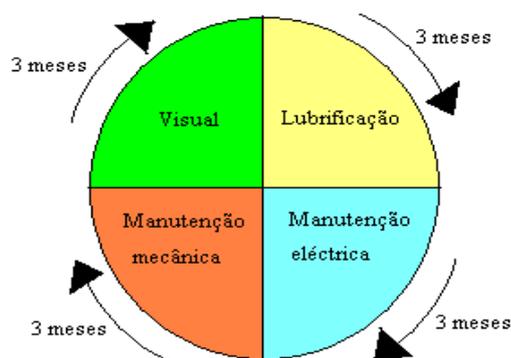


Figura 3- Descrição dos intervalos de manutenção Enercon

As estratégias de manutenção baseadas no tempo têm assim uma série de inconvenientes. Por um lado, um intervalo demasiado curto entre manutenções aumenta os custos operacionais, obriga ao aumento dos tempos de paragem para realização das operações e leva a substituições desnecessárias de equipamento em bom estado. No entanto, as anomalias inesperadas ocorrem com maior frequência quando o intervalo entre manutenções é elevado.

Como forma de minimizar os custos de operação e manutenção os diversos fabricantes e operadores de parques eólicos começaram a desenvolver estratégias baseadas no estado dos equipamentos, como forma de obter a otimização da manutenção.

A principal finalidade da otimização da manutenção é determinar a estratégia de manutenção mais rentável. Esta estratégia deve fornecer o melhor equilíbrio possível entre custos de manutenção e as consequências da não realização das ações.

4 Principais causas de falhas

As anomalias que podem ocorrer num aerogerador são fundamentalmente de três tipos: elétricas, eletrónicas e mecânicas.

As falhas elétricas ocorrem com alguma frequência e são as mais inesperadas, pois todo o equipamento utilizado (máquinas elétricas) encontra-se bastante maduro e estudado. Os geradores de indução e os transformadores são máquinas elétricas utilizadas há décadas, daí que se espere que estes equipamentos não apresentem problemas elétricos relevantes, embora a realidade demonstre o oposto. As falhas mais comuns estão relacionadas com as bobinagens, correntes de curto-circuito e problemas de isolamento. A ocorrência deste tipo de problemas pode ser explicada pela constante necessidade de aumento de potência das máquinas e a impossibilidade de acompanhar esse aumento de potência com o inerente aumento das dimensões dos equipamentos. Este fator leva à necessidade de utilização de novos materiais na construção dos equipamentos, que não se encontram ainda inteiramente testados. Quando ocorre uma falha num transformador ou no gerador, os custos envolvidos são bastante elevados e, normalmente, o problema é resolvido pela substituição do componente defeituoso.

As falhas eletrónicas surgem mais frequentemente que as elétricas, dando-se principalmente nos sensores e nas cartas eletrónicas. Os anemómetros são apenas um exemplo de um componente que apresenta uma grande taxa de avaria. As avarias do foro eletrónico podem ser causadas por fenómenos atmosféricos, sendo especialmente habituais quando o parque é atingido por descargas elétricas de origem atmosférica. Nesta situação, a solução passa por substituir o componente danificado. Apesar de não ser necessário qualquer equipamento específico e dispendioso, como por exemplo uma grua, para resolver a avaria, é importante ter em conta que uma avaria num componente eletrónico pode implicar a paragem da turbina eólica, acarretando os consequentes custos associados à não

produção de energia. Uma turbina eólica possui muitos sensores instalados, que servem para monitorizar o estado dos diversos equipamentos, mecânicos ou elétricos. O elevado número de sensores e componentes eletrônicos existentes nas turbinas eólicas faz com que seja alta a probabilidade de ocorrência de erros associados a estes componentes.

O terceiro tipo de falhas, as mecânicas, estão associadas essencialmente à caixa de engrenagens e às pás. O aumento do tamanho das turbinas eólicas implica a captação de ventos com velocidades mais elevadas e, como consequência, as forças aplicadas às rodas dentadas são bastante elevadas, o que pode levar à rotura dos materiais.

Quanto às pás, o problema mais usual ocorre quando são atingidas por descargas elétricas atmosféricas. O aumento das dimensões deste componente, como forma de captar cada vez ventos mais fortes, faz com que estejam sujeitas a vibrações contínuas acarretando, por isso, problemas de resistência dos materiais. As fissuras originadas pela erosão ou por impactos, também são um sério problema.

Vários estudos efetuados em parques eólicos têm surgido como forma de se determinar as avarias mais frequentes e o inerente tempo de paragem originado pelas respetivas avarias.

Estes estudos são baseados em registos de dados e relatórios elaborados pelas equipas de manutenção em parques instalados onshore, ou offshore.

Um estudo levado a cabo pelo *Fraunhofer Institute of Wind Energy Systems (IWES)*, analisou cerca de 193000 relatórios de operação mensais e 64000 relatórios de manutenção e reparação, feitos pelas equipas de manutenção em 1500 turbinas eólicas instaladas em parques na Alemanha, durante 10 anos.

Com o objetivo de determinar a influência das condições meteorológicas no funcionamento das turbinas eólicas, foi calculada a taxa de avarias e o tempo de paragem associado, estando os resultados apresentados na figura 4.

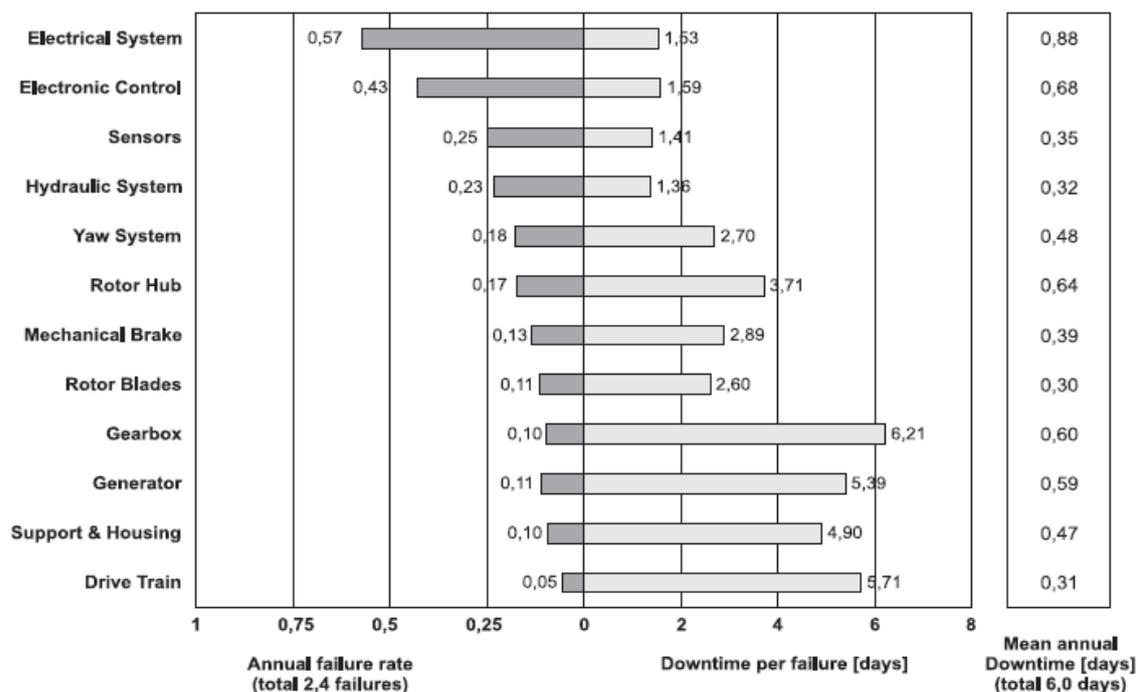


Figura 4 – Taxa de avarias e tempo de paragem dos parques alemães

Um estudo semelhante, foi elaborado para os parques eólicos da Suécia. Foram analisados os dados de mais de 500 turbinas entre os anos 2000 e 2004. A taxa de avarias e o respetivo tempo de paragem estão apresentados na figura 5.

Da análise feita a todos os estudos apresentados é possível concluir que os equipamentos que têm mais falhas são os

eletrónicos e os elétricos. No entanto, o tempo de paragem originado por essas falhas é bastante baixo. Há contudo três componentes, que devido ao tempo de paragem que acarretam e aos custos inerentes à reparação, necessitam de uma atenção especial por parte dos sistemas de monitorização, a caixa de engrenagens, o gerador e as pás.

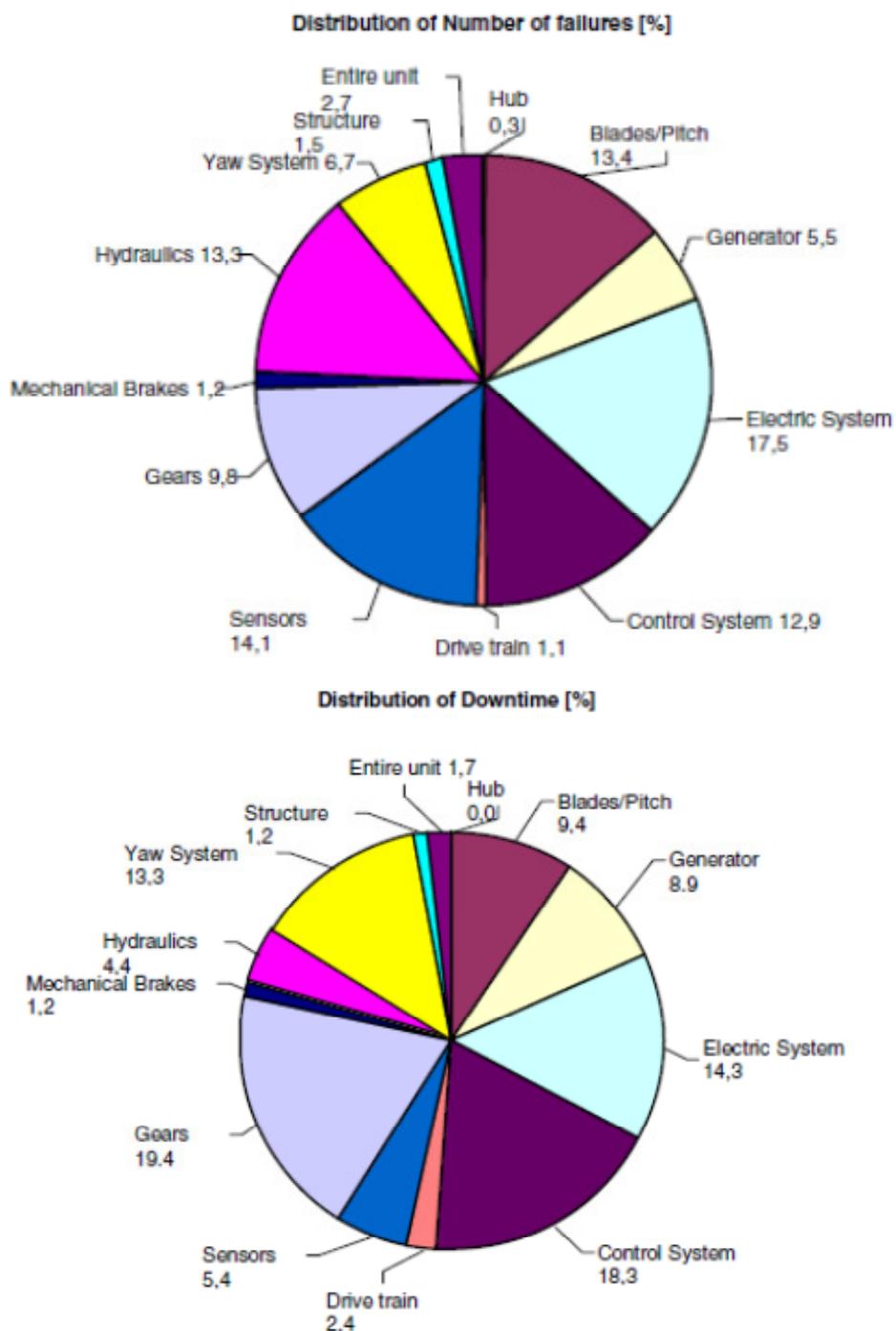


Figura 5 – Taxa de avarias e tempo de paragem dos parques suecos

4.1 Avarias nas pás

As pás, em condições de operação normal, são equipamentos suscetíveis de falhas, devido a fendas decorrentes da fadiga, a descargas elétricas e a defeitos nos materiais. Estando os parques eólicos normalmente instalados em locais de elevada altitude, a acumulação de gelo também é causadora de falhas nas pás.

O constante contacto com poeiras e insetos e o congelamento e respetivo degelo, faz aumentar a aspereza da superfície das pás, originando uma diminuição da potência produzida devido à redução do desempenho aerodinâmico do perfil da pá.

4.2 Avarias na caixa de engrenagens

A caixa de engrenagens, quando existe, é um dos principais componentes de uma turbina eólica e fica situada na *nacelle*, entre o rotor e o gerador. A sua função principal é adequar a velocidade rotacional das pás à velocidade de rotação do gerador.

As caixas de engrenagens planetárias são as mais usuais nas aplicações em turbinas eólicas. Apesar de mais complexas, possuem algumas vantagens em relação às anteriores, nomeadamente em termos de dimensão e peso.

Este tipo de caixa de velocidades é composto por uma engrenagem central e várias engrenagens em volta, normalmente três. A figura 6 mostra uma caixa de engrenagens desse tipo.

A engrenagem central roda à velocidade imposta pelas pás do aerogerador, enquanto que as três engrenagens mais pequenas fazem o aumento da velocidade. O eixo associado ao nível de velocidade mais elevado é o que vai estar acoplado ao gerador elétrico.

As caixas de engrenagens, normalmente não avariam nos primeiros anos de funcionamento. As caixas de engrenagens das turbinas eólicas, na gama de potência entre 1,5-3 MW, foram desenvolvidas pela experiência adquirida em caixas de engrenagens mais pequenas, usadas noutros equipamentos industriais. No entanto, as inspeções feitas a partir dos três anos de funcionamento mostram que o desgaste deste equipamento leva normalmente a falhas graves, que originam a necessidade de grandes reparações, ou até mesmo a sua substituição após alguns anos.

Como a caixa de engrenagens é um equipamento puramente mecânico, com imensas partes rotativas, as causas principais de avarias ocorrem, normalmente, devido à falta de lubrificação, ao desgaste dos materiais, a falhas dos rolamentos e quebra dos dentes das engrenagens.

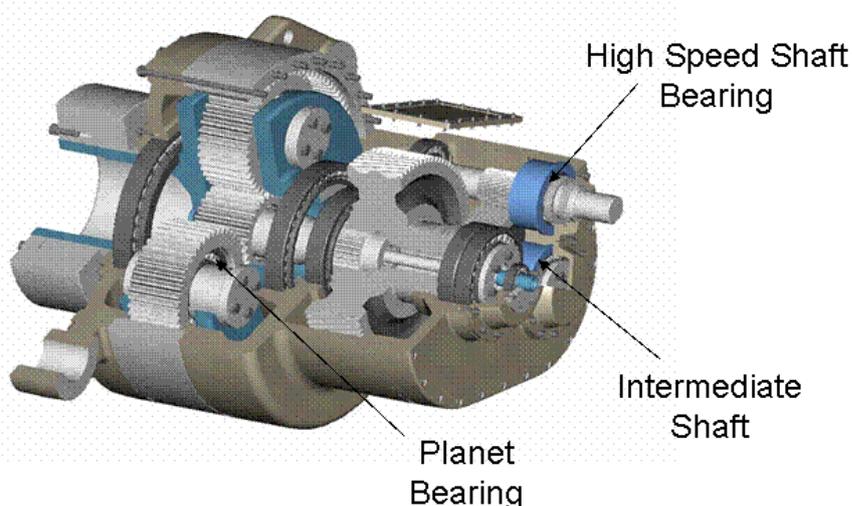


Figura 6 – Caixa de engrenagens planetária

4.3 Avarias no gerador elétrico

O gerador elétrico, tal como a caixa de engrenagens, é um elemento preponderante e as avarias causam tempos de paragem elevados e necessitam da mobilização de meios específicos, se for necessária a sua substituição. Sendo o gerador uma máquina elétrica há muito desenvolvida e testada pelos fabricantes, não são de esperar grandes avarias. No entanto, o rápido crescimento em termos de potência e a impossibilidade de as dimensões da máquina poder acompanhar o crescimento da potência, levam à necessidade de se usarem novos materiais, com melhores características, como forma de assim se reduzirem as dimensões, o que muitas vezes pode ser causa de avarias.

As falhas que podem ocorrer no gerador incluem, nomeadamente, o abaixamento da resistência de isolamento, sobreaquecimento dos rolamentos, enrolamento em circuito aberto ou ligado à terra. As principais causas do abaixamento da resistência de isolamento podem dever-se às altas temperaturas, danos mecânicos, humidade, poeiras, partículas condutoras e outros materiais poluentes que corroem os enrolamentos do gerador.

Aquando das ações periódicas de manutenção ao gerador elétrico, deve ser acautelada a climatização e o condicionamento do ar durante as referidas. Qualquer poeira ou resíduos estranhos dentro do estator ou do rotor pode causar falhas futuras.

A alta temperatura, o desgaste, a vibração e pó nas escovas de carbono pode resultar num defeito entre as fases do enrolamento.

Os enrolamentos podem ficar em circuito aberto, em curto-circuito entre espiras ou em curto-circuito à massa, devido a quebra mecânica dos enrolamentos, má soldadura, humidade, poeira, ou partículas condutoras a envolver o enrolamento.

5 Conclusão

Os custos com a manutenção das turbinas dos parques eólicos assumem um peso importante na exploração dos parques. Os operadores dos parques eólicos tendem a explorar os seus parques de forma mais económica, com o objetivo de aumentar os lucros. Nesse sentido, necessitam de técnicas de planeamento da manutenção que levem a uma efetiva redução dos custos de exploração, em comparação com as técnicas de manutenção usuais.

As avarias que levem à substituição de equipamentos de grande dimensão, tais como a caixa de engrenagens, o gerador ou as pás, têm que ser evitados ao máximo porque, para além de levarem a tempos de paragem muito grandes, necessitam de equipamentos, gruas, que não estão disponíveis com facilidade. O aumento da idade das atuais turbinas eólicas, algumas delas com mais de 15 anos de instalação, faz também aumentar os custos de operação e manutenção.

