

NATÃ BARROS ALVES

UMA ABORDAGEM PRÁTICA PARA CLASSIFICAÇÃO, ANÁLISE E MITIGAÇÃO
DE RISCOS DE DANOS MATERIAIS NA FASE DE OPERAÇÃO EM PARQUES
EÓLICOS

SÃO PAULO

2015

NATÃ BARROS ALVES

UMA ABORDAGEM PRÁTICA PARA CLASSIFICAÇÃO, ANÁLISE E MITIGAÇÃO
DE RISCOS DE DANOS MATERIAIS NA FASE DE OPERAÇÃO EM PARQUES
EÓLICOS

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialista em Energias
Renováveis

SÃO PAULO

2015

NATÃ BARROS ALVES

UMA ABORDAGEM PRÁTICA PARA CLASSIFICAÇÃO, ANÁLISE E MITIGAÇÃO
DE RISCOS DE DANOS MATERIAIS NA FASE DE OPERAÇÃO EM PARQUES
EÓLICOS

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialista em Energias
Renováveis

Orientadora: Profa. Dra. Eliane
Aparecida Faria Amaral Fadigas

SÃO PAULO

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Alves, Natã Barros

Uma abordagem prática para classificação, análise e mitigação de riscos de danos materiais na fase de operação em parques eólicos / N.B. Alves. – São Paulo, 2015.

p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.energia eólica 2.Parques eólicos (Operação) 3.Riscos 4.Danos materiais I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

RESUMO

Esta monografia discorre sobre a importância de se adotar uma abordagem para classificação de riscos, análise de sinistros com a finalidade de mitigar perdas de danos materiais em parques eólicos, tendo como foco a adoção dos sistemas protecionais existentes, políticas de manutenção e certificações vigentes.

Foi levantado os sinistros mais frequentes e severos envolvendo perdas de danos materiais em parques eólicos para buscar um embasamento de causa e consequência, auxiliando desta forma na prevenção de novas ocorrências e consequentemente à redução de perdas financeiras aos proprietários e acionistas devido a falta de geração de energia elétrica em suas respectivas plantas.

Para auxiliar no entendimento deste tema, esta monografia apresentará dois capítulos sobre os principais componentes de um aerogerador e os respectivos sistemas protecionais que são adotados e tipos de manutenção que são adotados nas plantas.

Palavras chaves: parques eólicos, aerogeradores, classificação de riscos

ABSTRACT

This monograph discusses about the importance of adopting an approach to risk classification, claims analysis in order to mitigate material damage losses in wind farms, focusing on the adoption of existing safety measures, policy of maintaining and current certifications.

It was raised the most frequent and severe (damages ou accidents ou losses) involving material damage losses in wind farms in order to have a cause and effect, helping thus on the prevention of new occurrences and consequently on the reduction of financial loss to the owners and stakeholders due to lack of electricity generation in their respective plants.

This monograph will present two chapters to help understand this issue about the main components of a wind turbine and its respective safety measures that are adopted and types of maintenance that are adopted in the plants.

Keywords: wind farms, wind turbines, risk classification

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	2
1.2 Metodologia	2
1.3 Objetivo	2
1.4 Estrutura do trabalho	3
2. REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 Energia Eólica	4
2.2 Parque Eólico	5
2.2.1 Componentes de um Aerogerador	5
2.2.1.1 Pás	7
2.2.1.2 Cubo das pás	7
2.2.1.3 Medidores de vento	7
2.2.1.4 Freio	7
2.2.1.5 Controlador	8
2.2.1.6 Engrenagem (transmissão)	8
2.2.1.7 Unidade hidráulica	8
2.2.1.8 Nacele	9
2.2.1.9 Passo	9
2.2.1.10 Rotor	9
2.2.1.11 Veleta (sensor de vento)	10
2.2.1.12 Torre	10
2.2.1.13 Fundações	13
2.2.1.14 Gerador	14
2.2.1.15 Transformador	18
3 SISTEMAS PROTECIONAIS, CERTIFICAÇÃO E TIPOS DE MANUTENÇÃO EM AEROGERADORES	19
3.1 Sistemas Protecionais de um aerogerador	19
3.1.1 Sistema de Controle (controlador)	19
3.1.2 Sistema de Controle supervisório	24
3.1.3 Sistema de Segurança	25
3.1.4 Sistema de Resfriamento	25
3.1.5 Sistema de Aquecimento	26
3.1.6 Aterramento	26

3.1.7 Sistema de proteção contra descargas atmosféricas	27
3.1.6 Fundações e obras civis	29
3.2 Normalização em energia eólica e Certificação de aerogeradores	30
3.2.1 Normalização em energia eólica	30
3.2.2 Certificação de aerogeradores	34
3.2.2.1 Introdução	34
3.2.2.2 Certificação de Tipo	35
3.3 Manutenção em parques eólicos	36
3.3.1 Manutenção corretiva ou não-programada	36
3.3.2 Manutenção preventiva ou programada	36
4 – ACIDENTES COM DANOS MATERIAIS EM TURBINA EÓLICAS	38
4.1 Caithness Windfarm Information Forum	38
4.1.1 Número total de acidentes (fatais e danos materiais)	39
4.1.2 Falhas da pá	39
4.1.3 Incêndio	40
4.1.4 Danos estruturais	40
4.1.5 Transporte	41
4.1.6 Outros casos	41
4.2 GCube Insurance Services, Inc.	42
4.3 Seguro de Riscos Operacionais	44
4.3.1 – Condições Especiais para Danos Materiais	45
4.3.2 – Condições Especiais para Quebras de Máquinas	48
4.3.3 – Condições Especiais para Interrupção de Produção Consequente de Danos Materiais - Perda de Receita Bruta	48
5 – UMA ABORDAGEM PARA CLASSIFICAÇÃO, ANÁLISE E MITIGAÇÃO DE RISCOS DE DANOS MATERIAIS EM PARQUES EÓLICOS	49
5.1 Classificação de riscos	49
5.1.1 Requisito Certificação	50
5.1.2 Requisito Manutenção Eletromecânica	52
5.1.3 Classificação pela pontuação obtida	54
5.2 Análise e mitigação de sinistros	55
5.2.1 Perdas em série	55
5.2.2 Descargas atmosféricas e incêndio	56
6 – CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

O foco na redução da emissão de gases poluentes na atmosfera tem motivado o mundo a buscar o desenvolvimento de fontes de geração de energia elétrica limpa, dentre elas, a eólica.

A política energética do governo brasileiro, movida por interesses ambientais e pela busca da diversificação da matriz energética do país, vem incentivando a geração de energia elétrica baseada nessas fontes, tanto para a conexão nos sistemas de transmissão e distribuição de grandes parques de geração, com destaque para a energia eólica, como para a geração distribuída, constituída basicamente por pequenos produtores.

De acordo com projeções de alguns especialistas, o Brasil estará entre os cinco maiores produtores de energia eólica do mundo até o ano de 2020, graças aos incentivos governamentais e regiões com ventos propícios para esse fim. Desta forma, o governo lançou em 2004 o programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – Proinfa, e em 2009 realizou o primeiro leilão exclusivo para a venda de energia produzida por fonte eólica. Recentemente, com os ganhos de escala e desenvolvimento um parque tecnológico nacional, a energia eólica desponta nos leilões promovidos pela Agência Nacional de Energia elétrica – ANEEL, para a venda de energia ao mercado regulado de energia elétrica (MEDEIROS, 2013).

A indústria de energia eólica tem se desenvolvido rapidamente nos últimos 20 anos e continuará a se expandir a um ritmo ainda mais rápido na próxima década. Pesquisas de mercado para os países industrializados e os países em desenvolvimento demonstram esse crescimento. Mesmo na atual crise financeira, parece que o setor de energia renovável não é afetado com a mesma medida que outros setores industriais.

É importante notar que o desenvolvimento tecnológico pode ter atingido um estágio que pode comprometer a vida útil projetada de pelo menos 20 anos para um aerogerador. Igualmente preocupante é também uma ruptura na cadeia de abastecimento criada por uma demanda em expansão - levando a um aumento da

frequência e tamanho das reivindicações de danos físicos e interrupção no fornecimento de energia elétrica, impactando em toda matriz energética (IMIA, 2009).

1.1 Justificativa

Tendo em vista a importância da gestão de perdas materiais e econômicas na atividade de geração de energia, torna-se importante a realização de um trabalho acadêmico para estabelecer critérios que auxiliem na identificação dos riscos operacionais existentes em parque eólicos, visando evitar perdas vultosas e interrupção ou atraso no fornecimento de energia elétrica.

1.2 Metodologia

A metodologia consistiu em realizar um levantamento bibliográfico sobre os principais sistemas protecionais de aerogeradores, tipos de certificação e acidentes com danos materiais em parque eólicos, utilizando fonte como fonte de dados livros, relatórios empresarias, notícias de internet e site de associações.

1.3 Objetivo

O objetivo desta monografia é o de discorrer sobre os principais componentes de um aerogerador, sistemas protecionais e certificações, buscando à redução da frequência e severidade de sinistros, assim como propor uma abordagem para classificação, análise e mitigação de riscos de danos materiais em parques eólicos.

Ressalta-se que o trabalho deu ênfase aos riscos oriundos à fase de operação, por estes representarem a maior parte das perdas materiais noticiados.

1.4 Estrutura do trabalho

A estrutura desta monografia está dividida em seis capítulos, conforme abaixo:

- Capítulo 1 - Introdução: apresenta uma breve contextualização do cenário da energia eólica no Brasil, justificativa do tema escolhido, metodologia e descreve o objetivo.

- Capítulo 2 – Referencial teórico - Descreve os principais componentes de uma turbina eólica

Capítulo 3 – Sistema Protecionais, Certificação de aerogeradores e tipos de manutenção – apresenta sobre os principais sistemas protecionais adotados para evitar danos materiais e as principais normas e certificações existentes para aerogeradores, assim como os principais tipos de manutenção aplicados nas plantas.

Capítulo 4 – Acidente com danos materiais em turbinas eólicas – apresenta através de duas fontes os acidentes envolvendo turbinas eólicas e aborda uma breve descrição sobre o seguro de riscos operacionais.

Capítulo 5- Uma abordagem para classificação, análise e mitigação de riscos de danos materiais em parques eólicos – apresenta uma abordagem qualitativa para classificação de riscos em parques eólicos e alguns exemplos de análise e mitigação de danos materiais.

- Capítulo 6 – Apresenta a conclusão do trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é realizado uma revisão da literatura sobre os conceitos referentes a geração de energia eólica e os principais elementos de um aerogerador e suas funções.

2.1 Energia Eólica

As fontes de energias convencionais como o óleo, o gás natural, o carvão ou a energia nuclear são finitas e poluem o planeta. E ainda há uma influência popular contra o fortalecimento da energia nuclear em muitas partes do mundo. Portanto, devido à atenção com as questões sobre meio ambiente e esgotamento dos combustíveis fósseis, foi demandada uma busca para mais fontes de energia. Nesse cenário, surgem as energias renováveis, que são limpas, e abundantes e que terão que contribuir cada vez mais para a crescente demanda por energia no futuro. A não emissão de alguns poluentes na atmosfera terrestre por parte da geração renovável representa uma vantagem significativa comparada às usinas fósseis. Entre as fontes renováveis a eólica ganhou certo destaque mundial, principalmente pela boa experiência ocorrida em países como Dinamarca e Alemanha (PINTO, 2012).

O combustível para geração de energia eólica é o vento, movimento do ar na atmosfera terrestre. Esse movimento do ar é gerado através do aquecimento da superfície terrestre da Terra na regiões próximas ao Equador e pelo resfriamento nas regiões próximas aos polos norte e sul. Logo, os ventos das superfícies frias circulam dos polos em direção ao equador para substituir o ar quente tropical, que, por sua vez, desloca-se para os polos.

O vento é influenciado pela rotação da Terra, ocasionando mudanças sazonais na sua intensidade e direção, e pela topografia da região. Para utilizar a energia dos ventos de forma eficiente para geração de energia elétrica, é necessário medir a direção e a intensidade dos ventos. Estas medições são realizadas através de anemômetros instalados a dez metros do solo. É viável efetuar estimativas do

comportamento dos ventos utilizando-se o tratamento estatístico dos dados que foram coletados em campo (LOPES, 2012).

Segundo a ABE Eólica, em 2013, o Brasil ocupava a 13ª posição no ranking mundial, com capacidade instalada de 3,45 GW. Para o final de 2014, o número estimado é de 7 GW. China e Estados Unidos lideram o ranking, com capacidade instalada de aproximadamente 90 GW e 60 GW, respectivamente.

2.2 Parque Eólico

Um parque eólico ou usina eólica é um espaço (terrestre ou marítimo), onde estão concentrados vários aerogeradores (a partir de 5) destinados a transformar energia eólica em energia elétrica (PUC-RS, 2014).

2.2.1 Componentes de um Aerogerador

Aerogeradores são equipamentos para produção de energia elétrica a partir da energia cinética do vento. Seus principais componentes são a turbina eólica e o gerador, mas também incluem outros equipamentos, dispositivos e sistemas, tais como: torre, nacele, caixa de engrenagens, cubo, gerador e pás, conforme figura abaixo:

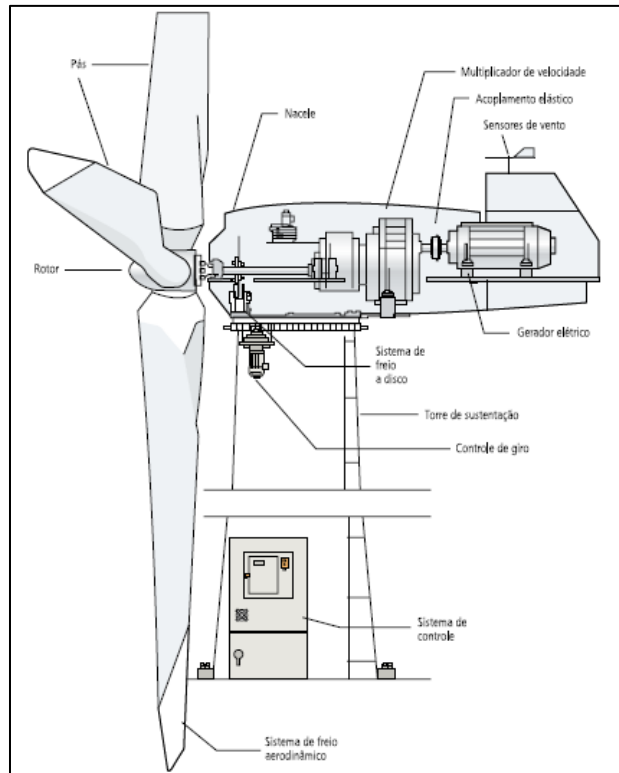


Figura 1 - Componentes de um aerogerador

Fonte: Alterima

A turbina eólica é acionada pelo vento para transmitir energia mecânica ao eixo que, por sua vez, movimenta o gerador elétrico, convertendo a energia mecânica em energia elétrica através da conversão eletromagnética. O acoplamento entre turbina e o gerador, na maioria dos aerogeradores comercializados, é feito por engrenagens multiplicadoras, devido às diferentes rotações dos dois componentes. Entretanto, existem alguns casos de acoplamentos direto, ou seja, sem a utilização das engrenagens multiplicadoras. O gerador elétrico pode ser síncrono ou assíncrono. (LOPES, 2012).

Segue abaixo uma breve descrição dos principais componentes de um aerogerador:

2.2.1.1 Pás

São os perfis aerodinâmicos responsáveis pela interação com o vento, convertendo parte de sua energia cinética em trabalho mecânico. São fabricadas em fibra de vidro, reforçadas com epóxi e/ou madeira. Nos modelos que utilizam controle de velocidade por passo, a pá dispõe de rolamentos em sua base, possibilitando que gire para alterar o ângulo de ataque.

2.2.1.2 Cubo das pás

É a ponta do eixo da turbina, onde são fixadas as pás por meio de flanges. O material é constituído em aço ou liga metálica de alta resistência mecânica.

2.2.1.3 Medidores de vento

São dispositivos montados sobre a nacele, com o objetivo de medir a velocidade e a direção do vento. Geralmente, a velocidade é medida através do anemômetro e a direção, por biruta. As medições são enviadas ao sistema de controle e também são utilizadas para a monitoração do desempenho do aerogerador.

2.2.1.4 Freio

Componente utilizado geralmente em situações de emergência, pode ser aplicado por meio mecânico, elétrico ou hidráulico. O material é constituído de aço, em forma de disco. Recomenda-se manter o aerogerador freado quando não estiver em operação.

2.2.1.5 Controlador

É o dispositivo responsável pelo acionamento do aerogerador em ventos com a velocidade superior a 3,6 m/s e desligamento quando a velocidade excede a 29 m/s. É prejudicial ao equipamento operar em ventos com velocidade acima de 29 m/s, pois o gerador pode sofrer superaquecimento e as estruturas ficam mais suscetíveis ao processo de fadiga devido a vibrações mecânicas.

2.2.1.6 Engrenagem (transmissão)

Dispositivo responsável por aumentar a velocidade do eixo lento, entre 30 e 60 rpm para o eixo rápido, entre 1.200 e 1.500 rpm. Essa rotação é necessária para que o gerador convencional produza eletricidade. A transmissão, que abrange a caixa multiplicadora, possui a finalidade de transmitir a energia mecânica entregue pelo eixo do rotor até o gerador. É composta por eixos, mancais, engrenagens de transmissão e acoplamentos.

Alguns aerogeradores utilizam o acoplamento direto, operando em baixa velocidade e sem caixa de engrenagens. O desenvolvimento de geradores que trabalham em baixa velocidade tende a melhorar o desempenho e diminuir o custo do sistema.

2.2.1.7 Unidade hidráulica

A utilização de engrenagem multiplicadora existe a necessidade de óleo para lubrificação e refrigeração. O sistema compreende bombas, trocadores de calor e sistemas de comando, supervisão e controle.

2.2.1.8 Nacele

Estrutura de proteção do conjunto, contendo engrenagem, eixos de baixa e alta velocidade, geradora, controlador e freio. Em aerogeradores de grande porte, a nacele contém acessórios de manutenção e permite acesso de técnicos ao seu interior



Figura 2– Interior da Nacele de um aerogerador

Fonte: Wikipedia

2.2.1.9 Passo

Giro controlado das pás, alterando o seu perfil frente ao impacto do vento. Com isto, a velocidade de operação da turbina pode ser controlada.

2.2.1.10 Rotor

Dispositivo constituído pelas pás e o cubo frontal de interligação entre pás e eixo de acionamento



Figura 3 – rotor

Fonte: ABDI

2.2.1.11 Veleta (sensor de vento)

Componente responsável por fornecer a medida de orientação do vento que aciona o dispositivo que posiciona a face da turbina.

2.2.1.12 Torre

As torres são as estruturas responsáveis pela sustentação e posicionamento do conjunto rotor–nacele a uma altura conveniente ao seu funcionamento. As torres podem ser do tipo cônica ou treliçada e construídas a partir de diferentes materiais (CUSTÓDIO, 2013). As torres cônicas podem ser de aço laminado ou concreto protendido, e as torres treliçadas utilizam aço galvanizado. Há também as chamadas torres (cônicas) híbridas, nas quais a parte de baixo da torre (cerca de 60 metros) é construída em concreto e a parte superior é feita em aço. As duas partes são acopladas através de um anel de transição. A definição do tipo de torre/material depende de fatores como custo, altura do aerogerador, facilidade de transporte, montagem e manutenção. De maneira geral, pode-se dizer que as torres de aço cônicas são mais utilizadas em alturas menores, na faixa de 80 a 100 metros, enquanto as torres de concreto, híbridas ou as treliçadas são mais empregadas em alturas maiores, acima de 100 metros. As torres treliçadas são mais comumente

empregadas em situações que requerem uma logística simplificada, como instalações em locais de difícil acesso.

As torres representam de 20 a 25% do custo do aerogerador. No caso das torres cônicas de aço, são utilizadas de 100 a 200 toneladas deste material, dependendo da altura – aproximadamente 98% da torre é feita de aço. Neste caso a torre correspondendo a cerca de 65% do peso do aerogerador. As torres de concreto são bem mais pesadas, atingido 850 toneladas apenas em sua parte estrutural. Além dos componentes estruturais, que correspondem a cerca de 90% do custo de material, fazem parte das torres uma série de componentes internos, tais como: escadas, elevadores, plataformas, suportes, guard-rails, etc,... A Figura abaixo apresenta alguns dos componentes internos das torres (ABDI, 2014).

Nos parques eólicos instalados no Brasil são mais comuns as torres cônicas de aço e as híbridas. Recentemente as torres totalmente de concreto vêm ganhando espaço no mercado brasileiro e novos fabricantes estão atualmente desenvolvendo protótipos no país.

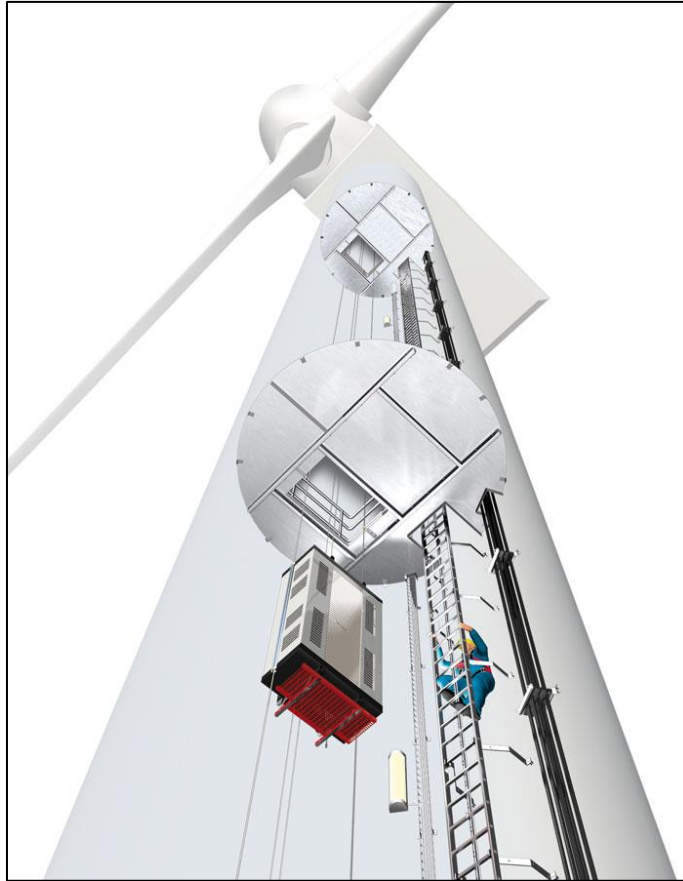


Figura 4 – Esquema interno da torre

Fonte: Hailo Professional



Figura 5 – Torre cônica de concreto

Fonte: ACCIONA



Figura 6 – Torre Trelçada

Fonte: Brametal

No topo da torre é instalado um rolamento que possibilita o movimento da nacelle, de maneira a permitir o alinhamento dela com o vento, otimizando a rotação das pás.

2.2.1.13 Fundações

Estrutura de aço e concreto com a finalidade de sustentar a torre e o aerogerador.



Figura 7 – Preparação da fundação

Fonte: Seta Engenharia

2.2.1.14 Gerador

É a máquina responsável pela produção de energia elétrica. Há dois modelos utilizados em aerogeradores: máquinas síncronas e máquinas assíncronas.

Os tipos de geradores são: gerador de indução (assíncrono) com rotor de gaiola (squirrel cage induction generator – SCIG); gerador de indução com rotor ventilado (wound rotor induction generator – WRIG); gerador de indução duplamente excitado (doubly fed induction generator – DFIG); gerador síncrono de excitatriz com ímãs permanentes (permanent magnet synchronous generator – PMSG); gerador síncrono excitado eletricamente – com enrolamento de campo (electrically excited synchronous generator – EESG). O gerador síncrono chama-se alternador e o gerador assíncrono se designa indução (ABDI, 2014).

O nome síncrono se deve ao fato de a máquina operar com uma velocidade de rotação constante sincronizada com a frequência da tensão elétrica alternada aplicada aos seus terminais, ou seja, devido ao movimento igual de rotação entre o campo girante e o rotor (sincronismo entre campo do estator e rotor). Os geradores assíncronos rodam com uma velocidade superior à velocidade de sincronismo,

existindo escorregamento do rotor em relação ao campo girante. A máquina assíncrona não necessita de excitatriz.

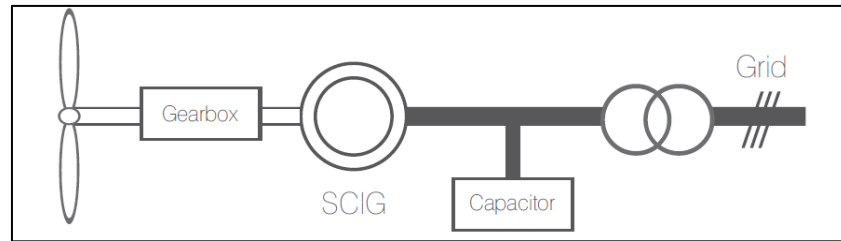


Figura 8 – Esquema de um gerador do tipo SCIG

Fonte: ABDI

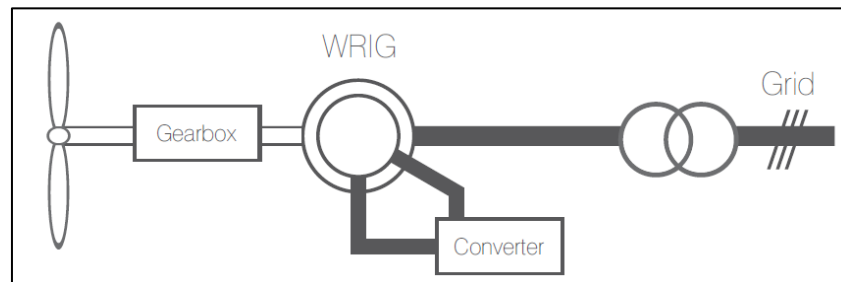


Figura 9 – Esquema de um gerador do tipo WRIG

Fonte: ABDI

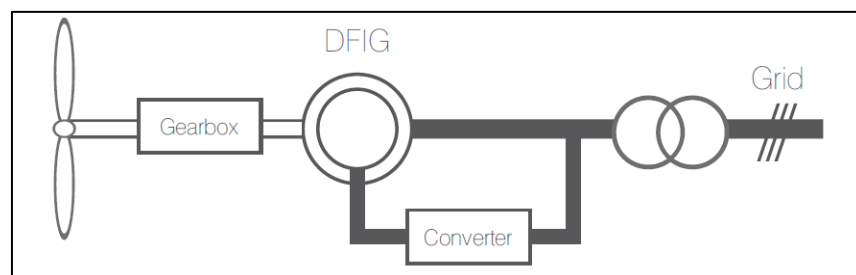


Figura 10 – Esquema de um gerador do tipo DFIG

Fonte: ABDI

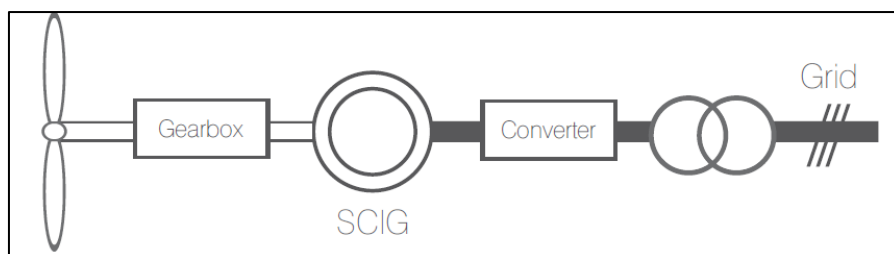


Figura 11 – Esquema de um gerador do tipo SCIG com conversor de larga escala

Fonte: ABDI

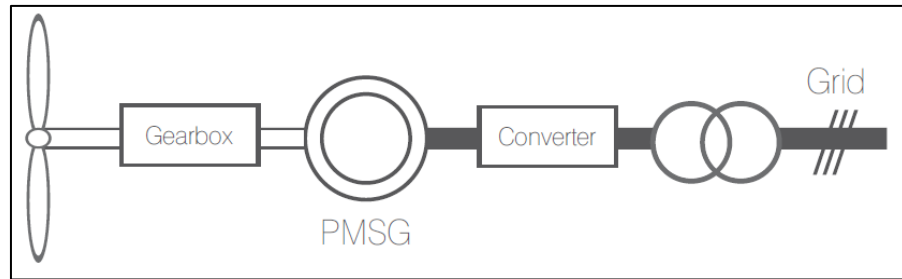


Figura 12 – Esquema de um gerador do tipo PMSG com conversor de larga escala

Fonte: ABDI

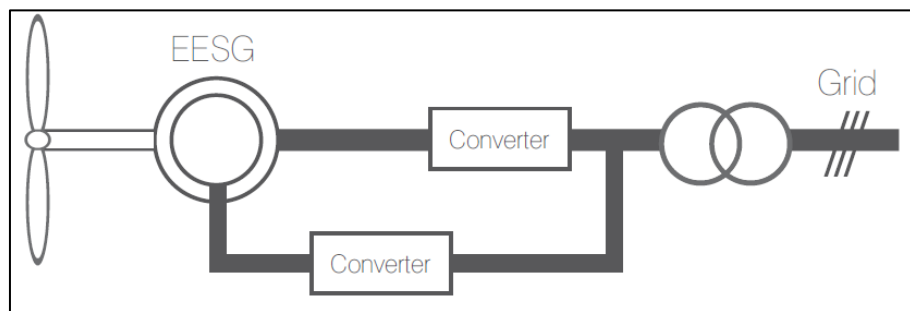


Figura 13 – Esquema de um gerador de acionamento direto do tipo EESG

Fonte: ABDI

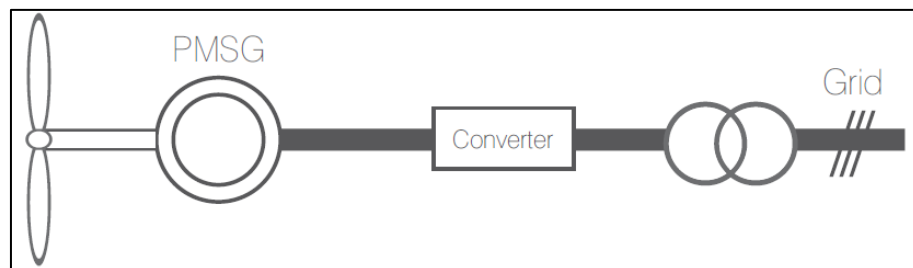


Figura 14 – Esquema de um gerador de acionamento direto do tipo PMSG

Fonte: ABDI

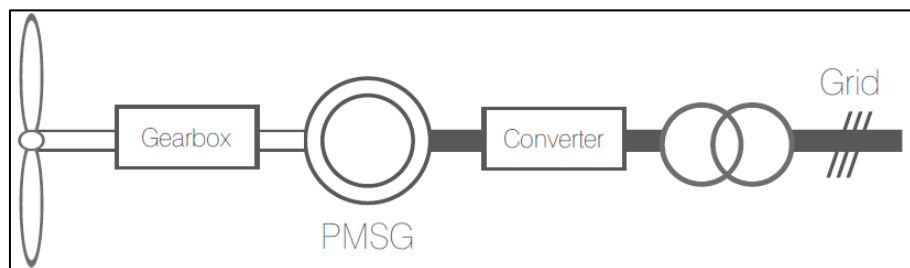


Figura 15– Esquema de um gerador do tipo PMSG com caixa de engrenagem de estágio único

Fonte: ABDI

2.2.1.15 Transformador

Dispositivo elétrico responsável por elevar a tensão de geração ao valor da rede elétrica ao qual o aerogerador será conectado (no Brasil: 60Hz). Pode ser instalado no chão, próximo ao aerogeador ou na torre, internamente ou no lado externa, fixado em determinada altura.

3 SISTEMAS PROTECIONAIS, CERTIFICAÇÃO E TIPOS DE MANUTENÇÃO EM AEROGERADORES

Neste capítulo é apresentado os principais sistemas protecionais em aerogeradores e as principais normas e certificações vigentes para turbinas eólicas, assim como os principais tipos de manutenção.

3.1 Sistemas Protecionais de um aerogerador

Neste capítulo o objetivo é descrever os principais sistemas protecionais e de segurança em aerogeradores, abordando também alguns aspectos importantes sobre a etapa de construção.

3.1.1 Sistema de Controle (controlador)

O sistema de controle é o dispositivo responsável pelo funcionamento adequado do aerogerador, mantendo-o conforme suas características de projeto e especificação do fabricante. O controlador tem como objetivo monitorar, supervisionar e acionar diversas chaves, bombas hidráulicas, válvulas e motores no interior da turbina, além de realizar a comunicação com o operador da turbina por meio de um link de telefonia ou rádio, trocando informações de alarme, sinalização e comando (LOPES, 2012).

Geralmente há um controlador na base da torre e outra na nacele, com link de fibra óptica para comunicação. Em alguns aerogeradores há um terceiro controlador conectado no cubo do rotor. Este dispositivo é interligado com o controlador da nacele por comunicação serial (LOPES, 2012).

As principais variáveis que são monitoradas são:

- velocidade de rotação do rotor;

- tensão e corrente do gerador;
- temperaturas internas e externas à turbina;
- temperatura do óleo e mancais de transmissão;
- temperatura do gerador;
- pressão hidráulica;
- ângulo de giro de cada pá do rotor;
- ângulo do dispositivo de orientação;
- direção e velocidade do vento;
- intensidade e frequência de vibrações na nacele e pás do rotor;
- número de torções dos condutores elétricos;
- alarme de instrução na torre;
- incidência de descargas atmosféricas e suas intensidades;

Os principais objetivos de um sistema de controle são:

- Promover o funcionamento automático do equipamento;
- Permitir que o aerogerador funcione em harmonia com o vento;
- Conectar e desconectar o gerador, realizando adequadamente as partidas e paradas do aerogerador;
- Proteger a turbina de sobrevelocidades, vibrações e sobreaquecimento
- Otimizar o rendimento do aerogerador;
- Aumentar a vida útil do aerogerador, minimizando condições adversas.

Embora a implantação do sistema de controle represente um custo elevado, esse investimento é pouco se comparado ao custo total do aerogerador.

O controlador deve ser projetado para proteger todos os componentes, sem interferir na sua operação. O controle integra dispositivos de segurança para garantir a parada do gerador na ocorrência de uma condição anormal.

O programa de controle inclui ferramentas para diagnóstico que detectam em tempo real anomalias ou operações indevidas, tanto no próprio sistema de controle como nos demais sistemas do aerogerador, forçando sua parada de emergência e identificando a causa do problema. Logo, a segurança do sistema é mantida e os custos de operação e manutenção são minimizados.

Os meios atuantes do sistema de controle são:

- Entrada de controle: transmite os sinais advindos dos sensores distribuídos pelo aerogerador para o controle central, processando-os e transmitindo ordens de controle adequados aos dispositivos atuantes;
- Sinalização e alarme: recebe os sinais advindos de anomalias nos componentes do aerogerador e ordena com prioridade a parada de emergência do equipamento, até o desaparecimento da causa;
- Saída de controle: transmite os sinais elétricos de execução das instruções geradas do centro de controle, acionando os atuadores correspondentes.



Figura 16 - sensor de rotação de uma turbina eólica

Fonte: IMIA, 2009

- **Partida/conexão à rede elétrica:** O sistema monitora a velocidade do vento continuamente. Se durante alguns minutos, a velocidade do vento é suficiente para o funcionamento do aerogerador, o processo de partida automática é iniciado. O sistema de orientação é ativado e as pás do rotor são posicionadas para funcionamento conforme o controle de potência.

- **Desconexão com a rede elétrica:** As paradas e desconexões são realizadas devido a falhas na rede elétrica, ultrapassagem dos limites de operação e anomalias internas na nacela. O sistema de controle de potência (passo ou estol) com auxílio de sistemas de frenagem, atuam na parada do aerogerador quando este atinge o limite de velocidade.

- **Proteção contra sobrecorrente:** Um estado de sobrecorrente moderado pode causar sobre-aquecimento em um circuito, resultando em danos na isolação, nos condutores e equipamentos. A sobrecorrente com valor elevado derrete o condutor e danifica a isolação, comprometendo o sistema elétrico. As situações de sobrecorrentes são divididas nas categorias de sobrecarga e curto-circuito.

Uma sobrecarga é uma sobrecorrente confinada em um circuito de corrente normal. A sobrecarga sustentada normalmente é causada por defeitos em equipamentos ou por excesso de cargas conectadas.

Um curto-circuito pode ser causado pelo rompimento da isolação, falha de conexão, erro de operação ou manutenção. Durante um curto-circuito, correntes extremamente elevadas podem fluir através dos componentes do sistema.

Os dispositivos de proteção contra sobrecorrente devem desconectar as cargas antes que sejam danificadas, e permitir o fluxo de alta corrente durante a partida do gerador.

- **Proteção contra sub/sobre-tensão:** O sistema de controle que supervisiona os parâmetros operacionais da máquina, possibilita especificar condições de alarme e desligamento por sobre e subtensão.

- **Proteção contra subfrequência e sobrefrequência:** A referencia de frequência para a central eólica é obtida através da rede elétrica. Existe então a necessidade de incluir proteções da própria turbina com relação a ocorrências de altas e baixas frequências. Normalmente o sistema de controle de turbinas eólicas comerciais possui parâmetros ajustáveis para desligamento, caso a frequência esteja fora dos valores normais de operação, o que representa uma tolerância de +1Hz e -3Hz.

Proteção contra sobretemperatura: Nas centrais eólicas, o gerador e o multiplicador de velocidade têm suas temperaturas monitoradas. O gerador elétrico quando em funcionamento, perde uma parcela de energia em forma de calor. A sua temperatura é aproximadamente constante quando o funcionamento da central eólica está em perfeitas condições. Quando a temperatura ultrapassa o limite superior, o sistema gera um alarme. Se a temperatura continuar a subir, o sistema de controle atua na retirada do gerador do sistema elétrico. Quando o gerador está parado, para não prejudicar o seu sistema de isolamento elétrico, são ligadas resistências aquecedoras, para manter uma temperatura próxima da temperatura de trabalho.

Dentro do multiplicador de velocidade existem diversas engrenagens. Com o atrito entre elas, gera-se calor. Da mesma forma, pode-se gerar alarmes ou até mesmo desligar a central eólica devido ao aumento desta temperatura.

Proteção contra descargas atmosféricas: O primeiro passo na proteção de um sistema contra descargas atmosféricas é um aterramento apropriado. Um bom aterramento deve ter resistência entre as hastes de aterramento e o solo de no máximo 5Ω [11]. Os conjuntos eólicos são instalados geralmente em lugares altos e abertos, sendo imprescindível instalação de um sistema pára-raios. Esta proteção possibilita maior segurança dos equipamentos da central eólica e também das pessoas responsáveis pela manutenção.

Direcionamento da nacela: O controle de direcionamento da nacela “yaw”, é o sistema que permite ao rotor acompanhar as mudanças na direção do vento, fazendo com que o eixo do rotor (horizontal) fique sempre paralelo à mesma.

Controle de potência (Controle de passo ou estol): O controle de passo “pitch”, é um sistema que necessita de informações vindas do controlador do sistema, que verifica a potência de saída várias vezes por segundo. Sempre que a potência nominal do gerador é ultrapassada devido a um aumento da velocidade do vento, as pás do rotor giram em torno do seu eixo longitudinal, ou seja, as pás mudam o seu ângulo de passo para reduzir o ângulo de ataque do vento. Esta redução do ângulo de ataque diminui as forças aerodinâmicas atuantes e, conseqüentemente, a extração de potência. Para todas as velocidades do vento superiores à velocidade nominal, o ângulo é escolhido de forma que a turbina produza apenas a potência nominal.

3.1.2 Sistema de Controle supervisão

É o sistema responsável por verificar o estado operacional (exemplo: partida, produção de energia elétrica, parada por falha) do aerogerador e verificar se a sequência para alterar a sua condição foi cumprida. Ele verifica se cada estágio foi concluído antes de acionar o próximo. Se algum estágio não for completado num

determinado período, ou se ocorrer qualquer falha, o controle supervisão conduz o aerogerador ao estágio de parada segura.

3.1.3 Sistema de Segurança

Tem como finalidade conduzir o aerogerador para uma condição de segura na ocorrência de, ou iminência de ocorrer, falhas graves. Geralmente, essa medida significa conduzir o equipamento para a parada segura com o sistema de freios aplicados. O controle supervisão deve ser capaz de iniciar e parar a operação do aerogerador, incluindo ventos extremos e perda da rede elétrica. O sistema de segurança deve ser independente do sistema de controle principal e ter o projeto voltada para alta confiabilidade.

Exemplos de ocorrência que acionam o sistema de segurança:

- Sobrevelocidade no rotor: limite de velocidade superior ao ajustado no software do supervisão, que já teria iniciado a parada segura;
- Sensor de vibração: indica falha estrutura;
- Tempo do watchdog espiado: o controlador deve ter o temporizador do watchdog resetado periodicamente. A falha do reset é indicativa de falha e o sistema de segurança conduz o aerogerador para a parada segura;
- Botão de emergência acionado por operador;
- Falha no controlador principal.

3.1.4 Sistema de Resfriamento

Devido à operação da caixa de engrenagem e do gerador a temperatura no interior da nacela pode ser bem elevada. Existem 2 sistemas de refrigeração: um para a caixa multiplicadora que suporta os esforços mecânicos entre os dois eixos e

outro para o gerador. São dispostos ventiladores especiais para refrigeração da nacele e trocadores de calor externos para a caixa de engrenagem e gerador.

3.1.5 Sistema de Aquecimento

Em locais onde a temperatura pode ser muito baixo, são utilizados aquecedores para evitar o congelamento do óleo lubrificante. As pás da turbina e os anemômetros também devem ser aquecidos para prevenir a ocorrência de erro na operação e/ou danos.

3.1.6 Aterramento

Todas as instalações elétricas necessitam estar conectadas a um aterramento para evitar descargas elétricas em pessoas e animais, estabelecer um caminho de baixa impedância para a corrente elétrica de fuga, proteção contra descargas atmosféricas e prevenção de formação de elevadas diferenças de potencial nos equipamentos.

Os sistemas eólicos possuem peculiaridades quanto ao aterramento:

- os parques eólicos são constituídos por vários aerogeradores instalados em distâncias consideráveis entre si;
- os aerogeradores tem alto risco de incidência de descargas atmosféricas em função da altura e instalação em local aberto;
- grande área com solos de resistividade de média para alta
- rede de média-tensão interligando os aerogeradores entre si e à subestação

O Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) recomenda que a instalação de um parque eólico tenha um sistema contínuo de aterramento conectando todos os equipamentos (subestação, transformadores, torres,

aerogeradores, equipamentos eletrônicos, etc.). É convencional o uso do mesmo sistema de aterramento para a instalação elétrica e proteção contra descargas atmosféricas. Entretanto, o comportamento da corrente de alta frequência proveniente da descarga atmosférica é diferente da corrente em 60 Hz ou 50 Hz.

3.1.7 Sistema de proteção contra descargas atmosféricas

Segundo (PINTO, 2012) as torres das turbinas eólicas modernas alcançam alturas que já superam os 100 m. A grande dimensão, a geometria e o fato de serem estruturadas instaladas geralmente em locais isolados e por vezes montanhosos significam que elas são extremamente vulneráveis à ação dos relâmpagos. A incidência de descargas atmosféricas no Brasil merece atenção, pois se trata do país com maior incidência no mundo, em torno de 50 milhões por ano.



Figura 17 - Descarga atmosférica nas proximidades de um parque eólico

Fonte: Clean And Green Law

A incidência maior de descargas atmosféricas acontece na ponta das pás da turbina. Há soluções para supressão de descargas atmosféricas, tais como: receptores metálicos na ponta das pás; múltiplos receptores ao longo das pás. A

corrente elétrica incidente no receptor é conduzida por condutor flexível, situado no interior da pá, até o aterramento na base da torre.

No passado a ideia predominante era que não havia a necessidade de proteção para as pás, uma vez que são feitas de material não-condutivo (plástico reforçado com vidro ou madeira com epóxi). Entretanto, a fibra de carbono, utilizada para reforçar a composição desse material é condutora de eletricidade. Logo, se faz necessário precauções adicionais pois descargas elétricas atmosféricas podem causar danos catastróficos nas pás.

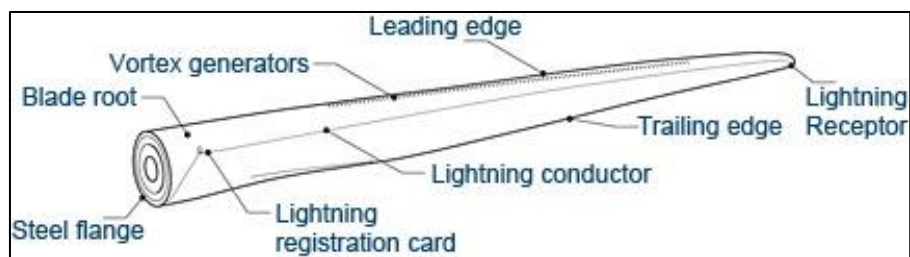


Figura 18 - Esquema para proteção de descargas atmosféricas em pás de aerogeradores

Fonte: LM Wind Power

Uma pá sem proteção é extremamente vulnerável ao impacto de um raio. Nesta situação, é formado um arco elétrico que se estende desde o ponto de contato através de outros componentes condutores até a base e pode-se atingir temperatura de 30.000 °C. O resultado é uma expansão explosiva do ar contido na pá. Os efeitos são danos à superfície, danos por pressão, de laminação e derretimento do material. A incidência de raios também pode produzir danos ocultos e causar problemas a longo prazo que reduzem significativamente a vida útil da pá.

Danos às pás eólicas podem levar a períodos de interrupção de geração de energia elétrica e consequente redução do ganho financeiro. As turbinas eólicas mais antigas geralmente apresentam danos no sistema de controle, ao passo que as turbinas mais modernas experimentam mais frequentemente danos com as pás. Essa mudança foi a dois fatores importantes: aumento do tamanho das turbinas e melhoria do sistema de controle na proteção dos transitórios. Os diferentes tipos de proteção contra raios são:

- Sistemas de captação aérea nas pás;
- Fitas de alta resistência e desviadores;
- condutores instalados dentro das pás;
- Material condutor na superfície das pás;

O sistema de proteção consiste em um receptor instalado na área da ponta da pá. No caso mais simples, trata-se de um metal que é aparafusado, podendo ser facilmente removido. No interior da pá, um fino cabo metálico é estendido até a base da pá. Onde um condutor é conectado ao cubo com uma fita metálica flexível, e, portanto, ao sistema de aterramento da turbina eólica.

A avaliação de risco deve incluir considerações sobre a localização da turbina em relação à frequência e intensidade dos raios na geografia e topologia em questão. A orientação oficial sobre a proteção de relâmpagos em turbinas eólicas é dada pela norma IEC 61400-24, que informa o número de ataques de raios a turbinas eólica depende basicamente da altura e localização.

3.1.6 Fundações e obras civis

As fundações devem ser projetadas e executadas para suportar o aerogerador em cargas extremas, estabelecidas na pior condição de ocorrência num período de 50 anos, por exemplo. Logo, o primeiro passo na especificação das fundações é o cálculo da carga. Os fabricantes de aerogeradores costumam fornecer a especificação completa para as fundações e se faz necessário o cumprimento das recomendações na íntegra para evitar acidentes na instalação da torre e problemas estruturais após a instalação do equipamento.

Para a execução do parque eólico são necessários: estradas de acesso para o transporte e movimentação dos materiais, execução de obras civis na subestação, sala de controle e oficina de manutenção.

A torre do aerogerador geralmente está sujeita à força mais intensa no topo. Portanto, para uma escolha adequada do tipo de fundação se faz necessário pesquisar as condições do solo através de estudo de sondagem, mapas geológicos e outros recursos. Solos constituídos por rocha, areia pântano ou terra encharcada necessitam de projeto específico para a instalação do sistema eólico, que pode ser definido entre o fabricante e o instalador. Uma fundação reforçada para a situação mais extrema pode custar até 50% a mais do que uma fundação para uma situação normal.

É importante destacar que o tipo de turbina escolhida também terá influência no dimensionamento da fundação. Turbina com controle de estol não tem a opção de desligar as pás, de modo que elevadas cargas estáticas possam surgir com esta opção, fato que é importante no dimensionamento da fundação e consequentemente no custo do empreendimento.

3.2 Normalização em energia eólica e Certificação de aerogeradores

3.2.1 Normalização em energia eólica

Normalização é uma atividade coletiva de elaboração de documentos contendo conhecimentos técnicos em forma de regras, diretrizes, ou características com um alto grau de ordenação que sejam destinados ao uso comum e repetitivo. O principal produto desta atividade é a norma, que deve ser estabelecida por consenso e aprovada por um organismo reconhecido (CTGÁS-ER, 2012)

A normalização desenvolve-se fundamentalmente através de organismos nacionais, regionais e internacionais. Os organismos nacionais buscam a harmonização dos interesses do governo, indústria, consumidores e comunidade científica de seu país enquanto que os internacionais unem ações normativas resultantes de cooperações e acordos entre diferentes países. Há ainda algumas organizações e empresas que possuem seu sistema de normalização próprio. De uma forma geral, quanto mais restrito o âmbito de elaboração da norma, mais

restritiva é a norma elaborada, por trazer mais especificidades locais. Normas internacionais tendem a ser mais genéricas

Atualmente, as normas técnicas internacionais de energia eólica englobam requisitos de segurança, técnicas de medição e procedimentos de testes de equipamentos e são desenvolvidas pelo Comitê Técnico 88 da Comissão Eletrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission - IEC). Este comitê é formado por representantes de 25 países, tendo ainda a participação de 13 países observadores. O Brasil é um dos países observadores na IEC, sendo representado pelo COBEI, Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações através de um acordo com a ABNT. As normas e especificações técnicas (TS) atualmente em vigor sob responsabilidade do CT 88 são:

- **IEC 61400-1:** Requisitos de projeto (Design requirements) - Edição 3.0, (2005): Especifica os requisitos essenciais de projeto para assegurar a integridade de engenharia dos aerogeradores. O objetivo é o de disponibilizar um nível adequado de proteção contra danos causados por todo tipo de risco durante toda a vida útil prevista.

- **IEC 61400-2:** Requisitos de projeto para turbinas eólicas de pequeno porte (Design requirements for small wind turbines) - Edição 2.0, (2006). : É equivalente a norma parte 1, porém voltada para aerogeradores de pequeno porte, ou seja, com raio do rotor inferior a 8 m e nível de tensão de geração inferior a 1.000V em corrente alternada, ou 1.500V em corrente contínua.

- **IEC 61400-3:** Requisitos de projeto para turbinas eólicas offshore (Design requirements for offshore wind turbines) - Edição 1.0, (2009). Também é equivalente a norma parte 1, porém voltada para aerogeradores fabricados para serem instalados no mar.

- **ISO 61400-4:** Projeto e especificação de caixas de engrenagens (multiplicador de velocidade) (Design and specification of gearboxes) - Edição 1.0, (2012): Esta norma traz requisitos para projeto, fabricação e verificação de caixas de engrenagem com objetivo de garantir uma alta confiabilidade operacional. Sua elaboração foi iniciada em 1993, quando a Associação Americana de Fabricantes de Engrenagens – AGMA, tornou-se responsável pela secretaria do comitê técnico 60

da Organização Internacional de Normalização - ISO, sendo publicada inicialmente como a recomendação AGMA/AWEA 6006-A03 em 1996 e como uma norma nacional americana em 2003.

Apesar de normas internacionais sobre engrenagem serem normalmente escopo da ISO, por se tratar de um tema estratégico sobre aerogeradores, foi montado um grupo misto entre o TC60 da ISO e o TC88 da IEC, passando a ser adotada pela ISO a partir de 2005 de forma reconhecida pela IEC. Esta norma foi revisada e publicada como IEC 61400-4 em 2012.

- **IEC 61400-11:** Técnicas de medição de ruído acústico (Acoustic noise measurement techniques) - Edição 2.1, (2006). Define a metodologia para medição da emissão de ruído acústico dos aerogeradores.

- **IEC 61400-12-1:** Medições de desempenho de geração (Power performance measurements of electricity producing wind turbines) - Edição 1.0, (2005). Define as técnicas para medição da potência de geração da turbina eólica e definição da sua curva de potência.

- **IEC/TS 61400-13:** Medição de carregamentos mecânicos (Measurement of mechanical loads) - Edição 1.0, (2001). Esta especificação técnica apresenta os procedimentos para medição dos carregamentos mecânicos com a finalidade de efetuar a validação dos cálculos de projeto e determinação da magnitude dos carregamentos atuantes no aerogerador sob condições específicas. O procedimento divide as condições de medição em duas categorias: regime permanente e eventos transientes, equivalentes às premissas de projeto definidas na IEC 61400-1.

As medições dos principais esforços devem ser realizadas preferencialmente por extensômetros ("straingauges") aplicados em locais adequados da pá, do eixo e da torre do aerogerador, os quais devem ser calibrados após instalação e suas grandezas medidas, verificadas. Além das medições de esforços, também devem ser medidas as condições do vento (velocidade, turbulência, direção e densidade) e os parâmetros operacionais do aerogerador (velocidade de rotação, erro de yaw, potência elétrica e ângulo de passo).

- **IEC/TS 61400-14:** Declaração do nível de potência sonora aparente e dos valores de tonalidade (Declaration of apparent sound power level and tonality values)

- Edição 1.0, (2005). Especificação técnica que define os métodos para a declaração do nível de potência sonora e os valores das componentes tonais emitidos pelas turbinas eólicas.

- **IEC 61400-21:** Medição e avaliação das características de qualidade de energia de aerogeradores conectados a rede (Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines) - Edição 2.0, (2008). Define os métodos para medir a qualidade do sinal elétrico produzido por turbinas eólicas.

- **IEC 61400-22:** Ensaios de conformidade e certificação (Conformity testing and certification) - Edição 1.0, (2010). Define as regras e procedimentos para certificação de tipo da turbina eólica e para certificação de projetos de parque eólico instalado

- **IEC/TS 61400-23:** Testes estruturais das pás do rotor em escala real (Full-scale structural testing of rotor blades) - Edição 1.0, (2001). Cada novo tipo de pá fabricado deve ser testado em escala real para verificação de seu projeto estrutural e da adequação dos processos de fabricação. Os testes descritos nesta especificação técnica têm como objetivo verificar se a pá resiste às tensões estáticas e de fadiga definidas em seu projeto.

- **IEC/TR 61400-24:** Proteção contra raios (Lightning protection) - Edição 1.0, (2010). Este relatório técnico da IEC traz vários aspectos sobre a proteção contra descargas atmosféricas em turbinas eólicas, desde o status atual do conhecimento sobre o fenômeno e seus impactos sobre aerogeradores, tendo como base o histórico de vários casos de equipamentos atingidos por raios. Até o procedimento para avaliação de risco e aplicação de métodos apropriados para proteção contra descargas atmosféricas.

- **IEC 61400-25-1 a 6:** Comunicações para monitoramento e controle de usinas eólicas (Communications for monitoring and control of wind power plants). Conjunto de seis normas que definem os protocolos de comunicação para medição e controle remoto de parques eólicos.

- **IEC/TS 61400-26-1:** Disponibilidade baseada no tempo para aerogeradores (Time-based availability for wind turbine generating systems) - Edição 1.0, (2011).

Especificação técnica recente que define termos genéricos para descrever a disponibilidade do aerogerador e seus componentes, a expectativa de vida, reparos e critérios para determinar os intervalos de manutenção.

Em 2005, o COBEI criou uma comissão técnica para elaborar as normas brasileiras na área de energia eólica e aproximar-se do comitê técnico 88 da IEC, aumentando a participação brasileira neste segmento. Atualmente, 3 normas do TC88 já foram traduzidas para o português e adotadas pela ABNT, são elas : ABNT NBR IEC 61400-1:2008, ABNT NBR IEC 61400-21:2010 e ABNT NBR IEC 61400-12-1:2012.

3.2.2 Certificação de aerogeradores

3.2.2.1 Introdução

Para que um aerogerador possa ser comercializado internacionalmente é necessário que ele possua certificados de conformidade a requisitos de projetos definidos e aceitos, esses certificados são normalmente emitidos por organizações independentes e compreendem a turbina eólica completa ou seus componentes, como pás, caixas de engrenagens ou torres (WOEBBEKING, 2010). A certificação de aerogeradores teve início na Dinamarca, Alemanha e Holanda há cerca de 30 anos, através da aplicação de procedimentos locais (CTGÁS-ER, 2012).

Com o desenvolvimento do mercado global de energia eólica, outros países, como China, Grécia, Índia, Espanha, Suécia e EUA também desenvolveram suas instituições de certificação para apoio ao desenvolvimento da indústria eólica local, com uma tendência à utilização das normas internacionais emitidas pela IEC.

A IEC publicou em 2001 a norma WT 01 que trazia as regras e procedimentos para se obter a certificação de tipo para um aerogerador e a certificação de projeto para uma central eólica. Em 2010 esta norma foi revisada e recebeu a numeração 61400-22, passando a fazer parte da série de normas 61400.

3.2.2.2 Certificação de Tipo

A certificação de tipo é uma confirmação da conformidade do aerogerador aos requisitos técnicos definidos por procedimentos reconhecidos emitida por um órgão certificador independente. De acordo com os procedimentos para certificação definidos na IEC 61400-22 (2008), a certificação de tipo para aerogeradores se subdivide em oito módulos, sendo cinco obrigatórios: avaliação das bases do projeto (projeto básico), avaliação do projeto, avaliação da fabricação, ensaios de tipo e avaliação final; e três opcionais: avaliação do projeto da fundação, avaliação da construção da fundação e medições das características de tipo, conforme figura 1 (CTGÁS-ER, 2012):

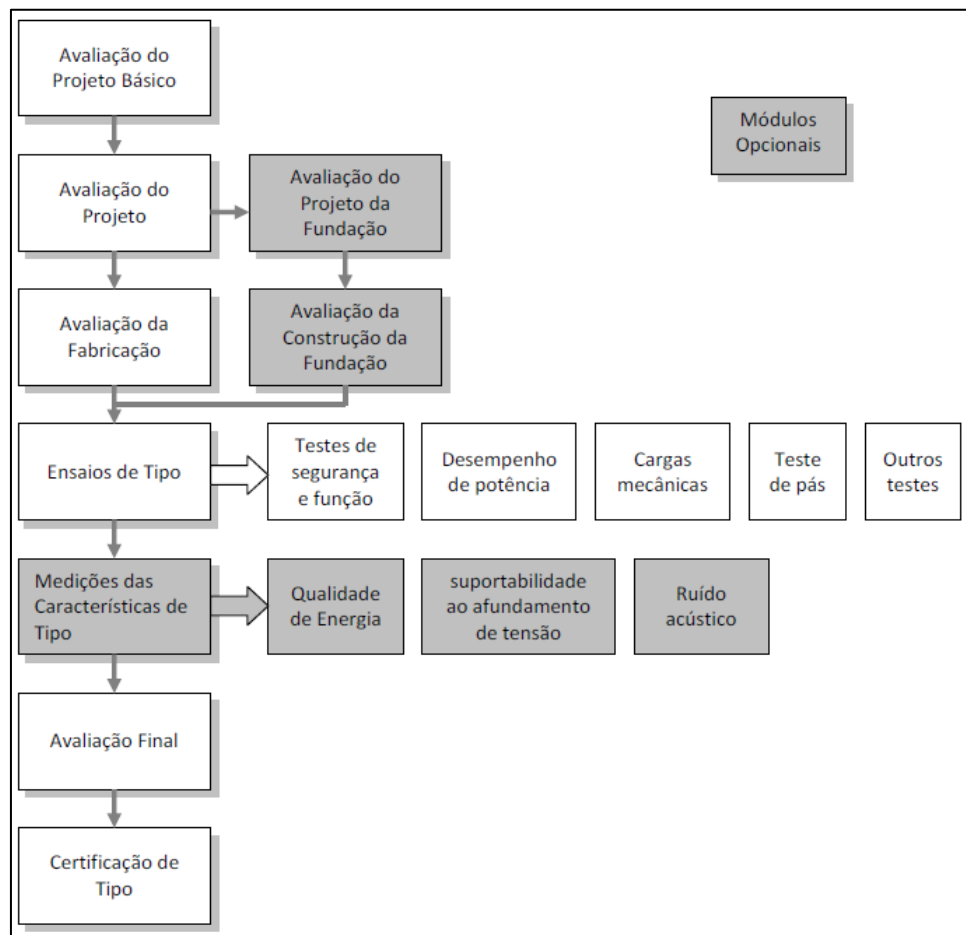


Figura 19 - Módulos da certificação de Tipo.

Fonte: CTGÁS-ER, 2012

3.3 Manutenção em parques eólicos

A pesar dos equipamentos em um parque eólico funcionarem de forma autônoma, é necessário realizar sua supervisão e estar preparado para responder de maneira imediata diante de qualquer evento para assegurar a máxima disponibilidade das máquinas.

A implementação e execução de um plano de manutenção adequado é primordial para manter a produção de energia no máximo nível (IMPESA, 2014)

3.3.1 Manutenção corretiva ou não-programada

As modernas turbinas eólicas apresentam um pequeno número de falhas por ano. Para um parque eólico de pequeno porte, tipicamente esses defeitos são diagnosticados e resolvidos por uma equipe bem treinada de manutenção de duas pessoas, em poucas horas de trabalho (COPEL, 2007).

Apesar de tais defeitos não serem previsíveis para um determinado tipo de turbina eólica, seu número é previsível ao longo de um ano. Usualmente o fabricante da turbina eólica, usando uma combinação de experiência operacional e análise estatística, é capaz de fornecer estimativas para cada um dos principais subsistemas da turbina eólica. Além disso, o tempo médio entre reparos também pode ser estimado.

3.3.2 Manutenção preventiva ou programada

As visitas de manutenção preventiva são programadas tipicamente uma vez ao ano por turbina eólica. Se o vento na região tem um comportamento sazonal e diurno bem definido, então a manutenção preventiva pode ser planejada para o período do ano e nas horas do dia em que o vento é mais fraco, minimizando as perdas na produção de energia. Dependendo do tamanho da usina, do projeto da

turbina e da experiência da equipe de trabalho, a manutenção preventiva leva poucas horas de trabalho por turbina e uma equipe de duas pessoas. Já a manutenção da subestação e do sistema de transmissão de energia tem um impacto maior na produção de energia (COPEL, 2007).

Dependendo do projeto da turbina e das condições de operação, revisões gerais ocorrem em ciclos de periodicidade maior (1 a 5 anos). Durante a revisão geral são verificadas a caixa de redução (quando for o caso) e outras partes móveis. Podem haver, entretanto, subsistemas que requeiram reparos ou substituição com frequência diferente da revisão geral. A troca das pás da turbina eólica é um exemplo de troca não frequente de subsistema.

4 – ACIDENTES COM DANOS MATERIAIS EM TURBINA EÓLICAS

Este capítulo apresenta os danos materiais de aerogeradores noticiados e coletados através de duas fontes, uma associação especializada e uma companhia seguradora. Há uma breve descrição sobre a modalidade de seguro para redução de perdas financeiras durante a fase operacional em parques eólicos.

4.1 Caithness Windfarm Information Forum

Não há um órgão oficial que documente cientificamente os acidentes envolvendo turbinas eólicas. Entretanto, existe o banco de dados da entidade escocesa Caithness Windfarm Information Forum (CWIF), que tem apenas o cunho jornalístico, sem o rigor científico (PINTO, 2012).

O CWIF é um grupo de pessoas preocupadas com a proliferação de parques eólicos na Escócia, particularmente nas Highlands (terras altas) e mais particularmente em Caithness e Sutherland. O grupo possui um vasto banco de dados mundial descrevendo todos os tipos de acidentes (fatais ou danos materiais) com aerogeradores, de 1975 até os dias de hoje, o qual é atualizado periodicamente através do site do grupo na web.

Todos os acidentes, envolvendo apenas danos materiais, relacionados a turbinas eólicas que puderam ser encontrados e confirmados através da imprensa ou informação oficial até 30 de setembro de 2014 são mostrados quantitativamente nas tabelas abaixo. Salvo raras exceções, até meados de 1997, somente foram encontradas informações relacionadas a acidentes fatais. O CWIF acredita que esse relatório de acidentes pode ser o mais abrangente disponível que existe, com tais dados podendo mostrar somente a “ponta do iceberg” em termo de números de acidentes e sua frequência. A tendência é, como esperado, que, quanto mais turbinas forem construídas, mais acidentes ocorram.

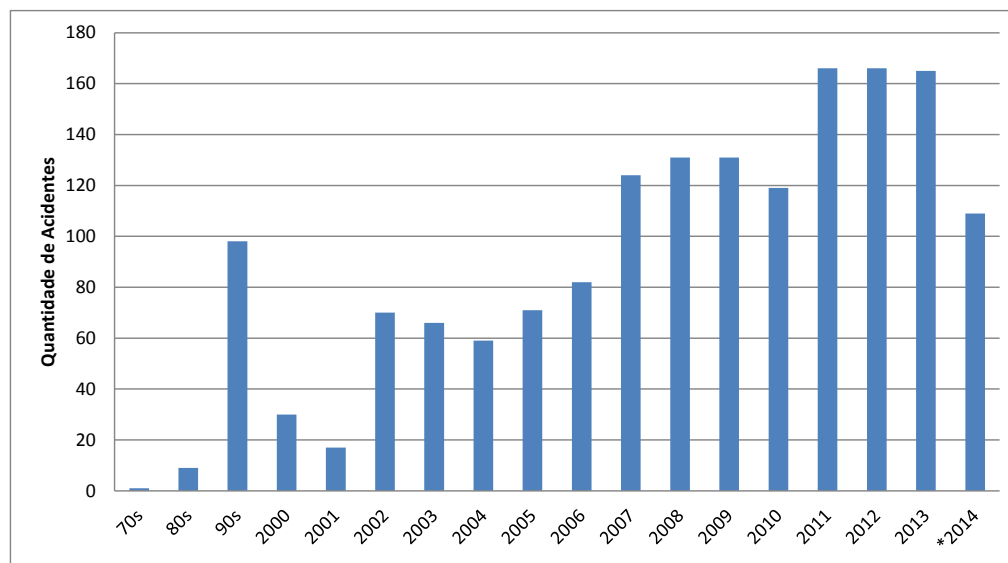


Figura 20 – Acidentes registrados em turbinas eólicas (*até 30 de setembro de 2014)

Fonte: CWIF, 2014

4.1.1 Número total de acidentes (fatais e danos materiais)

Tabela 1 – Número total de acidentes em parques eólicos

Ano	70s	80s	90s	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	*2014
Quantidade de Acidentes	1	9	98	30	17	70	66	59	71	82	124	131	131	119	166	166	165	109

Fonte: CWIF, 2014

Número total de acidente: 1614 (*até 30 de setembro de 2014)

4.1.2 Falhas da pá

Tabela 2 – Número de acidentes de falhas da pá

Ano	70s	80s	90s	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	*2014
Quantidade de acidentes			35	4	6	15	13	15	12	16	22	20	26	20	19	28	30	18

Fonte: CWIF, 2014

Número total de acidente: 299 (*até 30 de setembro de 2014)

Nota-se que a maioria dos acidentes de danos materiais encontrados se devem a falhas da pá. Essas falhas podem ter causas de distintas fontes, ocasionando o arremesso parcial ou total da pá.

Há registros de pedaços de pá encontrados a cerca de 1.600 metros do local da ruptura. Na Alemanha, pedaços de pá foram localizados nos telhados e paredes da vizinhança próxima de um parque eólico. Portanto, a CWIF acredita que tem que haver uma distância mínima de aproximadamente 2 km entre o parque eólico e a vizinhança local, de modo que se torna importância chamar a atenção local sobre a segurança pública e outros fatores como emissão de ruído e *flicker*.

4.1.3 Incêndio

Tabela 3 – Número de acidentes de incêndio

Ano	70s	80s	90s	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	*2014
Quantidade de acidentes			6	3	2	24	17	15	14	12	21	17	17	13	20	19	23	12

Fonte: CWIF, 2014

Número total de acidente: 158 (*até 30 de setembro de 2014)

O incêndio é o segundo tipo de acidente mais comum em turbinas eólicas. O fogo pode ter com causa diversas fontes – e alguns tipos de aerogeradores parecem ser mais suscetíveis aos outros. O maior problema com o fogo na turbina é que, por causa da altura da turbina, os bombeiros podem fazer muito pouco, além de observar o incêndio em si. Em um clima seco, há obviamente uma área de maior risco de incêndio, especialmente naquelas construídas perto de ou em áreas florestais e/ou próximas a regiões residenciais.

4.1.4 Danos estruturais

Tabela 4 – Número de acidentes de incêndio

Ano	70s	80s	90s	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	*2014
Quantidade de acidentes		1	14	9	3	9	7	4	7	9	13	9	16	9	11	10	14	6

Fonte: CWIF, 2014

Número total de acidente: 151 (*até 30 de setembro de 2014)

Trata-se do terceiro tipo de acidente mais comum. Considera-se falha estrutural quando acontece falha de um componente importante nas condições que ele foi projetado para resistir. Destacam-se danos decorrentes de tempestades às turbinas e com o colapso da torre. Entretanto, um sistema de controle de baixa qualidade, a ausência de manutenção e a falha de componentes podem também ser responsáveis. Apesar de a falha estrutural ser muita mais prejudicial (e mais cara) do que a falha na pá, as consequências do acidente e os riscos à saúde humana são bem menores, já que os riscos estão confinados à área relativamente próxima ao aerogerador.

4.1.5 Transporte

Tabela 5 – Número de acidentes de transporte

Ano	70s	80s	90s	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	*2014
Quantidade de acidentes						4		3	6	6	19	10	11	11	24	17	9	11

Fonte: CWIF, 2014

Número total de acidente: 131 (*até 30 de setembro de 2014)

Foram relatados 70 acidentes de danos materiais – incluindo a parte de uma turbina de 45 metros que, enquanto estava sendo transportada, se chocou com uma casa e outra que caiu na passagem por um túnel. A maioria dos acidentes envolve partes da turbina que caem dos veículos transportadores.

4.1.6 Outros casos

Tabela 6 – Número de acidentes (outros)

Ano	70s	80s	90s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	*2014
Quantidade de acidentes			13	7	4	12	13	11	12	16	18	24	27	25	43	36	33	27

Fonte: CWIF, 2014

Número total de acidente: 322 (*até 30 de setembro de 2014)

A falha de um componente é relatada aqui, se não houve danos estruturais. Também estão incluídos falta de manutenção, falha elétrica (descartando-se incêndios ou eletrocussão) e acidentes “planejados”, aos quais as torres foram instaladas mais próximas à habitações do que o permitido pela legislação. Acidentes de construção e de apoio à construções também foram incluídos. Também o foram acidente com relâmpagos, quando não resultaram em incêndios ou danos à pá.

4.2 GCube Insurance Services, Inc.

A GCube se trata de uma seguradora líder mundial em soluções de seguros para projetos de energias renováveis, oferecendo cobertura desde a fabricação, implantação e fase operacional, compreendendo, desta forma, todo o seu ciclo de vida. Com mais de 25 anos de experiência a GCube se tornou líder do setor, garantindo mais de 30.000 MW de projetos em todo mundo.

Com base no histórico da GCube na indenização de mais de 1.200 reclamações de sinistros desde 2008, totalizando mais de U\$\$ 200 milhões de dólares, a seguradora disponibilizou em 2012 um relatório das 5 maiores reclamações de sinistros no Estados Unidos da América (EUA) em energia eólica.

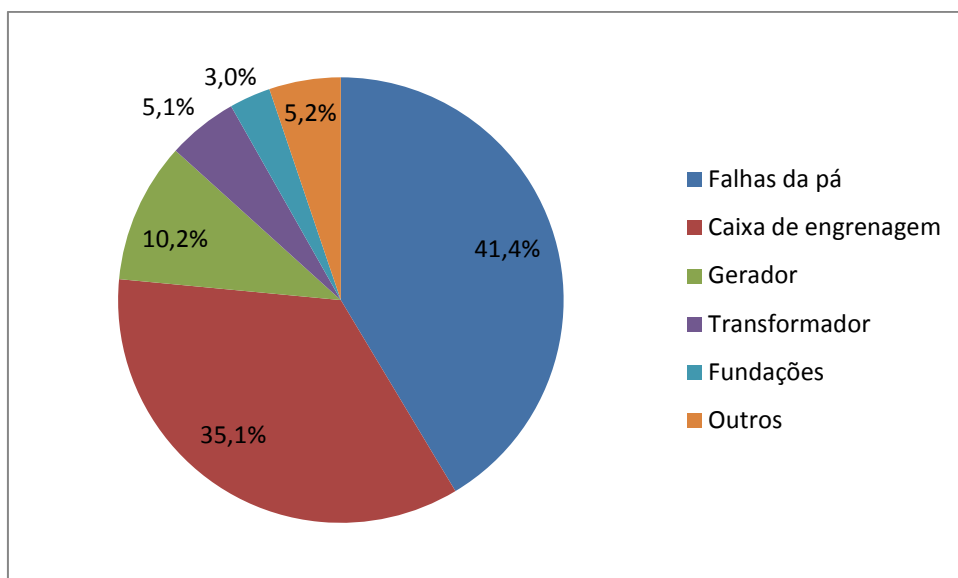


Figura 21 – Danos aos componentes mais frequentemente relatados

Fonte: GCube - 2012

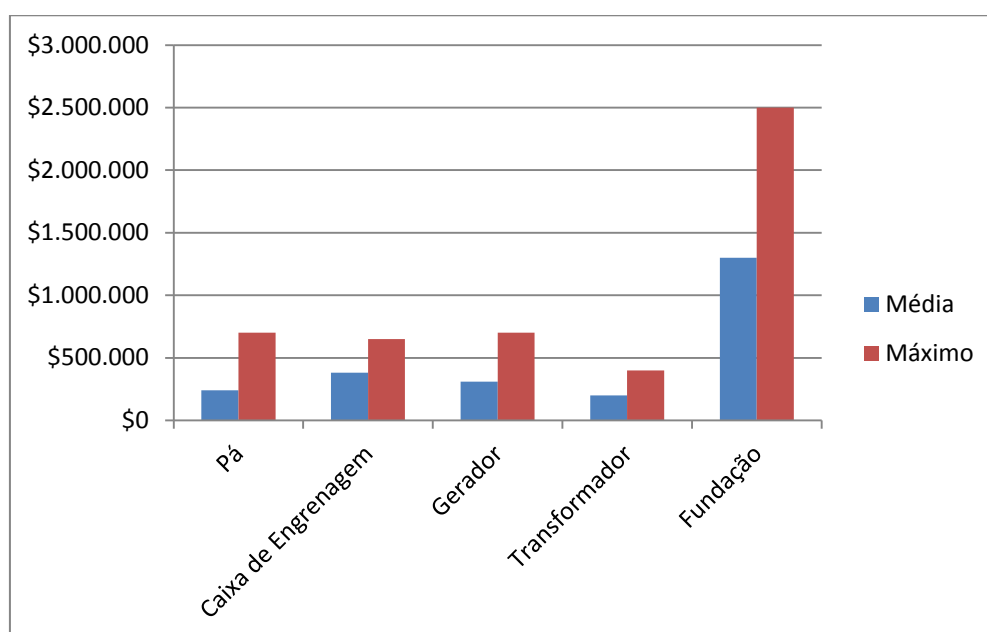


Figura 22 – Média e máximo valor indenizado por componente (em dólares americanos)

Fonte: GCube – 2012

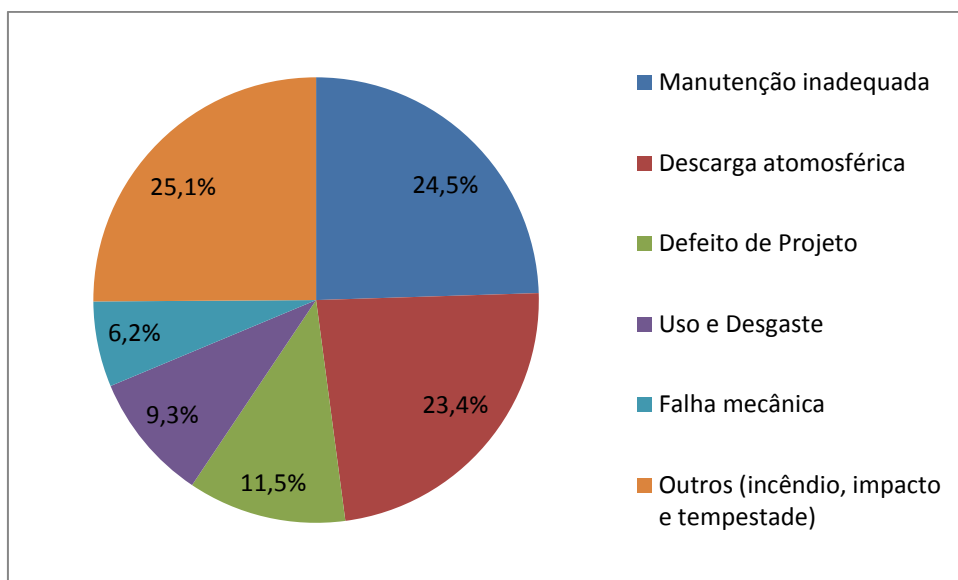


Figura 23 – Causas de perdas e falhas mais frequentemente relatadas

Fonte: GCube – 2012

4.3 Seguro de Riscos Operacionais

O seguro é o contrato mediante o qual uma pessoa denominada Segurador, se obriga, mediante o recebimento de um prêmio, a indenizar outra pessoa, denominada Segurado, do prejuízo resultante de riscos futuros, previstos no contrato. (Circular SUSEP 354/07).

Os parques eólicos geralmente são assegurados nas seguradoras através do produto de Riscos Operacionais, o qual oferecem proteção contra danos patrimoniais e lucros cessantes. O grande benefício deste seguro é o fato dele cobrir todos os riscos e as exceções compreendem somente aquelas descritas em contrato. Este seguro é ideal para empresas que apresentam riscos cuja complexidade impede que sejam identificados.

As apólices (contratos de seguro) contêm um conjunto de cláusulas contratuais, chamadas, em conjunto, Condições Contratuais, que estabelecem as obrigações e direitos do Segurado e do Segurador (SUSEP, 2014).

As condições contratuais podem agregar:

Condições Gerais: nome dado, nos contratos de seguro, às condições comuns a todas as modalidades e/ou coberturas de um plano de seguro, que estabelecem as obrigações e os direitos das partes contratantes. Por exemplo, estão entre as cláusulas obrigatoriamente presentes, nas condições gerais, aquelas que estabelecem o objeto do seguro, o foro, as obrigações do segurado, etc.;

Condições Especiais ou Acessórias: especificam as diferentes modalidades de cobertura que possam existir dentro de um mesmo plano de seguro. São disposições anexadas à apólice, que modificam as condições gerais, ampliando ou restringindo as suas disposições;

Condições Particulares: conjunto de cláusulas que alteram as Condições Gerais e/ou Especiais de um plano de seguro, modificando ou cancelando disposições já existentes, ou, ainda, introduzindo novas disposições e eventualmente ampliando ou restringindo a cobertura; são especificadas para cada contrato, pois individualizam determinados tópicos ou coberturas de um contrato em particular.

4.3.1 – Condições Especiais para Danos Materiais

Objeto do seguro: tem por objetivo garantir, em cada acidente, os prejuízos que o Segurado venha a sofrer em decorrência de riscos cobertos pertinentes às presentes Condições, até o valor unitário dos bens segurados ou o limite máximo de indenização e sublimites estabelecidos na apólice (caso estes sejam inferiores ao valor unitário dos bens segurados).

A cobertura desta apólice somente se aplica aos bens segurados enquanto estiverem no local definido na apólice;

Riscos cobertos: o acidente que exija reparo ou reposição do bem segurado de forma a possibilitar que o mesmo possa continuar a trabalhar ou operar normalmente.

Para fins deste seguro, acidente deve ser entendido como avaria, perda ou dano material de origem súbita, imprevista e acidental sofrida pelo bem segurado, exceto em decorrência dos riscos mencionados na Cláusula de Riscos Excluídos.

Riscos excluídos: Fica entendido e acordado que esta apólice não cobre perda e dano resultante de:

a) guerra, invasão, ato de inimigo estrangeiro, hostilidades ou operações bélicas, guerra civil, insurreição, rebelião, revolução, conspiração ou ato de autoridade militar ou de usurpadores de autoridade;

b) atos maliciosos de qualquer pessoa ou pessoas, agindo em ligação com qualquer organização política, religiosa ou ideológica e outras que visem a instigar a queda do governo de jure ou de facto, por meio de atos de terrorismo ou subversão;

c) desapropriação permanente ou temporária decorrente de confisco, nacionalização, intimação e requisição por ordem de qualquer autoridade legalmente constituída;

d) efeitos de materiais de armas nucleares, radiações ionizantes ou de contaminação provenientes de radioatividade de qualquer combustível nuclear ou de qualquer resíduo nuclear, resultante de fissão nuclear, bem como custo de descontaminação;

e) roubo, furto, ou simples desaparecimento;

f) falta de entrada de eletricidade, combustível, água, gás, vapor ou qualquer matéria prima utilizada no processo, causado por ocorrência fora do local descrito nesta apólice;

g) operações de transporte, ou transladação dos bens segurados fora do recinto ou local de funcionamento expressamente indicado nesta apólice;

h) falhas ou defeitos pré existentes à data de início de vigência deste seguro e que já eram do conhecimento do Segurado, ou seus prepostos, independentemente de serem ou não do conhecimento da Seguradora;

i) atos propositais, negligências, ação ou omissão dolosa do Segurado, seus diretores, ou de quem em proveito deles atuar;

j) qualquer tipo de responsabilidade do fornecedor ou fabricante perante o Segurado por força de lei ou de contrato;

l) desgaste pelo uso, deterioração gradativa de qualquer parte do objeto segurado, inclusive quaisquer efeitos ou influências atmosféricas, oxidação, ferrugem, escamações, incrustações, cavitação e corrosão de origem mecânica, térmica ou química. Fica, entretanto, entendido e acordado que estarão cobertos os acidentes conseqüentes de tal desgaste pelo uso, deterioração gradativa, etc, excluindo-s e sempre da cobertura o custo de reposição ou reparo da peça afetada pelo desgaste pelo uso, deterioração gradativa, etc, que provocar o acidente;

m) sobrecarga, entendendo-se como tal as situações que superam as especificações fixadas em projeto para operação das máquinas, equipamentos ou instalações seguradas;

n) manutenção inadequada entendendo-se como tal, aquela que não atende às recomendações mínimas estabelecidas pelo fabricante;

o) defeito de fabricação de material, erro de projeto;

p) erro de montagem, falta de habilidade, negligência e sabotagem;

q) desintegração por força centrífuga, curto circuito (dano elétrico);

r) vendaval e queda de granizo, no que se refere às máquinas e equipamentos;

s) explosão física ou seca, ocorrida dentro do bem segurado, entendendo-se como tal o rompimento ou deformação das paredes de um recipiente com gás, vapor ou líquido, em consequência exclusiva das forças de expansão ou compressão interna desses gases, vapores ou líquidos, que venham a provocar um equilíbrio súbito e imprevisto entre as pressões interna e externa desse mesmo recipiente;

t) defeito mecânico ou elétrico.

4.3.2 – Condições Especiais para Quebras de Máquinas

Riscos Cobertos: ampara nesta cobertura as perdas e danos materiais causados aos bens segurados decorrentes de:

- defeito de fabricação de material, erro de projeto;
- erro de montagem, falta de habilidade, negligência e sabotagem;
- desintegração por força centrífuga, curto-circuito (dano elétrico);
- vendaval e queda de granizo, no que se refere a máquinas e equipamentos;
- explosão física ou seca, ocorrida dentro do bem segurado, entendendo-se como tal o rompimento ou deformação das paredes de um recipiente com gás, vapor ou líquido, em consequência exclusiva das forças de expansão ou compressão interna desses gases, vapores ou líquidos, que venham a provocar um equilíbrio súbito e imprevisto entre as pressões interna e externa desse mesmo recipiente;
- defeito mecânico ou elétrico.

4.3.3 – Condições Especiais para Interrupção de Produção Consequente de Danos Materiais - Perda de Receita Bruta

Riscos cobertos: ampara a Perda de Receita Bruta e ainda os Gastos Adicionais realizados durante o período de paralisação total ou parcial das atividades do Segurado nos locais expressos na apólice, em consequência de um acidente, conforme definido nas condições especiais para danos materiais e/ou condições particulares para quebra de máquinas.

Também se aplica, que:

- a responsabilidade da Seguradora pela cobertura de Interrupção de Produção estará sempre vinculada e condicionada à cobertura de danos materiais;

5 – UMA ABORDAGEM PARA CLASSIFICAÇÃO, ANÁLISE E MITIGAÇÃO DE RISCOS DE DANOS MATERIAIS EM PARQUES EÓLICOS

Neste capítulo é apresentada uma abordagem para classificação de riscos em parques eólicos mediante duas matrizes e alguns exemplos de análise de sinistros e mitigação de riscos de danos materiais em parques eólicos.

5.1 Classificação de riscos

Neste tópico serão apresentadas matrizes para classificação de risco elaboradas com a finalidade de classificar os parques eólicos pertencentes a um complexo de energia eólica quanto a questão de riscos de danos materiais. Essas matrizes estão divididas em dois tópicos principais: certificação e manutenção eletromecânica. A primeira está subdividida em 4 itens (a até d) e a segunda em cinco (a até e), onde cada uma receberá uma pontuação conforme o status atual do parque. Para calcular os respectivos pontos com a finalidade de identificar a classificação, multiplica-se o status atual (SA) pela severidade (SV), inserindo o resultado em cada coluna.

A severidade (SV) é avaliada em função da natureza de que o evento ocorra. As possíveis consequências definem o grau de urgência da medida de segurança operacional requerida.

Avalia-se a severidade de um evento conforme a tabela abaixo:

Tabela 7 – Classificação de Severidade

Tipo	Significado	Valor
Leve	Danos materiais que não interrompem o fornecimento de energia elétrica	2
Moderada	Danos materiais que podem interromper o fornecimento de energia elétrica sem afetar a integridade física do equipamento	4
Grave	Danos materiais que podem interromper o fornecimento de energia elétrica à rede e afetar a integridade física do equipamento	6

Fonte: o autor

5.1.1 Requisito Certificação

Para avaliar o requisito de certificação foi elaborada a tabela abaixo com o status que deverá ser checado no momento da avaliação de risco do parque eólico, baseado nas principais certificações que podem mitigar danos materiais durante a fase de operação dos aerogeradores, sendo elas:

Tabela 8 – Classificação Status Atual - Certificações

Status Atual (SA)	
Existente	0
Em homologação	1
Inexistente	2

Fonte: o autor

- IEC 61400-1:

Objetivo: Verificar a integridade de requisito de projeto.

Classificação de severidade: leve

Justificativa: 11,5% das causas de danos materiais são decorrentes de defeito de projeto (GCube, 2012)

- IEC/TR 61400-24:

Objetivo: Verificar vários aspectos sobre proteção contra descarga atmosférica.

Classificação de severidade: grave

Justificativa: O Brasil é o país com o maior incidência de descargas atmosféricas do mundo e 23,4% das causas de danos materiais são decorrentes de descargas atmosféricas (GCube, 2012).

- IEC/TS 61400-23:

Objetivo: Efetuar testes estruturais das pás do rotor em escala real

Classificação de severidade: grave

Justificativa: 41,4% dos danos mais frequentes relatados são por falhas na pá (GCube, 2012)

- IEC/TS 61400-4:

Objetivo: Verificar projeto e especificação de caixas de engrenagens

Classificação de severidade: grave

Justificativa: 35,1% dos danos mais frequentes relatados são por na caixa de engrenagens (GCube, 2012)

Tabela 9 – Matriz de classificação: Certificações

	1 -Certificações			
	Aerogeradores (a)	Proteção contra descargas atmosféricas (b)	Pás (c)	Caixa de Engrenagens (d)
	Os modelos dos aerogeradores do parque eólico são certificados pela Norma IEC 61400-1	Os modelos dos aerogeradores do parque eólico são certificados pela Norma IEC/TR 61400-24	Os modelos dos aerogeradores do parque eólico são certificados pela Norma IEC/TS 61400-23	Os modelos dos aerogeradores do parque eólico são certificados pela Norma IEC/TS 61400-4
	Status (SA)			
Severidade (SV)	2	6	6	6
Resultado = ST x SV				
	CT = \sum (a até d):			

Fonte: o autor

5.1.2 Requisito Manutenção Eletromecânica

Para avaliar o requisito de Manutenção Eletromecânica foi elaborada a tabela abaixo com o status que deverá ser checado no momento da avaliação de risco do parque eólico, baseado nas principais rotinas de manutenção que são efetuadas nas plantas:

Tabela 8 – Classificação Status Atual – Manutenção Eletromecânica

Status Atual (SA)	
X	0
Y	1
Z	2

Fonte: o autor

- Existência de manuais do fabricante

Objetivo: Verificar a existência de manuais do fabricante e a sua disponibilidade aos colaboradores responsáveis pela manutenção.

Classificação de severidade: leve

Justificativa: é comum haver um contrato de manutenção entre o proprietário do parque eólico e o fabricante.

- Tipos de manutenção adotadas

Objetivo: Verificar a rotina de manutenção dos aerogeradores para promover a alta confiabilidade do equipamento.

Classificação de severidade: grave

Justificativa: 24,5% das causas dos danos mais frequentes relatados são por manutenção inadequada (GCube, 2012)

- Equipe de manutenção

Objetivo: Disponibilizar equipe treinada e qualificada para efetuar os procedimentos de manutenção

Classificação de severidade: moderada

Justificativa: 24,5% das causas dos danos mais frequentes relatados são por manutenção inaqueda (GCube, 2012). Entretanto, é comum haver um contrato de manutenção entre o proprietário do parque e o fabricante, o qual esse último se responsabiliza pelo treinamento e qualificação da equipe.

- Sistemas Protecionais

Objetivo: Efetuar o monitoramento dos sistemas protecionais dos aerogeradores.

Classificação de severidade: grave

Justificativa: se houver falha nos sistemas protecionais o equipamento pode entrar em colapso ou incêndio.

- Peças de reposição

Objetivo: Efetuar a substituição de um componente do aerogerador

Classificação de severidade: moderada

Justificativa: o equipamento pode falhar ou ficar inoperante devido a não disponibilização de uma peça para substituição.

Tabela 10 – Matriz de classificação: Manutenção Eletromecânica

	Existência de manuais do fabricante (a)	Tipos de manutenção adotadas (b)	Equipe de manutenção (c)	Sistemas Protecionais (d)	Peças de reposição (e)
	Manuais disponíveis em língua portuguesa para consulta (X)	Executa manutenções preventivas e preditivas, conforme recomendações do fabricante (X)	Equipe treinada e com experiência (X)	Monitoramento dos sistemas protecionais e de controle dos aerogeradores (X)	Existência de contrato de manutenção e reposição de peças pelo fabricante com pagamento de compensação por falha no tempo de disponibilidade do equipamento (X)
	Manuais disponíveis e desorganizados (Y)	Executa apenas manutenção preventiva e corretiva (Y)	Equipe treinada e sem experiência (Y)	Monitoramento dos sistemas protecionais ou controle dos aerogeradores (Y)	Existência de contrato de manutenção e reposição de peças pelo fabricante e sem pagamento de compensação por falha no tempo de disponibilidade do equipamento (Y)
	Manuais não disponibilizados (Z)	Executa apenas manutenção corretiva, conforme necessidade (Z)	Equipe sem qualificação e experiência (Z)	Inexistência de monitoramento dos sistemas protecionais e de controle dos aerogeradores (Z)	Inexistência de contrato de manutenção e reposição de peças com o fabricante (Z)
Status (SA)					
Severidade (SV)	2	6	4	6	4
Resultado = ST x SV					
ME = \sum (a até e):					

Fonte: o autor

5.1.3 Classificação pela pontuação obtida

Ao final, soma-se o total de pontos de cada uma das colunas e então, de acordo com o resultado obtido, o parque eólico é classificado em cada um dos tópicos, conforme abaixo:

Tabela 9 – Classificação de risco

		Pontos
CERTIFICAÇÕES (CT)		
Faixas de Classificação	Satisfatório	≤ 10
	Atenção	$11 < P < 15$
	Insatisfatório	≥ 15
		Pontos
Manutenção Eletromecânica (ME)		
Faixas de Classificação	Satisfatório	≤ 15
	Atenção	$16 < P < 20$
	Insatisfatório	≥ 21

Fonte: o autor

A faixa de pontuação do nível "satisfatório" foi definida considerando os requisitos obrigatórios que um parque eólico deve cumprir dentro de cada uma das matrizes para que possua procedimentos, padrões e gestão de acordo com as certificações e recomendações do fabricante. Já a faixa de pontuação do nível "atenção" indica que a usina possui índice satisfatório para alguns itens e insatisfatório para outros, sendo importante que se analise os resultados e sejam criados planos de ação no sentido de se atingir níveis mínimos para se garantir a segurança operacional. A última faixa "insatisfatório" indica que a usina está em um nível que pode ser considerado crítico, o que pode significar uma gestão de riscos irregular.

5.2 Análise e mitigação de sinistros

Analisar e investigar as causas de sinistros ocorridos são ações que agregam ao processo de mitigação de novos eventos que possam gerar perdas materiais e financeiras aos proprietários do parque eólicos e seus respectivos acionistas.

A seguir, são apresentados dois exemplos envolvendo sinistros de danos materiais em aerogeradores.

5.2.1 Perdas em série

As perdas em série são um problema grave para a indústria eólica. Praticamente todas as partes de uma turbina foram estão sujeitas por esses eventos. Em menor medida, os problemas foram causados durante a montagem e edificação, mas principalmente os defeitos em série são oriundos da esfera pré-produção.

As causas mais frequentemente comuns encontradas são matéria-prima com defeito, defeito de fabricação ou projeto defeituoso. Os problemas podem surgir a partir de qualquer má qualidade dos materiais fornecidos, controles internos insuficientes durante o processo de fabricação, falta de um bom acabamento ou erros (fatais) no projeto. Tecnicamente, verificou-se que os responsáveis muitas vezes não têm consciência sobre as cargas dinâmicas que os componentes fundamentais de uma turbina eólica estão submetidos.

Esse evento pode gerar atrasos na entrega do empreendimento e conexão ao Sistema Integrado Nacional, ocasionando multas e sanções aos proprietários do parque, além de danos à imagem e credibilidade dos fabricantes e perdas à sociedade.

Para mitigar esse risco sugere-se verificar o histórico de operação do modelo em aquisição e exigir a certificação pela norma IEC 61400-1 (Requisitos de projeto)

para o modelo, uma vez que especifica os requisitos essenciais de projeto para assegurar a integridade de engenharia dos aerogeradores.

5.2.2 Descargas atmosféricas e incêndio

Os sinistros registados até o momento tem mostrado que as descargas atmosféricas estão entre as causas mais frequentes de dano por incêndio em aerogeradores, devido a incidência da região e alturas elevadas das torres. O risco de incêndio será ainda maior quando um sistema de proteção contra descargas atmosféricas está ausente, mal projetado / executado ou não foi dada a manutenção adequada.

Esse evento pode impactar através de interrupção no fornecimento de energia elétrica, ocasionando perdas financeiras ao proprietário e possíveis multas contratuais pelo não atendimento da demanda contratada.

Esse risco pode ser mitigado através da exigência da certificação pela norma IEC/TR 61400-24 (Proteção contra raios) para o modelo adquirido, uma vez que traz vários aspectos sobre a proteção contra descargas atmosféricas em turbinas eólicas, desde o status atual do conhecimento sobre o fenômeno e seus impactos sobre aerogeradores, tendo como base o histórico de vários casos de equipamentos atingidos por raios.

É importante haver uma rotina de verificação para checar se os componentes integrantes do sistema de proteção contra descargas atmosféricas estão funcionando conforme os requisitos do fabricante.

6 – CONCLUSÕES

O objetivo desta monografia foi apresentar os principais componentes de um aerogerador, sistemas protecionais e certificações, buscando propor uma classificação dos riscos de danos materiais para mitigar perdas materiais e financeiras aos acionistas e empresas proprietárias de parques eólicos na fase operacional.

Para atingir o objetivo foram apresentados os danos mais frequentes e severos através de duas fontes e a proposta do autor foi uma matriz de risco para classificação das variáveis, conforme o levantamento do histórico dos acidentes. Desta forma, foram abordados dois aspectos importantes para prevenção de perdas: certificação de aerogeradores e manutenção eletromecânica, utilizando o conceito de severidade para adotar pesos em cada variável de acordo com o impacto de uma falha.

Esse trabalho também apresentou uma breve descrição sobre o seguro de riscos operacionais, que se trata de um importante contrato para redução de perdas financeiras através da transferência dos riscos a uma companhia seguradora mediante o pagamento do prêmio determinado.

Além do impacto financeiro aos acionistas e proprietário diretamente relacionados ao empreendimento, a sociedade pode ser atingida pelas consequências da falta de fornecimento de energia elétrica entregue ao sistema, uma vez que o governo brasileiro está ampliando a participação da fonte de energia eólica na matriz energética por meio de leilões aos quais essa fonte têm-se demonstrado viável e competitiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI
Mapeamento Da Cadeia Produtiva Da Indústria Eólica No Brasil - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA – Disponível em:

<<http://www.portalabeeolica.org.br/>> Acesso em 22/08/2014

CAITHNESS WINDFARM INFORMATION FORUM, 2014, Escócia – Disponível em:

<<http://www.caithnesswindfarms.co.uk/accidents.pdf>> _ Acesso em 20/08/2014

CENTRO DE ENERGIA EÓLICA – CE-EÓLICA. PUC RS. Disponível em:

<http://www.pucrs.br/ce-eolica/faq.php?q=27> Acesso em 23/08/2014

CENTRO DE TECNOLOGIA DO GÁS E ENERGIAS RENOVÁVEIS –CTGÁS
Aspectos Técnicos Da Energia Eólica –ER Natal, 2012

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA – COPEL - **Manual de avaliação técnico-econômica de empreendimentos Eólico-elétricos** / Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, Engenharia Eólica – Camargo Schubert. Curitiba, 2007.

CUSTODIO, RONALDO DOS SANTOS. **Energia Eólica Para Produção de Energia Elétrica**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Synergia Editora, 2013

GCUBE, Top 5 US Wind Energy Insurance Claims Report. Disponível em:

<http://www.gcube-insurance.com/press/gcube-top-5-us-wind-energy-insurance-claims-report/>. Acesso em 30/09/2014

HERTENBERGER, KARL C. IMIA WGP - 62, 2009, Suíça. New Challenges for Wind Energy. Disponível em: <http://www.imia.com/wp-content/uploads/imiamembers/activities/past_conferences/2009-present-WGP-62-New-Challenges-for-wind-energy.pdf> . Acesso em 19/08/2014

IEC 61400-1: Wind Turbines – Part 1: Design Requirements, 3ª Edição, 2005-08

IEC 61400-11: Wind Turbine Generator Systems – Part 11: Acoustic Noise Measurement Techniques, 2006-11.

IEC 61400-12-1: Wind Turbines – Part 12-1: Power Performance Measurements of Electricity Producing Wind turbines, 2005-12

IEC 61400-21: Wind Turbine Generator Systems – Part 21: Power Quality Requirements for Grid Connected Wind Turbines, 2008-08

IEC 61400-21: Wind Turbine Generator Systems – Part 21: Power Quality Requirements for Grid Connected Wind Turbines, 2001-12

IEC 61400-22: Conformity Testing and Certification of Wind Turbines, 2010

IEC TR 61400-24: Wind Turbine Generator Systems – Part 24: Lightning Protection, 2002-07

ISO 81400-4: *Design and Specification of Gearboxes*, 2005.

KJER, TRUELS - IMIA - Wind Turbine Generators – CLAIMS, 2007. Disponível em: <http://www.imia.com/wp-content/uploads/2013/05/wind-turbine-losses_2007_28.pdf>. Acesso em 17/08/2014.

LOPES, Ricardo Adalbó. **Energia eólica** – 2ª edição. São Paulo: Artliber Editora, 2012.

PINTO, MILTON. **Fundamentos de Energia Eólica**. São Paulo: Editora LTC, 2013.

PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA – PDE 2022 – Informe à Imprensa – Disponível em:

<http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20131029_1.pdf> - . Acesso em: 19/08/2014

SUPERINTENDÊNCIA DE SEGUROS PRIVADOS – SUSEP – Glossário –

Disponível em : < <http://www.susep.gov.br/menu/informacoes-ao-publico/glossario>> Acesso em 14/11/2014

WOEBBEKING, M., **Wind Turbine Certification and Type Certification**, Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH, 2001