

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA DA ESCOLA
POLITÉCNICA DA USP

FELIPE COELHO MORILLA

Uma Análise do Potencial e Oportunidades para Aplicação de Pequenas
Turbinas Eólicas no Brasil

São Paulo
2014

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA DA ESCOLA
POLITÉCNICA DA USP

FELIPE COELHO MORILLA

Uma Análise do Potencial e Oportunidades para Aplicação de Pequenas
Turbinas Eólicas no Brasil

Monografia apresentada ao Programa de Educação continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração distribuída e Eficiência Energética.

Área de Concentração: Geração Distribuída, pequenas turbinas, sistemas isolados.

Orientador: Prof. Dr. Eliane Fadigas

São Paulo
2014

Agradecimentos

Agradeço a Prof. Dr. Eliane Fadigas por sua compreensão e dedicação como orientadora.

Agradeço a meus pais, por sua confiança, dedicação e carinho ao longo de minha vida.

A minha namorada Paola, por seu amor e companheirismo.

A todos meus amigos, por todos momentos de alegria proporcionados.

Agradeço a Deus.

“A chave do sucesso é a perseverança”

Resumo

Ao longo do desenvolvimento humano, a demanda por energia elétrica ou não vêm crescendo. O atual modelo baseado em combustíveis fósseis começa a minguar diante das poucas reservas desse recurso pelo mundo e pelas constantes instabilidades que esses locais passam. Diante dessa situação, a geração por fontes renováveis ganha fôlego e começa a despontar como uma forma viável e cada vez mais presente de se gerar energia.

Contudo, tanto em países desenvolvidos quanto nos subdesenvolvidos, as demandas crescentes da população e da indústria exigem planejamento da expansão da geração. Essa expansão, pelo mundo, se caracterizou pela centralização na geração, em grandes sítios separados e afastados das cargas por quilômetros de distância.

A expansão centralizada da geração contrasta com uma mudança na mentalidade mundial, grandes unidades de geração apresentam maiores impactos ambientais e demandam por mais tempo de construção, além de necessitarem estrutura de transmissão da energia gerada. Os custos relacionados a construção dessas usinas, bem como os relacionados as linhas de transmissão, podem inviabilizar o projeto ou postergar seu início de operação.

Em meio a tal cenário, surge a geração distribuída aproximando a geração das cargas consumidoras. Capaz de agilizar a expansão da geração por sua facilidade de instalação e menores custos a geração distribuída a base de fontes renováveis vêm ganhando força pelo mundo, seja por sua competitividade frente as grandes centrais geradoras especialmente em regiões isoladas, onde antes não se possuía acesso a eletricidade.

Esse trabalho irá buscar em mercados internacionais, experiências capazes de fornecer informações relevantes, de oportunidades e barreiras, a inserção da GD no Brasil especialmente no que se refere a turbinas eólicas de pequeno porte.

Abstract

Along the human development, demand for electricity is not growing. The current model based on fossil fuels begins to wane on of the few reserves of this resource by the world and by the constant instability that these locations are. Faced with this situation, the generation by renewable sources get breath and begins to emerge as a viable and increasingly present to generate energy.

Centralized generation expansion contrasts with a change in global mindset, large generating units have greater environmental impacts and demands for more construction time, and require the energy generated transmission structure. The construction costs of these plants, as well as the related transmission lines, can derail the project or delay its start of operation.

In the midst of such a scenario, the distributed generation approaching the generation of consumers. Able to expedite the expansion of generation for its ease of installation and lower costs distributed generation based on renewable sources are gaining strength around the world, either by your competitiveness front the major generating plants especially in isolated regions, where before I had access to electricity.

This work will get into international markets, experiences able to provide relevant information, opportunities and barriers, the insertion of GD in Brazil especially for small wind turbines.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Moinhos de Seistan[1]	17
Figura 2– Smock mills[1].....	18
Figura 3 – Turbina Gedser, possivelmente a primeira grande turbina eólica[1].....	19
Figura 4 – Evolução quanto à altura, capacidade de geração e diâmetro do rotor [1].	20
Figura 5 – Regime de vazões hídricas e eólicas ao longo do ano.....	21
Figura 9 – Sistema de Compensação de Energia Elétrica [4].	29
Figura 11 – Exemplo de estruturas da torres [7].	33
Figura 12 – Característica de uma turbina eólica operando com velocidade constante [8]. .	35
Figura 13 – Característica de uma turbina operando em velocidade variável [8].....	36
Figura 14 – Exemplo de pequenas turbinas no modelo propeller [7].....	37
Figura 15 - rotor – Φ , da flowind company. TEV com maior sucesso no mercado [7]	37
Figura 16 – Anemômetro de copos	38
Figura 17 – Turbina de eixo vertical do modelo Savonius [7].	39
Figura 18 – Turbina de eixo vertical do modelo Rotor H [7].....	39
Figura 19 – Regiões de Operação de uma turbina eólica [8].....	40
Figura 20 – Esquema que ilustra as forças aerodinâmicas e a diferença de pressão na passagem do vento [1].....	41
Figura 21 - Curva de potência para uma turbina com controle a passo [8].....	42
Figura 22 – Fluxo turbulento por conta do controle estol e o fluxo laminar, respectivamente [6].	42
Figura 23 – Curva de Potência para uma turbina com controle estol [8].	43
Figura 24 – Exemplos de pequenas turbinas com controle de direção por leme [7].	45
Figura 25 – Sistema ligado à Rede [10]	45
Figura 26 – Sistema Isolado da Rede [9]	46
Figura 27 –Sistema Híbrido Solar, Eólico e Diesel [10]	48
Figura 28 – Complementaridade entre as fontes solar e eólica [9].....	48
Figura 29 – Total acumulado de unidades instaladas por nação [11].....	49
Figura 30 – Mapa de distribuição mundial de fabricantes de pequenas turbinas [11].....	50
Figura 31 – Tabela de Classificação para pequenas turbinas eólicas para diferentes autoridades internacionais [11].	51
Figura 32 – Unidades instaladas, Capacidade gerada acumulada e média para China, EUA e Reino Unido [11].	53
Figura 33 - Vendas por segmento de pequenas turbinas eólicas americanas [13].....	55
Figura 34 – Evolução anual das vendas nacionais e de exportação [13].	56

Figura 35 - Custos de instalação por modelo de turbina (Importação, Fabricação Nacional e Remodeladas) [13].	57
Figura 36 – Custos de instalação por capacidade de potência gerada [13].....	57
Figura 37 – Tabela de indicadores de mercado na comparação entre 2011 e 2012 [11]	60
Figura 38 – Implantação anual de pequenas e médias turbinas conforme sua capacidade de geração [15].....	62
Figura 39 – Acumulado de turbinas instaladas conforme instalação conectada ou não à rede [15].	63
Figura 40 - Distribuição de uso de turbinas pequenas e médias conforme aplicação [15]....	63
Figura 41 - Tabela de geradores eólicos por destino de energia [16].....	65
Figura 42 – Tabela de geradores inseridos no sistema de compensação de energia e suas respectivas capacidades de geração [16].	66
Figura 44 – Turbinas Notus, Gerar e Verne, respectivamente. Enersud [18].	66
Figura 45 – Modelo Razec 266, Enersud [18].	67

Lista de Siglas

Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE)

Companhia Energética de Pernambuco (CELPE)

Leilão de Energia de Reserva (LER)

Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)

Imposto sobre a circulação de mercadorias e serviços (ICMS)

Programa de Integração Social (PIS)

Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (CONFINS)

Renewable Energy and Energy Efficiency Paternship (REEEP)

National Environment Agency (NEA)

Environment and Energy Study Institute (EESI)

American Wind Energy Association (AWEA)

Investment Tax Credit (ITC)

Small Wind Certification Corporation (SWCC)

Renewable United Kingdom (RUK)

Microgeneration Certification Scheme (MCS)

Sumário

Introdução	15
1. História da energia eólica.....	17
2. Eólica no Brasil	20
2.1 Potencial eólico brasileiro.....	21
3. Geração Distribuída.....	25
3.1 Geração distribuída no brasil.....	26
3.2 Sistema de Compensação de energia.....	28
4. Pequenas Turbinas Eólicas	30
5.1 Estado da arte	30
5.2 Descrição da tecnologia.....	31
5.3 Constituição	32
5.3.1 Torre	32
5.3.2 Nacele	33
5.3.3 Rotor	34
5.3.4 Gerador.....	34
5.4 Tipos de turbinas	36
5.4.1 Rotores de eixo horizontal.....	36
5.4.2 Rotores de eixo vertical	37
5.5 Sistemas de Controle de potência	40
5.5.1 Controle de passo (pitch).....	41
5.5.2 Controle estol (stall)	42
5.5.3 Controle de orientação direcional	44
5.6 Tipos de sistemas e suas aplicações	45
5.6.1 Sistemas ligados à rede	45
5.6.2 Sistemas isolados da rede.....	46
5.7 Análise do mercado global	48
5.7.1 Mercado Americano	53
5.7.2 Mercado Chinês.....	59
5.7.3 Mercado Inglês	61
6 Cenário Brasileiro.....	64
7 Análise.....	67
8 Conclusão.....	69
9 Bibliografia	71

Objetivo

O objetivo desse trabalho é identificar barreiras e oportunidades para a inserção de turbinas de pequeno porte no Brasil, para isso será utilizada informação dos maiores mercados mundiais do setor, buscando similaridades e ações positivas que tenham contribuído com para o desenvolvimento desses mercados.

Introdução

A utilização da energia dos ventos apesar do que parece, não é nenhuma novidade. A humanidade a utiliza desde da antiguidade através dos moinhos de vento com a principal finalidade de bombear água ou moer cereais.

Com o surgimento da eletricidade no final do século XIX, os primeiros projetos de aerogeradores foram concebidos, iniciando o processo de desenvolvimento da tecnologia.

Com o passar dos anos e o constante aumento dos derivados do petróleo aumentou-se a procura por novas formas confiáveis energia para atender as crescentes demandas de consumo da indústria e da população. Atualmente no Brasil e no mundo, têm-se incentivado a geração principalmente por fontes renováveis.

Historicamente o Brasil sempre teve sua matriz elétrica de origem renovável, isto se deve principalmente por causa de seus recursos hídricos abundantes. Contudo em certas regiões do país esse potencial vêm se esgotando e as novas áreas a serem exploradas se encontram longe das cargas consumidoras.

Com o discurso de desenvolvimento sustentável ganhando força, questões relacionadas aos impactos socioambientais das centrais geradoras têm se tornado cada vez mais presentes. Ao mesmo tempo aumenta o apelo social pela utilização de fontes renováveis especialmente diante de problemas como o aquecimento global e outras questões climáticas, que são fortemente impactados pelo uso de matérias-primas de origem fóssil.

Diante desse cenário, a geração descentralizada e renovável aparece como uma interessante alternativa. A geração distribuída é discutida em todo o mundo como um paradigma ao sistema atual de grandes geradoras centralizadas e afastadas das cargas consumidoras. Nesta esquema o consumidor passa a ter também o papel de produtor.

Brasil atualmente passa pela primeira crise pós apagão, enfrentando desequilíbrio financeiro em todos os segmentos do setor elétrico, problemas na expansão da geração relacionada principalmente a geração hidroelétrica e desconfiança dos agentes devido a recentes intervenções governamentais no setor.

Diante desse cenário, esse trabalho irá analisar o cenário atual brasileiro e internacional ao que tange o mercado de pequenas turbinas eólicas e sua inserção como alternativa de geração, em áreas urbanas ou rurais, conectadas ou não a rede integrada de energia elétrica, observando oportunidades, políticas públicas de incentivo e regulação para esse novo modelo de geração.

Esse trabalho está estruturado sobre a forma de capítulos que serão apresentados sucessivamente a partir da História da Energia Eólica, Energia Eólica no Brasil, Geração Distribuída com foco no Brasil, Estado da Arte de Pequenas Turbinas Eólicas, Mercados Internacionais, Cenário Brasileiro, Análise, Conclusão e Bibliografia.

1 Apagão é o nome que ficou popularmente conhecida a crise no abastecimento de energia ocorrida no início dos anos 2000, que levou a interrupções no fornecimento por falta de planejamento da expansão do parque gerador.

1. História da energia eólica

A primeira referência histórica conhecida dos moinhos de vento é de Hero de Alexandria em seu trabalho, *Pneumatics*[1]. Após Hero de Alexandria, a próxima referência surgiu na Pérsia, século IX, na região de Seistan (atualmente oeste do Irã). O moinhos de Seistan, ainda podem ser vistos, e constam na literatura como os primeiros de eixo vertical.



Figura 1 - Moinhos de Seistan[1]

Os moinhos de vento, como os conhecemos hoje, apareceram pela primeira vez na Inglaterra em meados do século XII. Os modelos ingleses eram utilizados para realizar qualquer tarefa mecânica que estivesse a seu alcance como a moagem de grãos e o bombeamento de água. Os modelos ingleses foram os primeiros modelos foram construídos sobre postes, de maneira que, todo o moinho poderia girar de acordo com a direção do vento, em sua maioria apresentavam 4 hélices.

Os moinhos de vento ainda perduraram como a principal fonte de energia na Europa até a chegada da 1ª Revolução Industrial, quando começaram a perder força. No entanto, antes que desaparecessem completamente foram aprimorados, nos chamados “smock mills”, moinhos que tinham sua maior parte estática e apenas o topo capaz de movimento, capaz de se ajustar a direção do vento.



Figura 2– Smock mills[1].

No século XVIII, o inglês John Smeaton[2], iniciou avaliações científicas nos moinhos, descobrindo 3 leis que valem até hoje:

- A velocidade da hélice é proporcional a velocidade do vento
- O torque máximo é proporcional a velocidade do vento ao quadrado
- A potência máxima é proporcional a velocidade do vento ao cubo

A eletricidade apareceu no final do século XIX, e nos EUA, surgiram geradores elétricos com rotor de moinho de vento e assim se iniciou um pequeno mas significativo mercado para as pequenas turbinas eólicas, ainda associadas ao bombeamento de água mas, agora, completamente acopladas aos sistemas residenciais e armazenagem, no entanto, esse mercado sucumbiu ao programa de eletrificação rural.

Na Dinamarca, durante o século XX iniciaram projetos de geradores eólicos de pequeno porte, de capacidade entre 20 – 35 kW e depois geradores de 30 a 60 kW. A expansão das turbinas eólica de pequeno porte na Dinamarca atingiu seu ápice com a turbina Gedser, de capacidade de 200kW e que possuíam controle de potência estol e gerador de indução, inovações que formaram um padrão na forte presença dinamarquesa no mercado eólica por volta dos anos 80.



Figura 3 – Turbina Gedser, possivelmente a primeira grande turbina eólica[1].

Apesar do desenvolvimento dinamarquês, o mercado eólico ressurgiu nos EUA quando o presidente Carter incentivou fontes alternativas de energia por causa da Crise do Petróleo dos anos 70. O governo americano financiou um série de projetos de geração eólica nesse período mas o grande impulso veio com a mudança da estrutura de regulação(1978), onde a conexão das turbinas eólicas com a rede passou a ser permitida, e assim, pago valores pelo kWh gerado e destinado a rede, um valor este pelo “custo evitado” dessa energia.

O desenvolvimento das turbinas eólicas se devem a contribuição de muitas áreas como a engenharia de materiais, ciências da computação, aerodinâmica, testes e avaliações e eletrônica de potência, essas ciências possibilitaram juntas inovações como eficiência na conversão de energia, precisão na medição do recurso eólica, armazenamento e transferência de energia, redução da fadiga mecânica entre outros. A **figura 4**, representa a evolução de tamanho e de potência das turbinas eólicas ao longo do tempo.

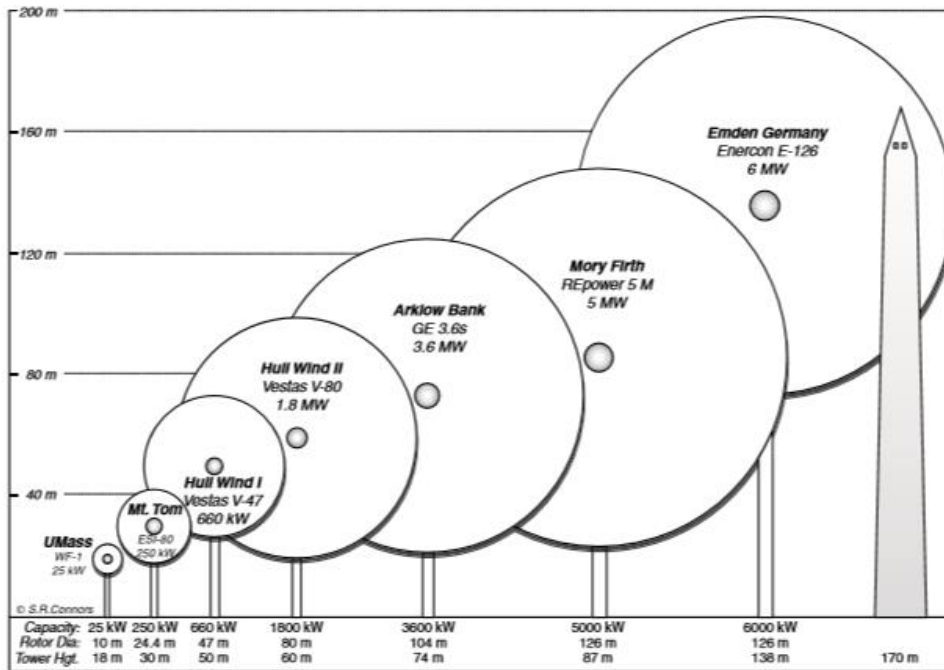


Figura 4 – Evolução quanto à altura, capacidade de geração e diâmetro do rotor [1].

2. Eólica no Brasil

O primeiro aerogerador a ser instalado no Brasil, foi em Fernando de Noronha em 1992. A turbina tinha potência de 75 kW, rotor de 17 metros de diâmetro e torre de 23 metros de diâmetro. Esse projeto foi resultado de uma parceria entre o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE)[3]. Durante os anos seguintes a energia eólica no Brasil pouco avançou até meados do ano de 2001, ano de racionamento e crise de abastecimento energético.

Porém com o advento da crise, novas fontes de energia foram estimuladas, e assim surgiu o PROINFA, Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. O PROINFA, foi decisivo no desenvolvimento da geração de eletricidade de origem eólica contribuindo à época para a fixação da indústria de componentes e turbinas eólicas.

Em 2009, ocorreu o primeiro leilão destinado apenas a energia eólica, o leilão era pra energia de reserva (LER), que se destina a contratar um volume de energia além do estimado para suprir a demanda do país, como reserva ao contratado pelo sistema elétrico. O LER de 2009, abriu a porta para a energia eólica com contratação de 1,8 GW contratados.

A partir de 2009, a energia eólica passou a participar de diversos leilões, não mais com exclusividade, e se mostrou uma fonte viável e competitiva, continuando seu desenvolvimento no cenário nacional desde então. Dentre seus argumentos favoráveis podemos citar sua renovabilidade, perenidade, grande disponibilidade, independência de importações e custo zero para obtenção de suprimento e custo, ainda que decrescente, prejudica a maior competitividade da indústrias.

Especificamente no caso brasileiro o recurso eólico se mostra como uma alternativa estratégica notável à gestão do sistema elétrico, por conta da chamada complementaridade hidro - eólica. Como pode ser observado a baixo no gráfico que ilustra as vazões do rio São Francisco (em verde) e as vazões típicas de vento no litoral nordestino (em azul) [9].

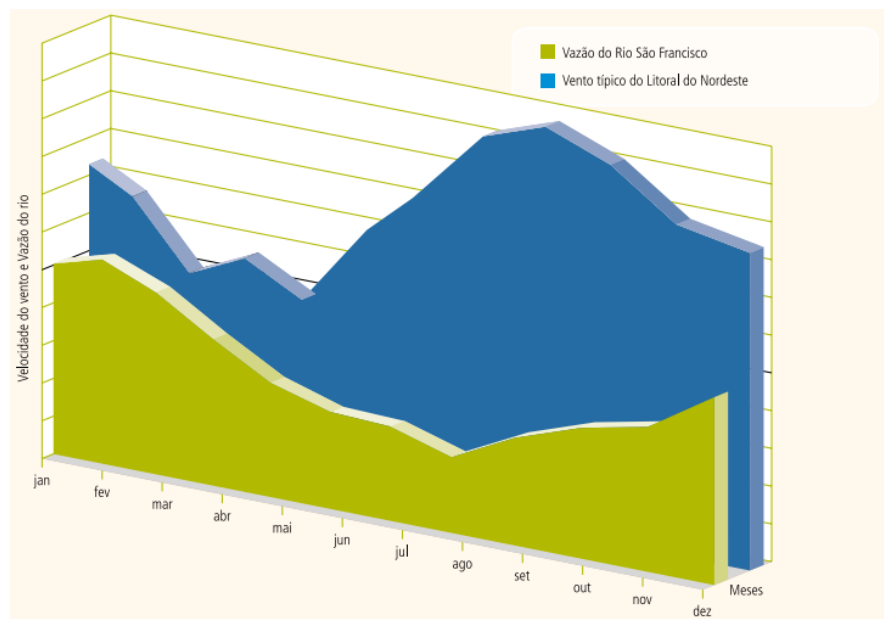


Figura 5 – Regime de vazões hídricas e eólicas ao longo do ano.
Dados: CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA – CBEE/UFPE. 2000.

2.1 Potencial eólico brasileiro

O Brasil possui cerca do dobro da presença média mundial de ventos e cerca de 5% de volatilidade [3]. A abundância do recurso eólico e sua baixa volatilidade aumenta a segurança e a confiança quanto a potência a ser gerada. Além disso, como antes mencionado, durante o período de estiagem os ventos possuem maior velocidade, possibilitando operar as usinas eólicas em um regime complementar as usinas hidrelétricas.

O potencial eólico brasileiro para aproveitamento energético tem sido objeto de estudos e inventários desde os anos 1970. Os primeiros testes com turbinas eólicas ocorreram em parceria com a Alemanha em meados dos anos 80 no Centro de Lançamento de Foguetes, no Rio Grande do Norte.

Uma síntese das características do vento por região geográfica pode ser agrupadas nas seguintes regiões: Bacia Amazônica Ocidental e Central; Bacia Amazônica Oriental; Zona Litorânea Norte-Nordeste; Zona Litorânea Nordeste-Sudeste; Elevações Sudeste Nordeste; Planalto Central e Planaltos do Sul; pode ser vista a seguir[3].

A região da Bacia Amazônica Ocidental Central é a região entre as latitudes 10°S e 5°N, e longitudes de 70°W e 55°W e se caracteriza por sua baixa média anual de ventos, cerca de 3,5 m/s a 50 m de altitude. Com exceção de uma faixa que se estende do leste da foz do rio Amazonas até a parte norte da Bacia Amazônica, que possui ventos com média de velocidade anual de 8 a 10 m/s em uma camada de altitude entre 1000m e 2000m

A Bacia Amazônica Ocidental se estende pela área a partir da longitude 55°W até aproximadamente 100km da costa que se estende entre o Amapá e o Maranhão e possui baixa média de velocidade anual, cerca de 3,5 m/s.

Zona Litorânea Norte-Nordeste é definida como a faixa costeira com cerca de 100 km de extensão que compreende o extremo norte do Amapá e o Cabo de São Roque, no Rio Grande do Norte. Sua parte sul apresenta maiores velocidades, cerca de 6 a 9 m/s. Essa região de maiores velocidades abrange especificamente os litorais dos estados do Maranhão, Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, já que por conta do relevo as massas de ar decrescem de velocidade rapidamente na medida que entram no continente. A parte norte, região que estende pelos litorais de Amapá e Pará as velocidades se situam entre 5 e 7,5 m/s.

Zona Litorânea Nordeste-Sudeste é a faixa que se estende do Cabo de São Roque (RN) até aproximadamente o Rio de Janeiro. Tem largura de aproximadamente 100km e possui velocidades médias anuais entre 8 e 9 m/s na porção mais ao norte e de 3,5 até 6 m/s sobre a maioria da costa que até o Sudeste. Uma exceção importante se situa entre o sul do Espírito Santo e o nordeste do Rio de Janeiro, onde as velocidades de vento médias são de 7,5 m/s

As Elevações Nordeste-Sudeste é a região que se estende do Rio Grande do Norte ao Rio de Janeiro. Distando 1.000 km da costa brasileira, essa área é formada por serras e chapadas e possui uma alta complexidade no trato do escoamento do vento. As velocidades mais altas – entre 6,5m/s e 8m/s – de vento acontecem de maneira isolada pela região, como por exemplo na Chapada da Diamantina e outros pontos de topografia mais elevada.

O Planalto Central varre a área desde a região ao sul da Bacia Amazônica até a margem esquerda da Bacia do Rio São Francisco. O escoamento na região aumenta da área leste para o sul, variando entre 3m/s e 4 m/s na porção leste e 5m/s e 6m/s na parte sul. Alguns pontos de relevo mais alto chegam a apresentar 7 m/s de média de velocidade anual.

Os Planaltos do Sul se encontram entre São Paulo e o Rio Grande do Sul. Essa região possui médias de velocidade em torno de 5,5m/s e 6,5m/s, com a exceção de regiões montanhosas – como nos Campos de Palmas – com velocidades de 7m/s a 8m/s e por toda a faixa litorânea sul do Brasil com velocidades de 7m/s na média anual.

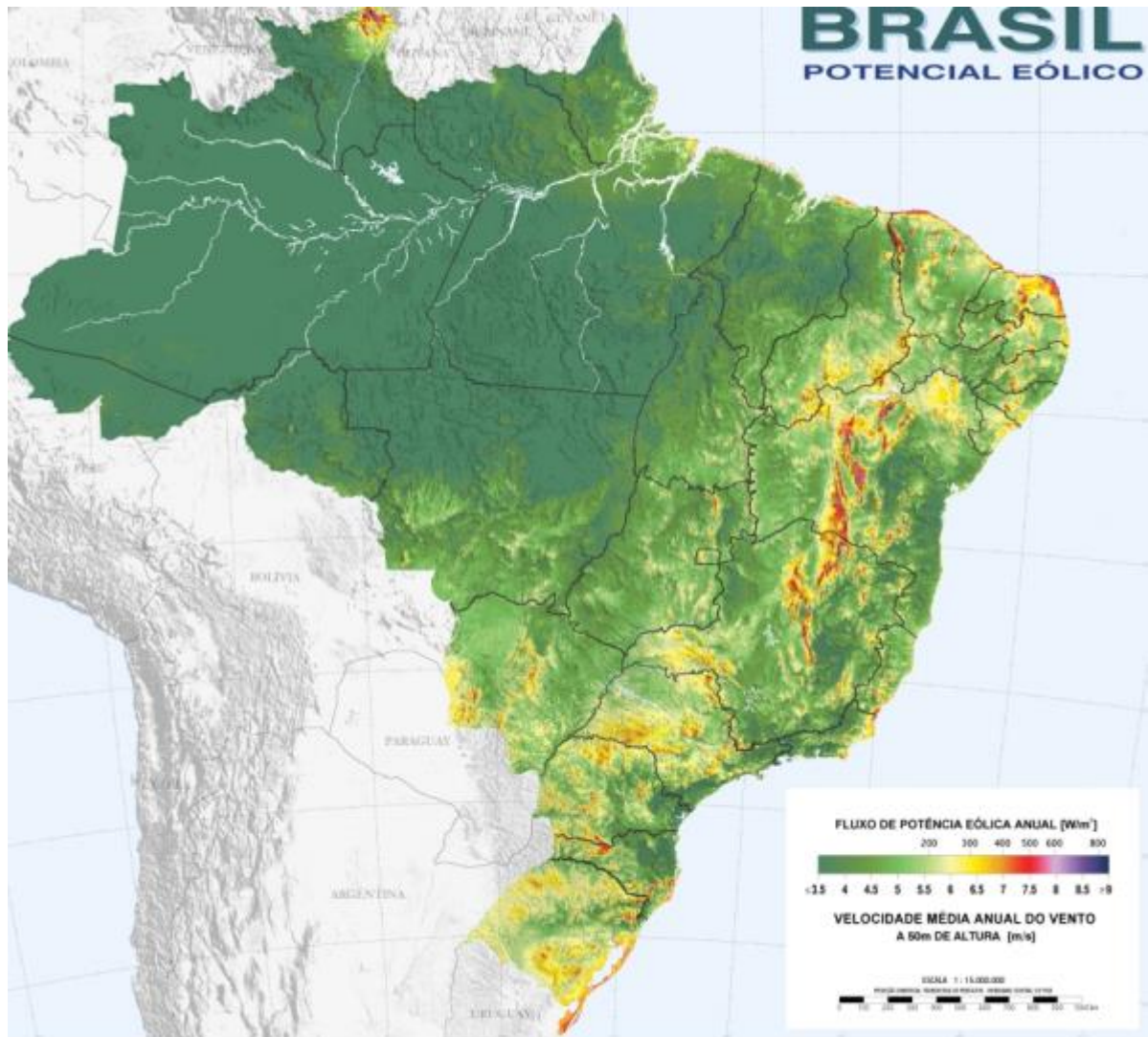


Figura 6 – fluxos de potência eólica e velocidades médias anuais [3].

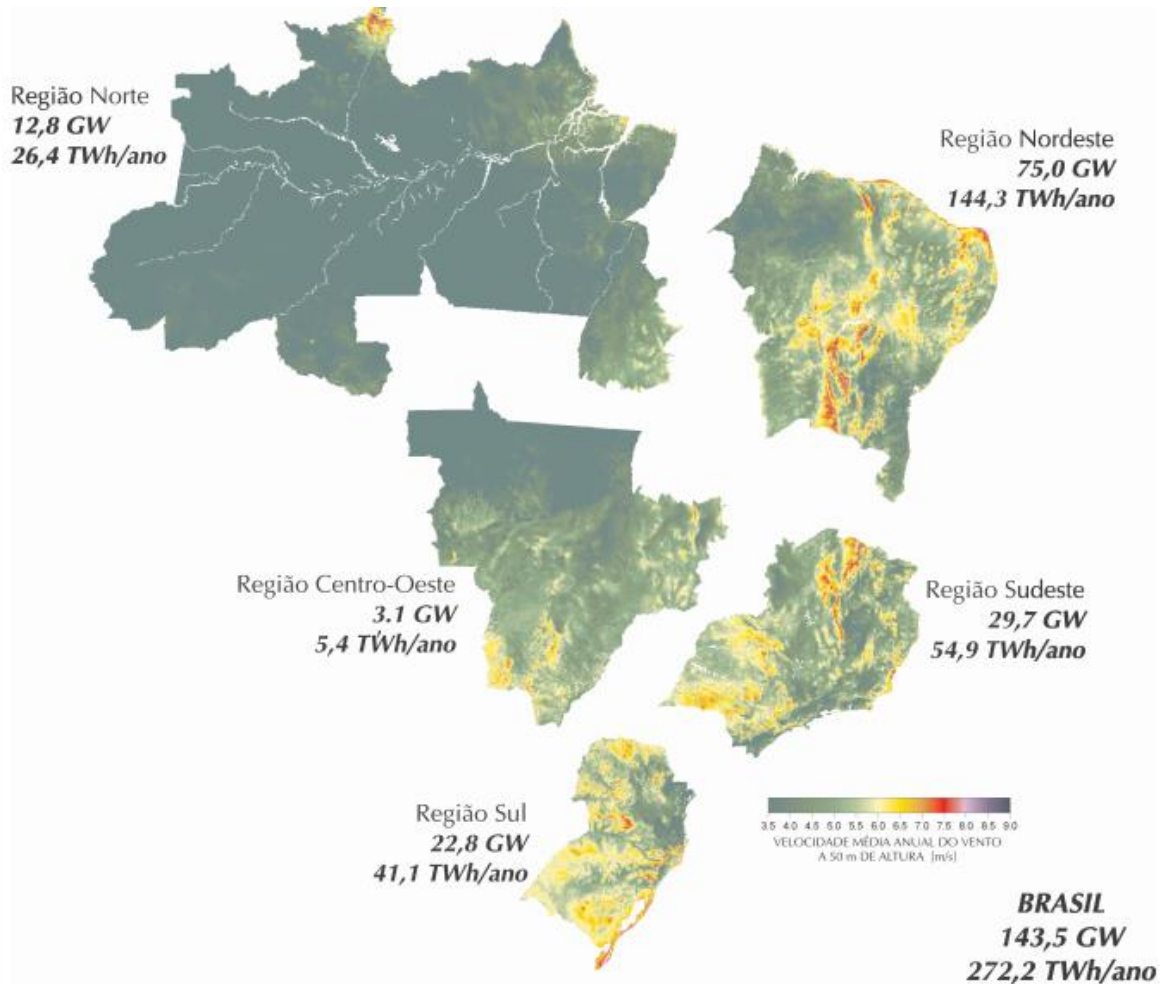


Figura 7 – Potencial eólico estimado por vento médio anual superior a 7m/s por região geográfica [3].

Segundo o atlas eólico de 2001, o potencial de geração brasileiro é da ordem de 143 GW. Contudo esse levantamento foi feito em 2001 para ventos a 50m de altitude e mapeados utilizando tecnologia da época e atualmente com o avanço tecnológicos os aerogeradores podem ser aproveitados em alturas maiores, onde os ventos apresentam maiores velocidades, elevando os números do potencial nacional para algo em torno de 300 GW.

3. Geração Distribuída

Apesar da histórica predileção mundial pela gestão centralizada da produção de energia elétrica, a geração distribuída vem ganhando força pelo mundo. Diversos

motivos têm induzido a esse interesse, a demanda crescente de energia impulsiona a criação de novas unidades geradoras mas como a questão ambiental a cada dia ganha força, aumentam as dificuldades de zoneamento e uso do terreno. Diante deste cenário, a eficiência energética foi estimulada e iniciativas de cogeração começaram a criar terreno para outras formas de geração localizada.

A geração centralizada afasta as geradoras do consumo, possibilitando perdas devido a transmissão. A geração distribuída portanto além de aumentar a confiabilidade do sistema aproximando a geração do consumo ainda aumenta a eficiência da rede, reduzindo perdas de transmissão.

Outro ponto é o custo de pequenas unidades geradoras frente as grandes centrais, o que posiciona a GD como uma eficiente opção à expansão rápida, ainda que podem ser instaladas em locais de uso corrente, não necessitando de desapropriações, reduzindo impactos ambientais e em alguns casos até contribuindo no aspecto visual e valorização dos empreendimentos.

3.1 Geração distribuída no brasil

Recentemente, em 17 de abril de 2012, a Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) outorgou a Resolução Normativa ANEEL n° 482/2012, a qual possibilitou que consumidores brasileiros pudessem gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis e abastecer o excedente a rede de distribuição.

A geração distribuída entre suas vantagens adianta investimentos em expansão do sistema elétrico, possui baixo impacto ambiental quando comparado à geração centralizada, reduz o carregamento das redes, diminui perdas devido a transmissão e colabora para a diversificação da matriz energética, aumentando a segurança no abastecimento e melhorando a confiabilidade da energia.

A geração a partir de fontes renováveis é uma tendência verificável em diversos países pelo mundo. A resolução normativa n° 482/2012 define:

I – Micro geração distribuída: é uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100kW, que utiliza fontes de com base em energia hidráulica, eólica, biomassa ou geração qualificada, conforme

regulação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades geradoras;

II – Mini geração distribuída: é uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100kW e menor a 1MW para fontes com base em energia hidráulica, eólica, biomassa ou geração qualificada, conforme regulação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades geradoras;

III – Sistema de compensação de energia elétrica: é um sistema no qual a energia ativa gerada por unidade consumidora com micro geração distribuída e mini geração distribuída compense o consumo de energia elétrica ativa. (ANEEL, 2011b)

A nova norma tem por objetivo simplificar e reduzir barreiras na conexão de um autoprodutor com a rede. Para a viabilização do acesso do micro ou mini gerador a rede são necessário alguns procedimentos. O *acessante* deve formular uma solicitação de acesso fornecida pela *acessada* (distribuidora), contendo o projeto das instalações de conexão (memorial descritivo, localização, arranjo físico, diagramas), além de eventuais outros documentos solicitados pela distribuidora.

O parecer de acesso deve ser concedido pela distribuidora, o qual deverá conter as condições e requisitos técnicos para a conexão das instalações do *acessante* e respectivos prazos. Esse parecer também deverá conter a definição do ponto de conexão, as características do sistema de distribuição do *acessado*, relação de obras de responsabilidade da *acessada* (com cronograma de implantação), e as responsabilidades do *acessante*.

A figura a seguir, ilustra as etapas e prazos do procedimento de acesso que devem ser seguidas pelo *acessante* e a distribuidora[4].

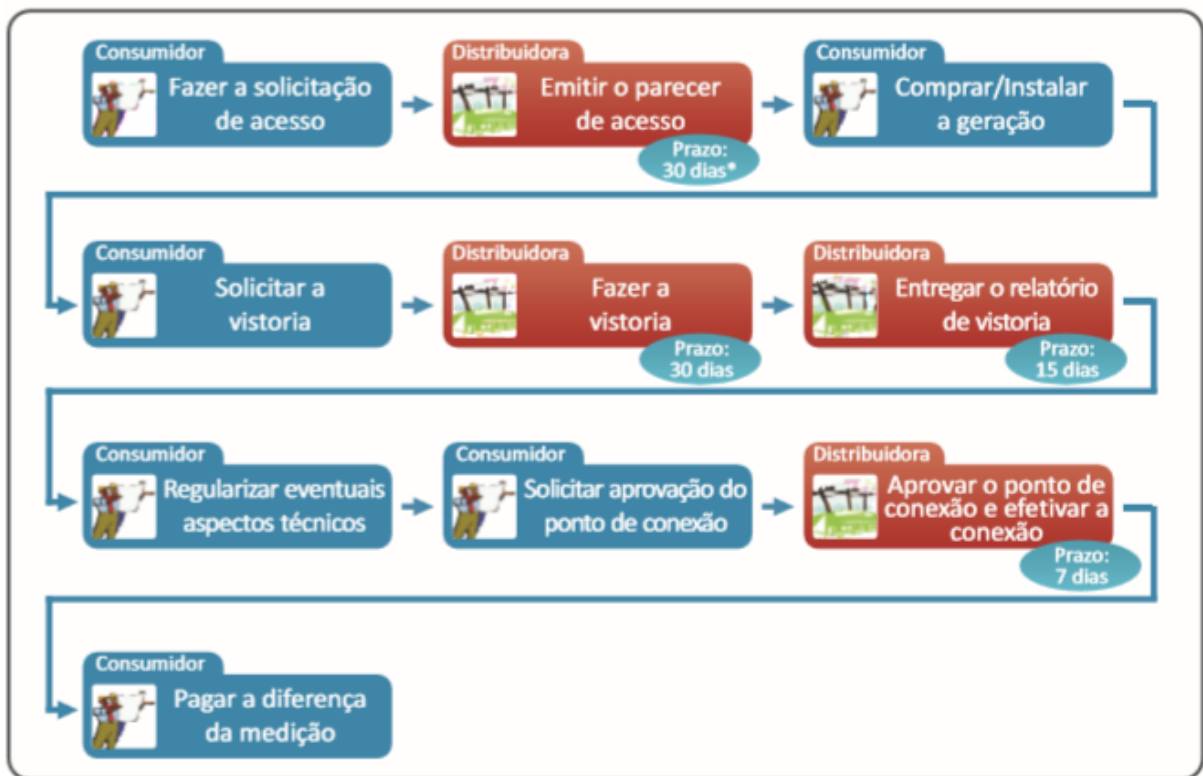


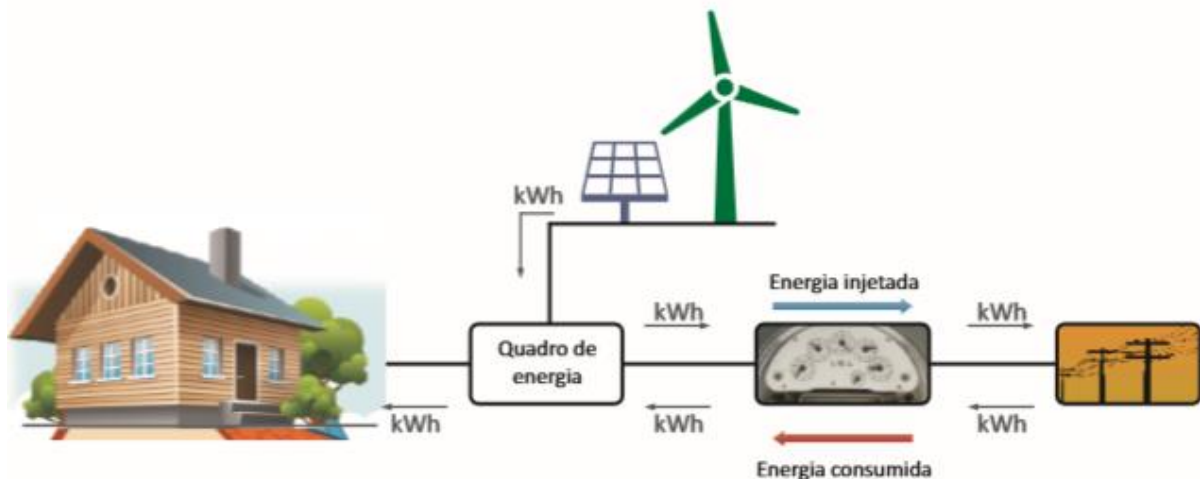
Figura 8 – Procedimentos e etapas de acesso [4].

Os sistemas de medição devem obedecer as mesmas especificações anteriores com a adição de funcionalidade que permita a leitura bidirecional da energia elétrica. Para baixas tensões essa medição pode ser feita por dois medidores unidirecionais. É importante ressaltar que o novo medidor deverá ser comprado pelo acessante e posteriormente doado a distribuidora, que irá zelar por sua operação.

A resolução normativa nº 482/2012, objetiva reduzir barreiras para inserção de pequenos geradores na rede mas não estabelece nenhum tipo de benefício ou condição especial de financiamento, sendo a análise de custo-benefício feita integralmente pelo acessante.

3.2 Sistema de Compensação de energia

Uma importante inovação trazida pela resolução normativa nº 482/2012 é o sistema de compensação de energia elétrica. Esse sistema permite que a energia excedente gerada possa ser injetada na rede da distribuidora, a qual funcionará como uma bateria[4]. Assim sendo, a energia excedente, cedida à distribuidora poderá posteriormente compensar o consumo da mesma unidade (ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade).



Nos momentos em que a central não gera energia suficiente para abastecer a unidade consumidora, a rede da distribuidora local suprirá a diferença. Nesse caso será utilizado o crédito de energia ou, caso não haja, o consumidor pagará a diferença.

Quando a unidade consumidora não utiliza toda a energia gerada pela central, ela é injetada na rede da distribuidora local, gerando crédito de energia

Grupo A: paga apenas a parcela referente à demanda.

Grupo B: paga apenas o custo de disponibilidade.

Figura 6 – Sistema de Compensação de Energia Elétrica [4].

Em regra, o acessante deverá pagar a distribuidora pela demanda mensal contratada e a diferença entre a energia consumida e a energia injetada. Devido a existência de postos tarifários diferentes, a compensação primeiro se dará em relação aos valores consumidos e fornecidos pela unidade geradora referentes a um posto tarifário. Caso a energia fornecida seja superior a consumida, o valor excedente poderá ser utilizado para abater valores de consumo para outros postos tarifários para o mesmo ciclo de faturamento, após a aplicação de um fator de ajuste. Se mesmo assim existir um excedente de energia, o valor poderá ser usado para abater o consumo de outras unidades de mesma filiação e por ventura se ainda existirem créditos devido a energia injetada, esses poderão ser utilizados em abatimentos futuros com validade de 36 meses, sendo revertido a modicidade tarifária e sem direito a compensação pelo consumidor os créditos superiores a esse período.

No entanto, apesar da resolução nº 482/2012 ser um grande avanço rumo a geração distribuída ainda existe pontos a serem aprimorados. A tributação de impostos federais e estaduais – como ICMS e PIS/CONFINS – se mostra como um ponto a ser melhorado e portanto cabe aqui, alguma informação sobre o assunto.

O imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS) é um tributo estadual aplicável à energia elétrica e tem como base de cálculo toda a energia que recebida pelo consumidor proveniente da distribuidora local, sem considerar qualquer compensação de energia produzida pelo mini e micro gerador.

Após determinação da ANEEL, o imposto referente ao Programa de Integração Social (PIS) e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (CONFINS) passaram a ser calculados mensalmente e têm como base de cálculo para algumas distribuidoras o consumo total tarifado (ICMS + PIS/CONFINS), subtraindo-se o consumo total tarifado sem impostos.

Segundo visão da própria ANEEL, esses tributos deveriam ser cálculos a partir das diferenças mensais entre a energia consumida e a fornecida pelo micro e mini gerador e caso a energia fornecida seja igual ou superior a energia consumida, a tributação deve ser feita sobre apenas sobre o custo de disponibilidade da demanda contratada.

4. Pequenas Turbinas Eólicas

5.1 Estado da arte

Turbinas eólicas podem ser definidas como máquinas capazes de converter energia contida nos ventos em eletricidade. Atualmente existem os mais diferentes designs e várias possíveis classificações como[2]:

- Quanto a velocidade de rotação do rotor
- Quanto as forças dos ventos responsáveis pela rotação
- Quanto a sua capacidade de geração
- Quanto ao eixo de rotação do rotor

A classificação quanto ao eixo de rotação é a mais utilizada hoje em dia e divide as turbinas em turbinas de eixo vertical (TEV) e turbinas de eixo horizontal (TEH).

As pequenas turbinas eólicas têm se desenvolvido rapidamente mas ainda tem desafios pela frente, tal como sua regularização. Embora já existam normas de design específicas para as pequenas turbinas (IEC61400-2)² e algumas das normas para as grandes turbinas lhes possam ser aplicadas, são necessários mais critérios para que a sua utilização se torne mais simples para os consumidores. Também a ligação à rede (para sistemas que assim o exigem) e as restrições de instalação terão ainda de ser aperfeiçoadas para que se constate uma maior integração destes sistemas no mercado energético. Verifica-se, no entanto, um crescimento de investimento nesta tecnologia nos países desenvolvidos e ainda mais nos subdesenvolvidos devido à sua necessidade crescente de energia.

As turbinas no Brasil são diferenciadas quanto a seu porte de acordo com sua capacidade de geração, atualmente estão são definidas como[6]: (i) pequeno porte ($\leq 10\text{kW}$); (ii) médio porte (10 – 250 kW); (iii) grande porte ($\geq 250\text{ kW}$).

5.2 Descrição da tecnologia

Atualmente são produzidos basicamente 2 tipos de turbinas: turbinas de eixo de rotação horizontal e turbinas de eixo de rotação vertical. As turbinas de eixo horizontal são as turbinas mais difundidas, dominando mercado mundial apesar do constante aumento na participação das turbinas de eixo vertical.

A turbinas de eixo horizontal foram as primeiras a serem aprimoradas e atualmente são utilizadas na maioria dos empreendimentos espalhados pelo mundo. Os avanços tecnológicos possibilitaram o aumento na confiabilidade dos projetos tornando os mais seguros e atrativos. É importante mencionar que a utilização de estudos que mapeiem os ventos do local de instalação do aerogerador são essenciais para um projeto correto.

O desenvolvimento das estruturas que compõem a turbina eólica foram fundamentais para o desenvolvimento de turbinas com maiores capacidade e mais

² IEC 61400 – 2 é a norma técnica expedida pela organização International Electrotechnical Commission que versa sobre especificações técnicas de pequenas turbinas eólicas.

Eficientes no processo de conversão da energia dos cinética dos ventos em eletricidade.

A evolução da tecnologia contribuiu para o aumento de tamanho e capacidade das turbinas eólicas, contudo esse desenvolvimento também possibilitou o aprimoramento das turbinas de pequeno porte. O mercado atual é dominado pelo modelo de eixo horizontal e três pás e orientado de frente ao vento [7], que turbinas de eixo vertical, apesar de sua constante presença no mercado, não possuem vantagem direta em nenhum ponto sobre as turbinas de eixo horizontal. Para o autor, a escolha de uma turbina de eixo horizontal reside principalmente na experiência de anos de utilização desta tecnologia, o que permite maior fiabilidade em aspectos como a entrega da energia.



Figura 10 – Turbina Air breeze (modelo propeller) [7].

5.3 Constituição

5.3.1 Torre

As torres são responsáveis por sustentar e posicionar o rotor a uma altura conveniente ao seu funcionamento. Inicialmente as torres eram de metal treliçado mas

com o constante aumento da capacidade e do tamanho da geração foi necessário desenvolver e aprimorar as torres para suportarem nacelles cada vez mais pesadas.

As torres podem ser de 3 tipos: estaiada, treliçada e na forma de um poste maciço. As torres treliçadas permitem que sejam içadas e rebaixadas, especialmente em turbinas de mini e micro geração as torres treliçadas são mais utilizadas por conta de sua simplicidade e menor custo [7]. Turbinas de pequeno e médio porte podem precisar de maior sustentação e confiabilidade, sob condições mais intensas de operação, as torres treliçadas e de poste são mais utilizadas por melhor suportarem esforços mecânicos.

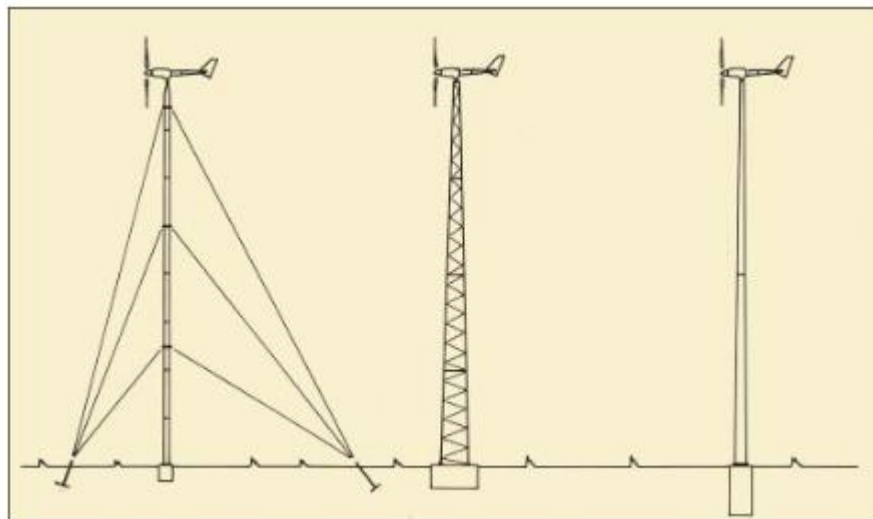


Figura 7 – Exemplo de estruturas da torres [7].

A seleção da tecnologia utilizada na torre é muito influenciada pelas características do sítio. A rigidez da torre é um dos fatores de maior importância na análise aerodinâmica da turbina, devido a perturbações que podem ocorrer entre o rotor e a torre. Para turbinas contrárias ao fluxo do vento, o efeito de sombra da torre – uma espécie de vácuo criado com o fluxo de vento ao redor da turbina – deve ser considerado nas dinâmicas da turbina, nas flutuações de potência e na geração de ruído. Por exemplo, por causa da sombra de vento turbinas contrárias ao fluxo do vento costumam gerar mais ruído que turbinas a favor do fluxo.

5.3.2 Nacele

A nacelle é a carcaça montada sobre a torre, onde se localizam o gerador, a caixa de engrenagens e os sistemas de controles de velocidade de vento e de rotação

e posicionamento da turbina em relação ao vento. Em turbinas menores o mais comum é o gerador se conecta diretamente ao gerador [6].

5.3.3 Rotor

O rotor é a parte encarregada de interagir com o vento, captando sua energia cinética e transformando-a em energia mecânica de rotação. O rotor é o componente mais característico de uma turbina eólica, as pás que nele são fixadas são fundamentais na conversão de energia, o ângulo de ataque em relação ao vento e a forma da pá estão diretamente relacionados com a potência final gerada.

O rotor em síntese é formado por 3 componentes as pás, o cubo e o eixo. As pás como dito anteriormente são responsáveis pela captação da energia eólica e posterior conversão em energia mecânica. O cubo é uma peça rígida e de alta resistência, onde as pás e o eixo são acoplados. Sistemas de controle de ângulo de ataque costumam estar localizados junto ao cubo também. O eixo é a parte que faz a conexão entre o cubo e o gerador, parte responsável por transferir a energia mecânica para o gerador. [3]

5.3.4 Gerador

O gerador é o responsável de converter a energia mecânica advinda do eixo do rotor em energia elétrica. Atualmente existem modelos em comercializados com diversos tipos de geradores, entre eles: geradores de corrente contínua, geradores síncronos, geradores assíncronos, geradores de comutador de corrente alternada.

O gerador e o rotor estão diretamente relacionados porém isso cria algumas dificuldades na conversão da energia eólica, sobretudo devido à variação da velocidade do vento e dos torque de entrada, que atrapalham na constância de frequência e tensão da energia final produzida.

A escolha do gerador deve ser feita considerando os possíveis benefícios e malefícios de cada tipo de gerador. Geradores do tipo gaiola conectados direto a rede elétrica sendo sua velocidade de rotação dada pela frequência da rede e pelo número de polos do gerador.

As vantagens de se utilizar turbinas de velocidade fixa é a simplicidade dos sistemas de controle e utilização do gerador de gaiola, isso torna esse tipo de turbina mais barata e além de aumentar a confiabilidade do equipamento.

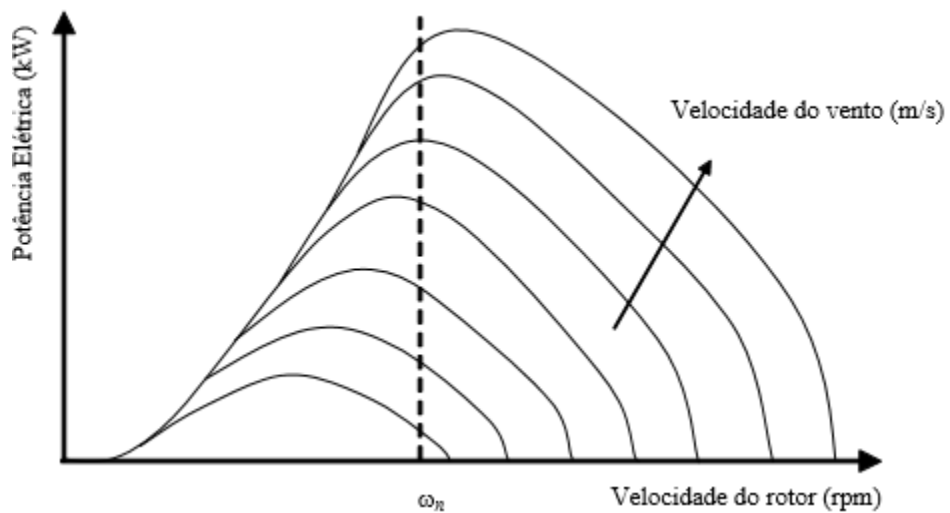


Figura 8 – Característica de uma turbina eólica operando com velocidade constante [8].

Por outro lado, esse sistema também tem desvantagens como as elevadas cargas nos componentes mecânicos da turbina e que pode ocasionar na diminuição do tempo de uso da turbina. Além disso, esse gerador apresenta menor eficiência quando comparado aos de velocidade variável por possuir eficiência máxima para apenas uma velocidade de vento. As turbinas de velocidade fixa não são capazes de absorver as turbulências ou pequenas variações de velocidade de vento tendo sua potência de saída diretamente afetada, o que gera problemas de qualidade da energia gerada.

Especialmente para turbinas eólicas de grande porte é importante ter a velocidade do rotor desconectada da rede, no sentido de manter sob controle as cargas mecânicas e a flutuação de potência. A ideia de geradores de velocidade variável é maximizar a potência gerada por meio da adequação contínua da velocidade de rotação da turbina em relação a velocidade do vento.

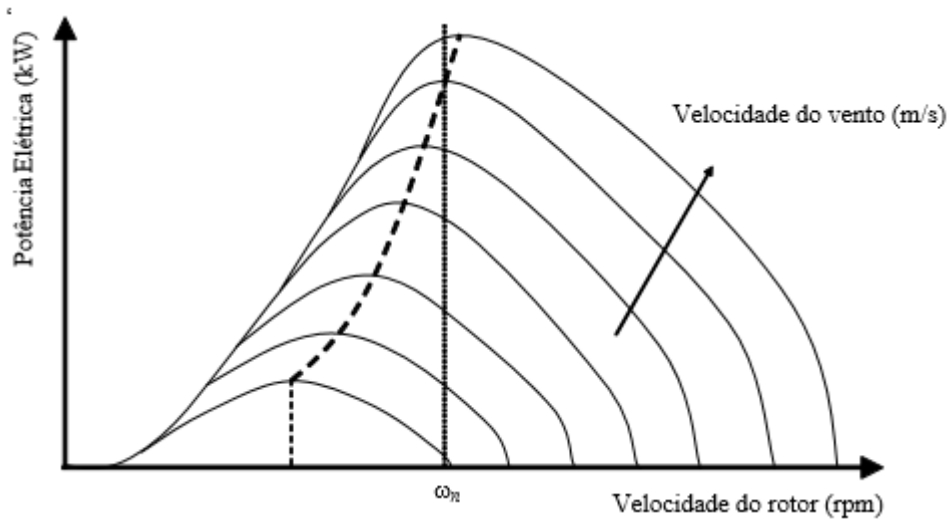


Figura 9 – Característica de uma turbina operando em velocidade variável [8].

Além de maximizar a eficiência das turbinas, a operação em velocidade variável também possibilita a diminuição das cargas mecânicas e a maior confiabilidade e qualidade da energia gerada. A principal desvantagens desse tipo de operação é a necessidade de utilização de conversor de frequência que aumenta a complexidade e o custo da turbina.

5.4 Tipos de turbinas

5.4.1 Rotores de eixo horizontal

As turbinas de eixo horizontal são atualmente as turbinas mais utilizadas no mundo e em sua grande maioria se baseiam no modelo Propeller de design. Esse modelo possui eixo horizontal, se orienta de frente ao vento e possui três pás e atingiu dominância em relação a outros[2]

Esse modelo possibilita o melhor controle da energia de saída e a velocidade do rotor, através do sistema de deflexão das hélices, esse e outros sistemas de controle de potência serão explicados posteriormente. Suas três pás favorecem uma operação mais suave o que aumenta a durabilidade da turbina.

Grande desenvolvimento e experiência do modelo propeller ao longo dos anos também é um fator a se ressaltar. A ampla quantidade de informação levaram ao grande aprimoramento desse modelo aumentando, em muito, sua confiabilidade de operação principalmente quando comparado a outros modelos, como os de eixo de rotação vertical.

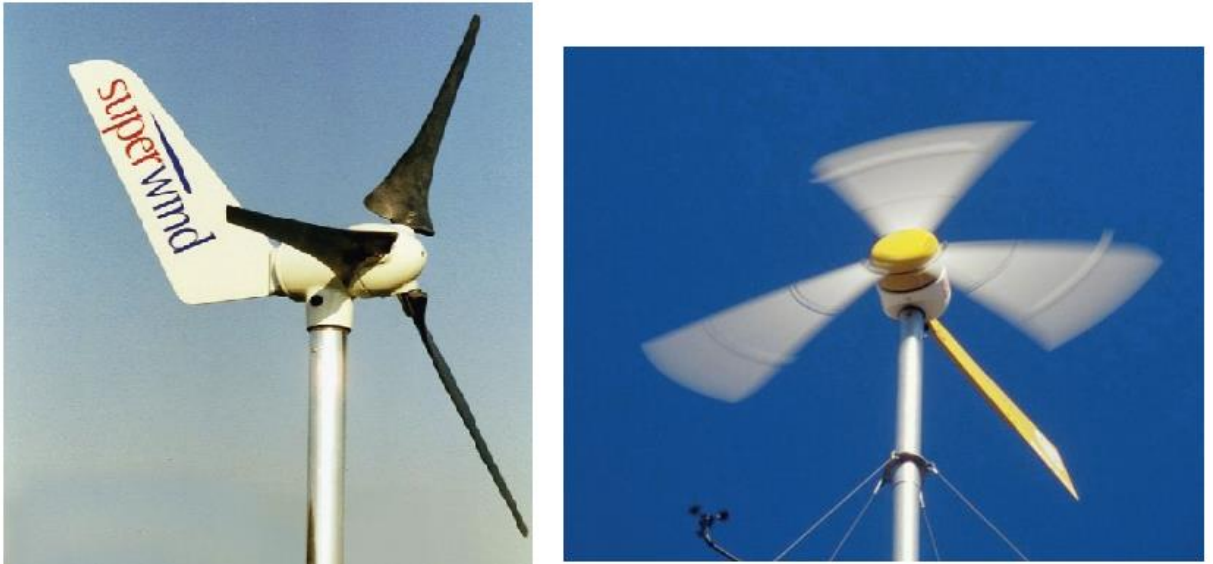


Figura 10 – Exemplo de pequenas turbinas no modelo propeller [7].

5.4.2 Rotores de eixo vertical

Gripe et al. (2009) ressaltam que a modelos de eixo de rotação vertical têm surgido cada vez com mais frequência sob as mais diferentes formas e designs. A versão moderna de turbinas verticais foi desenvolvido inicialmente por Darrieus. O modelo Darrieus foi proposto em 1925 e foi considerado como um promissor conceito para as turbinas modernas, esse rotor possui duas ou três hélices que rotacionam de acordo com a superfície de um sólido de revolução de eixo vertical de rotação, sua concepção de rotor – Φ , foi a mais difundida mas atualmente caiu em desuso.



Figura 11 - rotor – Φ , da flowind company. TEV com maior sucesso no mercado [7]

As TEV não tem se mostrado muito efetivas e mesmo após a concepção dos modelos de Darrieus esse tipo de turbinas entrou e saiu constantemente de uso [7] Um dos modelos de REV mais utilizados são os com copos anemométricos, esses modelos são derivados dos anemômetros (número pequeno falando o que são anemômetro) e consistem em copos que são movimentados na passagem de vento. Por apresentarem copos ou invés de pás, seu design é bem mais simples e portanto mais barato que outros modelos. Suas principais aplicações estão em sistemas isolados de baixo consumo de energia como carregamento de baterias para sistemas de bombeamento de água.



Figura 12 – Anemômetro de copos

Outros modelos encontraram aplicação específica, como o modelo de Savonius. Esse tipo de rotor funciona de maneira parecida com a dos copos anemométricos, sua simplicidade também é o que o caracteriza e justifica sua escolha, principalmente em aplicações de baixo consumo. As turbinas do tipo Savonius são menores e mais simples e principalmente destinadas para bombear águas subterrâneas. Esses rotores não podem ser utilizados para geração de eletricidade devido a sua baixa velocidade de rotação e seu baixo coeficiente de potência. Modelos mais novos são chegam a coeficientes de potência da ordem de 0.25 [2].



Figura 13 – Turbina de eixo vertical do modelo Savonius [7].

O modelo rotor-H é uma variação do modelo de Darrieus e seu design ainda está em desenvolvimento para aplicação comercial, já que seus custos de produção são ainda são altos e portanto não competitivos. Apesar de seu alto custo são motores de estruturas relativamente simples, com um gerador permanentemente excitado conectado direto ao rotor, sem intermediação entre o gerador e o rotor. Atualmente ainda existem poucas informações sobre sua performance em campo.



Figura 14 – Turbina de eixo vertical do modelo Rotor H [7].

As vantagens do conceito de rotor vertical são basicamente seu design simples capaz de hospedar componentes mecânicos e elétricos na mesma estrutura e gerador ao nível do solo. Contra está a baixa velocidade de rotação de suas hélices, a falta de um sistemas de iniciação automática (self-start) e a ausência de controles de saída de energia e rotação das hélices (sem deflexão) [7].

5.5 Sistemas de Controle de potência

Para o correto projeto de grande ou pequena geração eólica, dados do perfil de vento do local devem ser considerados para a escolha da turbina adequada. As turbinas eólicas são projetadas para trabalhar ao longo de certas faixas de velocidade buscando evitar custos.

A região I, delimita a região de não operação. As turbinas normalmente tem sua velocidades iniciais de operação entre 3 – 5 m/s [8]. A região II, é a fase de operação normal da turbina, que pode ter velocidade fixa ou variável de acordo com o tipo de gerador e do sistema de controle. Na região III, a turbina opera em potência nominal e limitada, independente da velocidade do vento, devido aos sistemas de controle que serão posteriormente explicados.

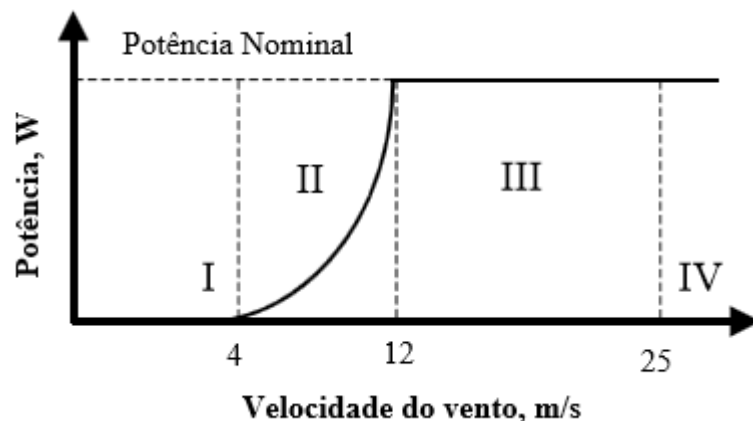


Figura 15 – Regiões de Operação de uma turbina eólica [8].

A região IV, é a região de saída de operação das turbinas. A potência gerada, pormenorizada no capítulo seguinte, é proporcional ao cubo da velocidade e portanto quanto mais a velocidade do vento maior será a potência gerada. No entanto, quanto maior a velocidade do vento maior serão os esforços mecânicos sobre a turbina. Sob a ação de esforços demasiados as turbinas podem entrar em colapso, causando

efeitos catastróficos. Portanto um incremento pouco significativo na energia gerada elevaria substancialmente o custo da turbina.

Visando evitar o aumento de custo devido ao aumento da resistência de turbinas e melhorar sua conversão de energia, a utilização de sistemas de controle se faz necessário às turbinas eólicas possibilitando uma operação mais eficiente e segura.

5.5.1 Controle de passo (pitch)

O controle de passo é um sistema ativo que regula a velocidade de rotação das pás visando a potência nominal da turbina. O sistema funciona por meio da variação do ângulo de passo, o que permite controlar a velocidade de rotação das pás. O ângulo de passo está diretamente relacionado com as forças aerodinâmicas atuantes e sua variação altera as intensidades das forças aerodinâmicas, possibilitando o controle da velocidade de rotação das pás.

O principal benefício do controle de passo é o aumento da eficiência na extração da energia eólica. Quando o vento está abaixo ao da potência nominal, o sistema atua ativamente procurando o melhor ângulo de ataque na buscando a potência nominal. Quando o vento está acima da velocidade nominal, o sistema atua reduzindo o ângulo de ataque para diminuir a velocidade de rotação das pás e manter o aerogerador operando sob potência nominal.

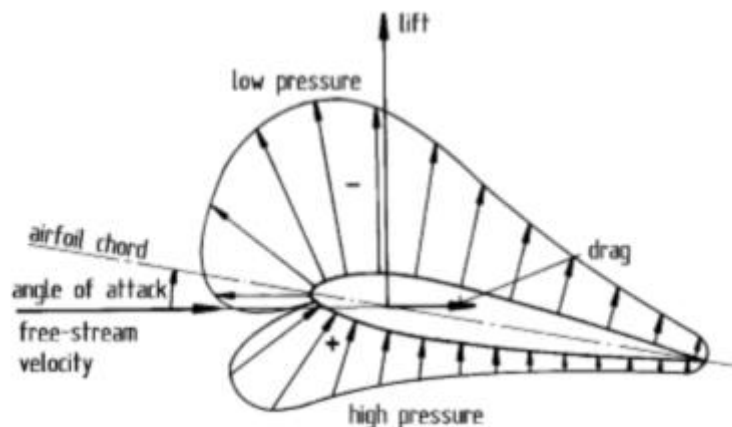


Figura 16 – Esquema que ilustra as forças aerodinâmicas e a diferença de pressão na passagem do vento [1].

Outra vantagem do controle de passo é a capacidade de assistir à partida e a frenagem da turbina. O sistema de controle de passo durante a partida atua na rotação das pás de maneira a obter a máxima força aerodinâmica, facilitando a entrada em operação da turbina. Na frenagem, a rotação das pás possibilitam a entrada na posição de bandeira (90° em relação a direção do vento) que reduz a ação das forças aerodinâmicas. No entanto, o sistema de controle de passo acarreta em maior complexidade a turbina e por isso não é utilizado em turbinas menores como forma de se evitar custos.

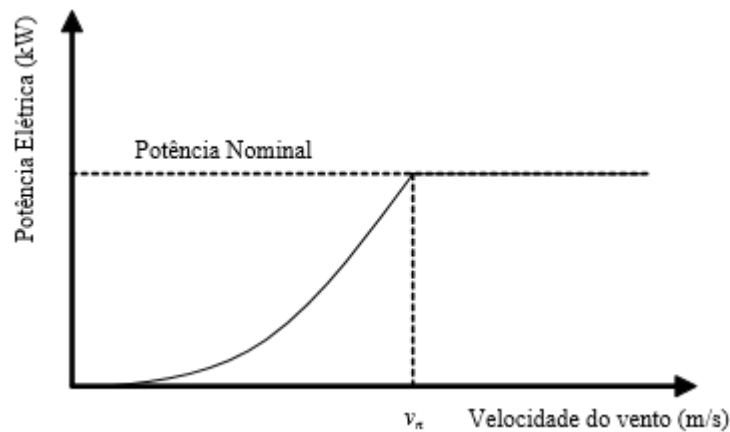


Figura 17 - Curva de potência para uma turbina com controle a passo [8].

5.5.2 Controle estol (stall)

O controle estol é um sistema passivo que reage a velocidade do vento. Suas pás são fixas ao rotor e não podem girar em seu eixo longitudinal, mantendo constante seu ângulo de passo. O ângulo de passo nesse tipo de sistema é escolhido de maneira que para ventos superiores aos da potência nominal, o escoamento entorno do aerofólio se desloca da pá, reduzindo a força de sustentação e aumentando a força de arrasto, propiciando a redução da potência gerada[6].



Figura 18 – Fluxo turbulento por conta do controle estol e o fluxo laminar, respectivamente [6].

Para evitar que o efeito estol aconteça ao longo de toda pá, o que reduziria significativamente a potência do gerador, essas pás apresentam uma pequena torção longitudinal para possibilitar a utilização desse efeito mais suavemente.

A vantagem do método está na sua simplicidade, que diminui a quantidade total de peças favorecendo a manutenção, a ausência de sistema de controle de passo, por outro lado, para definir o ângulo de ataque é necessário um série de cálculo aerodinâmicos complexos. A correta avaliação do ângulo de ataque é fundamental para o desempenho do método.

Outras desvantagens do controle estol está na incapacidade destas turbinas auxiliarem na partida e na frenagem. Para a partida, torna-se necessário um motor, ou a própria turbina no modo motor, para levar o rotor até a velocidade adequada. Na frenagem, como as pás não entram em posição de bandeira é exigido um sistema complementar de frenagem aerodinâmica. Além disso, durante a fase de limitação de potência as turbinas com sistema de controle estol tem problemas no ajuste fino, como pode ser observado abaixo.

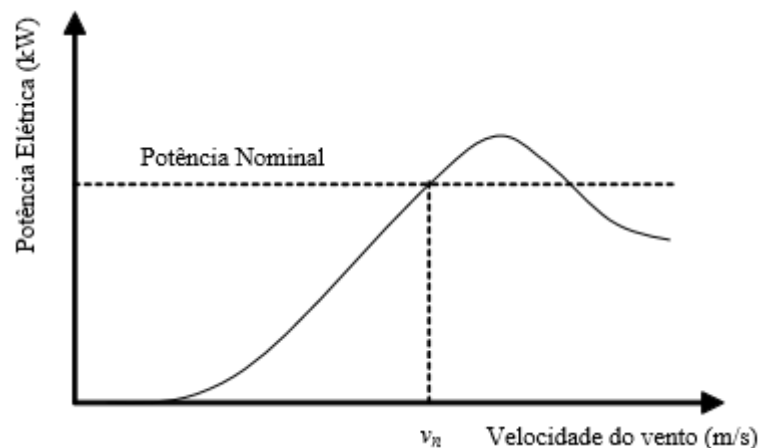


Figura 19 – Curva de Potência para uma turbina com controle estol [8].

Atualmente existe uma variação do controle estol, chamada estol ativo. Esse sistema de controle tem por objetivo combinar as vantagens do sistema de controle de passo com a robustez da regulação do controle estol. Para isso a rotação das pás é feita no sentido de produzir o efeito estol, diminuindo a força de rotação e aumentando a força de arrasto.

Esse sistema híbrido, apresenta vantagens com relação ao controle de passo, devido aos menores ângulos de rotação necessários, isto é, sob as mesmas condições de vento o sistema de passo deve girar as pás mais rapidamente do que o sistema estol ativo. Em relação ao sistema estol passivo, esse sistema possibilita um melhor controle da potência na região de potência limitada, além de ajudar na partida e frenagem da turbina.

Contudo, esse sistema também tem desvantagens, a capacidade menor de rotação diminui o custo em relação ao sistema de passo mas ainda assim, o custo da turbina supera o custo de uma turbina com sistema estol passivo. Outro problema é a necessidade de sobre dimensionamento para lidar com os esforços mecânicos que o efeito estol provoca.

Turbinas de pequeno porte podem ou não apresentar sistemas de controle da potência, devido a suas baixas velocidades de operação a ausência desses controles não se configura em perigo na operação. Para a escolha correta da turbina e seus componentes o investidor deve estudar as condições de vento do terreno antes de escolher seu aerogerador.

5.5.3 Controle de orientação direcional

Esse controle pode atuar de forma passiva ou ativa e tem como principal função alinhar o rotor com a direção de maior intensidade de vento. A forma ativa, é mais comum as grandes turbinas e consistem na utilização de um anemômetro que a partir de um certo valor indique ao controlador a necessidade de se efetuar um desvio. O controle passivo é mais utilizado em turbinas de menor escala, com ajuda de um leme que posiciona a turbina de acordo com a direção do vento dominante. Esse sistema pode acarretar em esforço e fadiga mecânica em turbinas de grande porte.



Figura 20 – Exemplos de pequenas turbinas com controle de direção por leme [7].

5.6 Tipos de sistemas e suas aplicações

As aplicações de pequenas turbinas eólicas podem ser definidas em dois grandes grupos: sistemas conectados à rede ou isolados da rede.

5.6.1 Sistemas ligados à rede

Os sistemas ligados à rede funcionam como uma geração distribuída, onde a própria a geração se situa junto a própria carga. Esses sistemas funcionam fornecendo energia a rede de distribuição, que é operada separadamente.

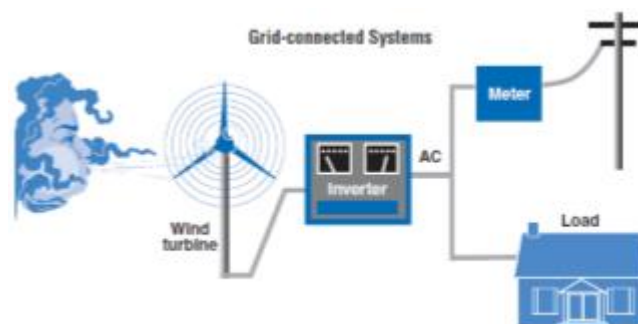


Figura 21 – Sistema ligado à Rede [10]

A figura acima, representa a configuração de uma geração distribuída a base de energia eólica[9]. A partir da energia dos ventos o aerogerador produz energia elétrica na forma de corrente elétrica contínua. Essa corrente passa por um inversor onde será transformada em corrente alternada, de onde sai para alimentar a rede ou

a própria carga local. Vale ressaltar, a presença necessária de um inversor e um medidor na interligação entre o inversor e a rede[10]. O Inversor se faz necessário para alimentar a rede e a carga, visto que a energia é gerada sob a forma de corrente contínua. O medidor é necessário para políticas de compensação e contratos de fornecimento.

Ainda com relação ao esquema da figura 25, apesar de pouco usual, para aumentar a segurança no abastecimento da carga, baterias podem ser utilizadas para auxiliar a rede em caso de falha no fornecimento. Nesse tipo de sistema o aerogerador fornece energia para carga e o excedente é armazenado nas baterias, essa uma vez carregadas, o excesso de energia é destinado a rede.

Ainda existem poucos pequenos sistemas conectados à rede principalmente porque sistemas conectados, em sua grande maioria, se encontram em áreas urbanas que possuem muitos obstáculos que perturbam o vento, diminuindo seu potencial de geração, entretanto ainda existem pelo mundo inúmeros projetos buscando aproveitar o espaço urbano na geração eólica de pequena escala.

5.6.2 Sistemas isolados da rede

Sistemas isolados da rede são autônomos e assim responsáveis por sua regulação de tensão e frequência. A figura a seguir ilustra uma a configuração para sistemas eólicos desconectados.

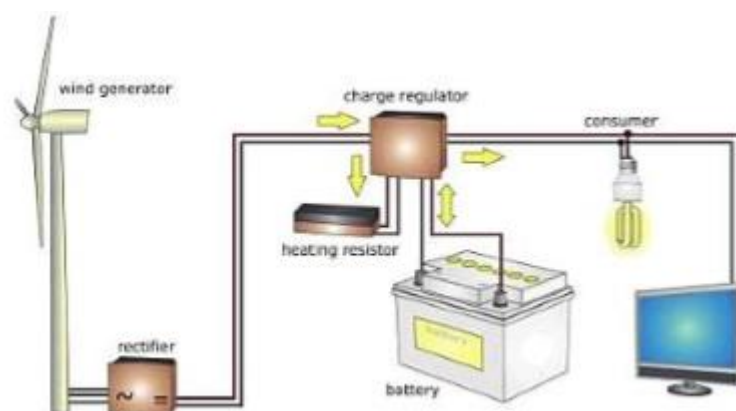


Figura 22 – Sistema Isolado da Rede [9]

A figura representa um aerogerador que fornece energia em corrente alternada. A energia produzida é destinada a alimentar a carga e um conjunto de baterias. Por

estarem desconectadas, em caso de falha ou falta de recurso, as baterias são geralmente dimensionadas para suprir 2 ou 3 dias de demanda.

Para o carregamento das baterias é necessário um retificador que transforma a corrente alternada vindo do aerogerador em corrente direta. O uso de controlador de carga é uma prioridade, visto que esses sistemas têm que operar sua distribuição evitando sobrecargas e faltas pontuais de abastecimento.

Em comunidades afastadas que utilizam pequenos e médios geradores necessitam de um “heat resistor” como apresentado na figura O. Esse dispositivo atua dissipando energia em caso de total carregamento de baterias e atendimento da demanda local. Turbinas maiores possuem sistemas de desconexão automatizados mas para pequena e média geração para diminuir custos esses sistemas não costumam ser implementados, novamente por isso o uso de heat resistor, que possui a função de “queimar” energia por efeito Joule⁴, para evitar a sobrecarga do sistema.

Para aumentar a segurança energética dos sistemas isolados foram concebidos projetos de geração híbrida. Existem atualmente diferentes configurações combinando aerogeradores com como geradores a diesel e painéis fotovoltaicos.

Os principais sistemas eólicos híbridos são:

- Eólico–Diesel;
- Eólico–Fotovoltaico;
- Eólico–Voltaico–Diesel;

Todos os sistemas operam de forma muito parecida, com um sistema de controle que regula a tensão e a frequência gerenciando toda a energia, um conjunto de baterias para atuarem em caso de falha no abastecimento e os geradores receptivos as fontes em questão.

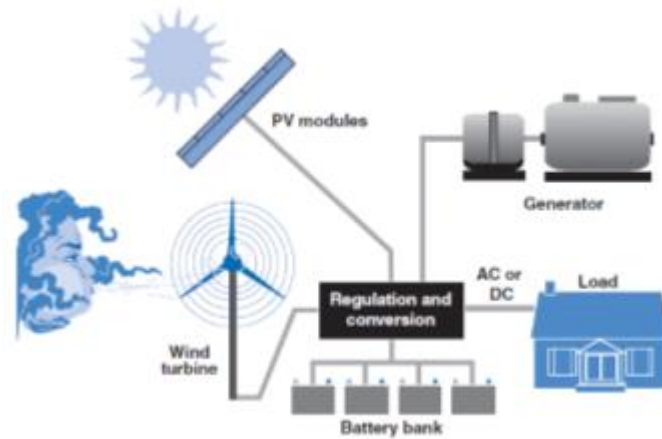


Figura 23 – Sistema Híbrido Solar, Eólico e Diesel [10]

Sistemas híbridos aumentam a segurança na geração, por conta da complementaridade dos sistemas de geração eólica e fotovoltaica como pode ser visualizado na figura 27, onde pode ser notado a maior intensidade de vento no período noturno, momento de captação solar nula.

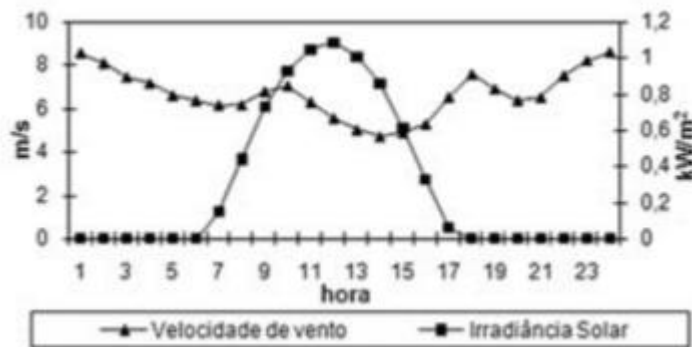


Figura 24 – Complementaridade entre as fontes solar e eólica [9].

O diesel também contribui para a segurança por ser um recurso armazenável, porém devido aos custos do combustível e logística, visto que os sistemas isolados costumam possuir difícil acesso, assim sendo os projetos com diesel são dimensionados para operar principalmente sem ele. O diesel é então utilizado como um suporte à geração renovável eólica ou fotovoltaica.

5.7 Análise do mercado global

Apesar da existência de grandes atores, o mercado internacional de pequenas turbinas vêm se desenvolvendo e se disseminando pelo globo, estima-se atualmente 806.000 pequenas turbinas instaladas pelo mundo[11]. China, Estados Unidos e

Reino Unido, respectivamente possuem os maiores mercados, os números desses e outros países podem visualizados na figura abaixo.



Figura 25 – Total acumulado de unidades instaladas por nação [11].

Cinco países acumulam sozinhos mais de 50% dos fabricantes do mundo, são eles: China, Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido e Canadá. Segundo a WWEA, apesar da concentração de fabricantes, as grandes fontes de ventos situados em países do sudeste asiático, África e América Latina atraem a atenção das fabricantes, o que segundo a WWEA, tende para o aumento da distribuição das fabricantes pelo mundo. Outro ponto a favor da disseminação de fabricantes são as inúmeras áreas isoladas do sistema elétrico nas regiões supracitadas, regiões que pelos altos custos de conexão com a rede tornam as pequenas turbinas uma opção muito competitiva. A distribuição mundial dos fabricantes pode ser visualizada na figura 30.

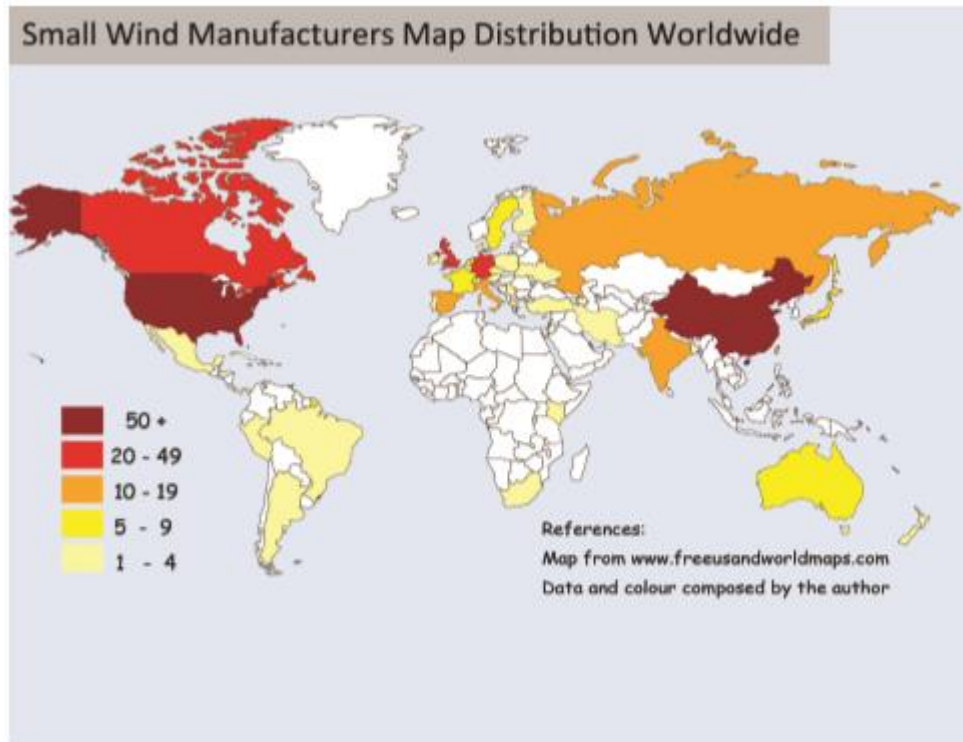


Figura 26 – Mapa de distribuição mundial de fabricantes de pequenas turbinas [11].

As pequenas turbinas eólicas têm capacidade de geração menor que as turbinas mais comumente empregadas. Apesar das turbinas terem se desenvolvido a partir de geradores de menor potência, foi com os modelos de grande porte que o segmento se estabeleceu. A versatilidade e custos reduzidos aumentaram as possibilidades de utilização de pequenas turbinas disseminando-as pelo mundo. As turbinas de pequeno porte são primariamente para geração distribuída com foco na utilização da energia gerada no próprio local de geração, tem potência de geração entre 0.3 a 100 kW e tipicamente utilizam ventos de velocidade em torno de 9km/h.

Ainda hoje não existe uma definição unificada global sobre turbinas de pequeno porte. Originalmente pequenas turbinas eram definidas pela baixa produção de energia para abastecimento de necessidades residências. No entanto, essa definição é vaga se compararmos a demanda de uma casa de família na China e nos EUA, que por exemplo, são bem diferentes. A associação mais importante de padronização para máquinas elétricas, IEC, define na norma IEC 61400-2, turbinas de pequeno porte como turbinas de rotor com área de varrida menor que 200 m² e capacidade de potência de aproximadamente 50 kW.

Além da definição dada pelo IEC, diversos países criaram suas próprias definições e em sua maior parte tem como limite máximo 100 kW, isso se deve principalmente pela influência de mercados maiores como os mercados europeus e norte americano. Algumas definições podem ser vistas na tabela abaixo[11].

	Departamento/Associação	Classificação	Capacidade média
Internacional	International Eleetrotechnical Commision	Pequena Turbina	Aproximadamente 50kW
Canadá	Natural Resources Canada(NRCan) e Canadian Wind Energy Association(CanWEA)	Mini Turbinas	0,3 - 1,0 kW
		Pequena Turbina	1 - 30 kW
China	Renewable Energy & Energy Efficiency Partnership (REEEP)	Pequena Turbina	< 100 kW
Alemanha	Budesverband WindeEnergie (BWE)	Pequena Turbina	< 75 kW
Reino Unido	RenewableUK	Micro Turbina	0 - 1,5 kW
		Pequena Turbina	1,5 - 15 kW
		Pequena-Média Turbina	15 - 100 kW
	Microgeneration Certification Scheme	Micro e Pequena Turbina	< 50
EUA	American Wind Energy Association (AWEA)	Pequena Turbina	< 100 kW

Figura 27 – Tabela de Classificação para pequenas turbinas eólicas para diferentes autoridades internacionais [11].

Podem ser citados entre as principais aplicações de pequenas turbinas eólicas pelo mundo[11]:

- Residencial
- Comercial e Industrial
- Barcos de pesca e recreação
- Sistemas Híbridos
- Mini redes elétricas
- Comunidades isoladas, fazendas
- Bombeamento
- Dessalinização e Purificação
- Sistemas de monitoramento remoto
- Pesquisa e Educação
- Bases de Telecom remota

As pequenas turbinas de pequeno porte podem ser divididas de acordo com sua conexão, podendo estarem conectadas diretamente a rede ou em sistemas isolados, fora da rede elétrica interligada. As não conectadas a rede são geralmente instaladas em áreas afastadas da rede elétrica onde o custo de interligação é muito alto. Os sistemas mais simplificados geram energia em corrente direta abastecem sistemas remotos como dispositivos de telecomunicações e bombas de água. Esses sistemas costumam contar com baterias recarregáveis para fornecer *back-up* nos momentos onde o recurso eólico estiver em baixa.

Com a utilização de um inversor a eletricidade pode ser convertida em corrente alternada possibilitando atendimento a dispositivos de corrente alternada e compatibilizando o sistema com a rede elétrica integrada.

Existem inúmeras aplicações para as turbinas de pequeno porte não conectadas à rede, tanto comerciais ou como residenciais. Pode ser ressaltado como uso comercial a utilização, por exemplo, em plataformas de extração de petróleo pois são uma opção mais barata a comum geração óleo-térmica. Nas aplicações residências, as turbinas de pequeno porte aparecem principalmente em sistemas híbridos eólico-solares, eólico-diesel, eólico-solar-diesel.

Apesar de todos os benefícios relacionados as aplicações desconectadas com a rede, o mercado de pequenas turbinas têm crescimento principalmente no segmento de turbinas conectadas a rede elétrica integrada. Fabricas e outros negócios conectados à rede utilizam turbinas eólicas para geração de sua própria energia, reduzindo seu impacto ambiental e diminuindo suas contas de energia.

Outro segmento que vêm ganhando importância no mercado de pequenas turbinas eólicas são projetos comunitários de geração. Esses projetos podem ser gerenciados por comunidade municipais, cooperativas rurais, tribos e qualquer associação comunitárias e possibilitam aos interessados maior controle no fornecimento de energia e lucros com a venda do excesso de energia gerado em caso de dispositivos conectados com a rede.

Atualmente o mercado de pequenas turbinas eólicas continua crescer e está sendo puxado por China, EUA e Reino Unido. Esses três países respondem por 93% das turbinas de pequeno porte instaladas no mundo. Só a China representa 76% do desse valor com um total de 570.000 unidades instaladas[11].

Uma tendência a ser observada é o aumento da potência de turbinas pequenas que eram de 0,66 kW em média e passaram a ser de 0,84 kW atualmente. No entanto, o tamanho médio difere muito entre os países mais representativos, a China tem média de capacidade de 0,5 kW, os EUA possuem 1,4 kW e o Reino Unido tem 3,7 kW.

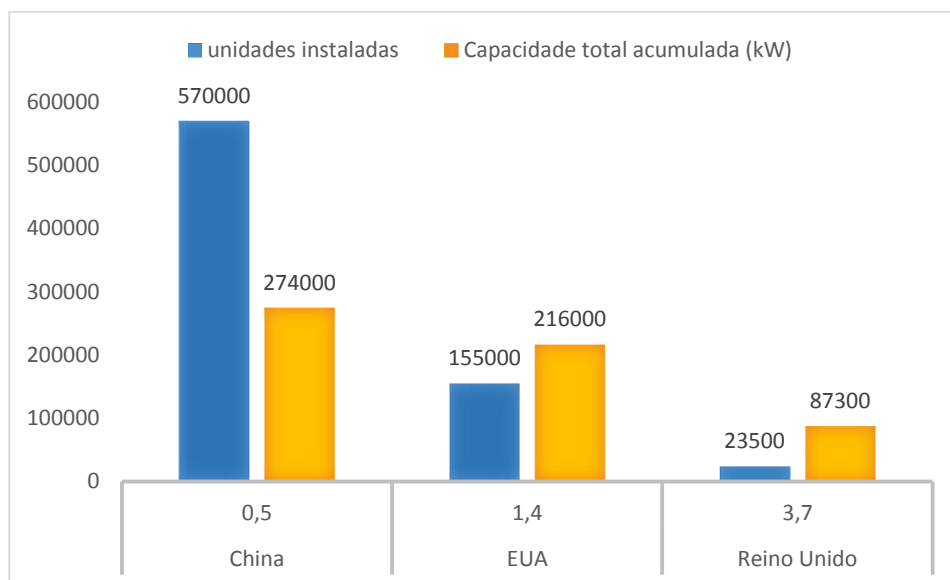


Figura 28 – Unidades instaladas, Capacidade gerada acumulada e média para China, EUA e Reino Unido [11].

5.7.1 Mercado Americano

Os Estados Unidos são maiores fabricantes de turbinas eólicas de pequeno porte (segunda a EESI). Em 2011, os fabricantes reportaram vendas da ordem de 115

milhões de dólares, sendo 54% desse valor referente a exportações. Em 2010, as turbinas de pequeno porte geravam cerca de 179 MW em solo americano, colocando os EUA como o líder mundial em capacidade instalada[12].

O mercado interno americano teve seu crescimento freado pela crise de 2009. Apesar de taxas de crescimento menores os EUA acumulam 216 kW de potência instalada até 2014, sendo o segundo maior em capacidade instalada. Contudo, mesmo o mercado americano sendo expressivo ainda muito dependente de incentivos, segundo relatório da AWEA somente no ano de 2011, entre taxas de crédito e outras formas de financiamento o governo americano se dispendeu de mais de 38 milhões de dólares em descontos.

Apesar do apoio do governo o mercado de turbinas eólicas ainda se recupera da crise de 2009, especialmente no que diz respeito a vendas internas. Comparado as vendas de 2011 com as de 2012, a inserção de novas turbinas de pequeno porte nos EUA teve uma queda de 3%, com queda nas receitas de 12% e de 50% nas unidades vendidas.

As unidades menores de 1 kW recuaram fortemente: 63% na capacidade base e 52% no número de unidades base. Turbinas entre 11 e 100 kW caíram 4% em relação as unidades base mas tiveram um aumento de 21% na capacidade. Isso se deve as turbinas repotencializadas que totalizam mais de 66% das unidades instaladas em 2012 [12].

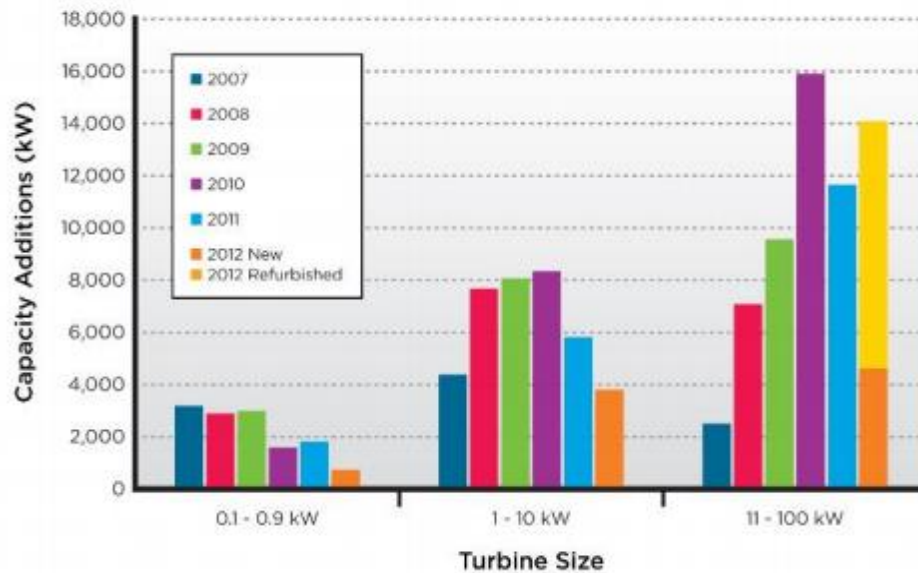


Figura 29 - Vendas por segmento de pequenas turbinas eólicas americanas [13].

O decréscimo nas vendas de pequenas turbinas eólicas foi fortemente puxado pela turbinas não conectadas à rede, que caíram 37% em unidades vendidas enquanto que as turbinas conectadas com a rede tiveram crescimento pequeno, passando de 17,4 MW para 17,6 MW em 2012. O decréscimo de turbinas off-grid domésticas combinado com a remodelagem de turbinas acima de 40 kW fizeram com que a média da capacidade instalada triplicasse de 5,8 kW para 17 kW, o que ajuda a explicar a menor diminuição da capacidade instalada frente a queda nas vendas.

No ano de 2012, foram verificados 74 modelos diferentes de pequenas turbinas em solo americano, sendo essas produzidas por 30 fabricantes diferentes entre americanos e internacionais. Desse total 14, são fabricantes americanos que reportaram vendas de 33 modelos diferentes e 8 turbinas remodeladas. Existem cerca de 11 fabricantes baseados fora dos EUA e com presença no mercado de pequenas turbinas americano, de países como África do Sul, Espanha, Canadá e Reino Unido.

A maioria das turbinas vendidas em 2012 foram instaladas com suporte próprio por treliças e torre estaiada, solução considerada pelos fabricantes americanos como a melhor. A altura das torres de pequenas turbinas variam entre 9 e 49 m sendo a maioria das torres acima de 30 m de altura.

Tanto a venda doméstica como as exportações tiveram retração em 2012, no que diz respeito exclusivamente aos fabricantes americanos. Porém os EUA ainda se

impõem como líderes em seu mercado, com 91% das unidades vendidas, representando 86% da capacidade instalada no ano. Essa liderança americana, favorece a economia em si, por terem níveis de nacionalização dos componentes entre 80% e 85%[12].

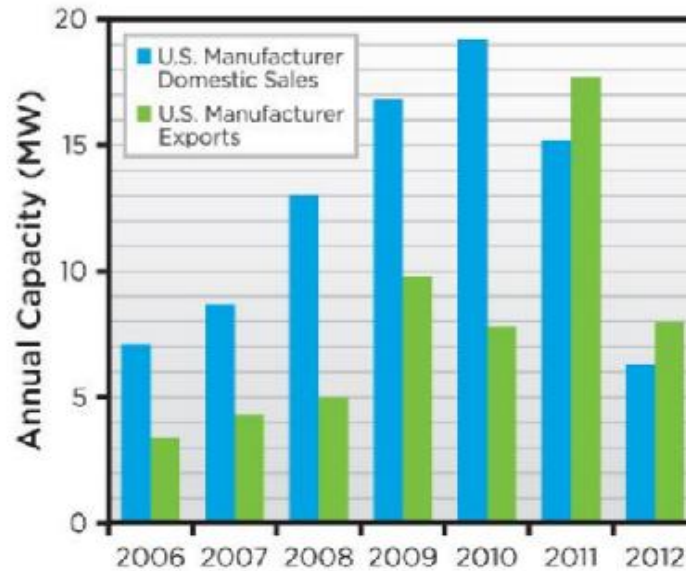


Figura 30 – Evolução anual das vendas nacionais e de exportação [13].

Os fabricantes americanos venderam cerca de 8MW para mercados estrangeiros, especialmente europeus, por conta principalmente das tarifas feed-in atrativas em alguns países. Em menores quantidades essas exportações também atenderam aplicações em telecomunicações e sistemas eólicos-diesel. Em termos de unidades, as exportações em 2012 representaram 55% do total vendido no ano, concretizando o segundo ano seguido de prevalência das exportações sobre as vendas internas.

Sobre os custos de instalação, pode ser observado que com o aumento da capacidade de potência os custos tendem a ser reduzidos. No entanto, devido aos diferentes tipos de modelos os custos de instalação variam muito. Abaixo são apresentados dois quadros comparando a capacidade com o custo de instalação conforme o modelo e a capacidade comparada ao custo de instalação conforme a capacidade de geração[13].

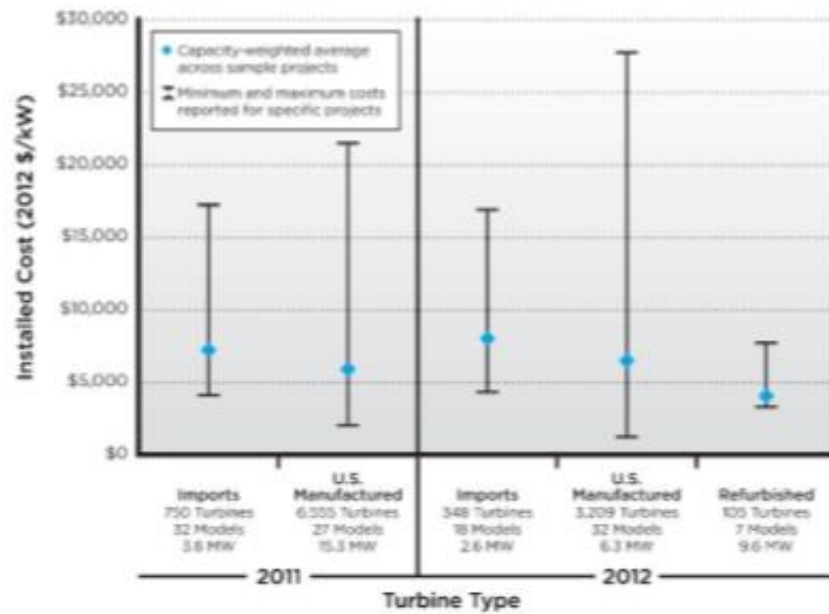


Figura 31 - Custos de instalação por modelo de turbina (Importação, Fabricação Nacional e Remodeladas) [13].

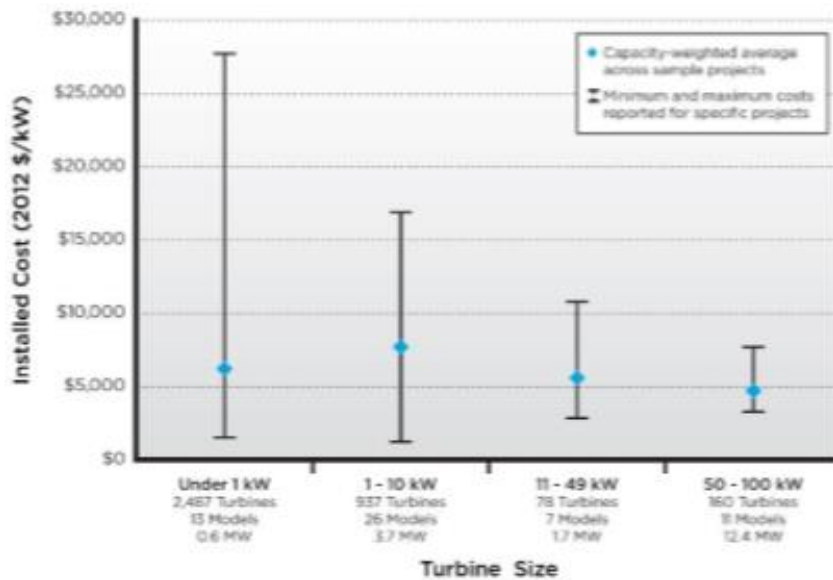


Figura 32 - Custos de instalação por capacidade de potência gerada [13].

O governo federal liberou como parte do plano de políticas para contornar a crise o ITC, Investment Tax Credit, possibilitando 30% de financiamento de sistemas eólicos até 2016. Além disso, instalações qualificadas tem direito a melhores taxas de empréstimo e subsídios.

Outras políticas e programas também ajudaram a melhorar o mercado de turbinas de pequeno porte como net metering e tarifas feed-in. A maneira de se remunerar a energia cedida à rede por um usuário é o que difere esses dois programas.

Basicamente, nas tarifas feed-in a remuneração pela energia cedida à rede é baseada em valores estabelecidos por essa tarifa ao invés do valor de varejo da energia elétrica. Já no net metering o consumidor é pago utilizando o valor de varejo pela energia devolvida à rede.

Em geral tarifas feed-in para fontes de energia renovável são valores acima dos pagos no mercado de varejo e se mostraram importantes facilitadores da geração distribuída nos EUA. No entanto, o uso de tarifas feed-in exageradas podem desequilibrar as contas do governo e causar investimentos mais do que necessários ao setor, como no caso da Espanha e Reino Unido, que tiveram que rever as tarifas feed-in em 2012[13].

As tarifas feed-in nos EUA incluem como fontes elegíveis tanto a energia eólica como a fotovoltaica e tem por base contrato longos, de 10 a 20 anos, para dar mais confiança aos investidores. Os tamanhos dos projetos também são fatores de restrição, com o objetivo de limitar a participação de projetos individuais em certos setores, como o abastecimento residencial. Um outro ponto importante é a limitação de crédito dos programas, todo ano é estabelecido um teto para o pagamento das tarifas feed-in para evitar gastos excessivos.

Para os próximos anos o mercado americano terá de se reinventar, os incentivos antes utilizados já não mostram os mesmos resultados e tecnologias, fotovoltaicas estão se tornando cada dia mais competitivas. Mercados de telecomunicação e óleo & gás ainda possuem potencial para inserção de eólicas de pequeno porte apesar de poucas parcerias efetivadas. Problemas entre fabricantes e instaladores devido à baixa confiabilidade e produção abaixo do acordado têm sido um problema nas relações de negócio.

Como parte da renovação necessária ao mercado americano em 2011, a SWCC começou a padronizar e certificar turbinas de acordo com as normas estabelecidas pela AWEA, essas certificações estão sendo utilizadas por estados para qualificar turbinas para seus programas de incentivo e aumentar a confiabilidade das mesmas, minimizando problemas entre fabricantes e instaladores[12]. A SWCC, é uma organização fundada pelo departamento de energia americano com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos aerogeradores, certificando-os e garantindo suas

especificações de fábrica. Visando facilitar o acesso de quaisquer cidadãos a um pequeno e médio aerogerador a SWCC também cria e oferece tabelas com as mais diversas informações como ruído, durabilidade, energia de saída, entre outros; de maneira a possibilitar a um leigo uma fácil comparação item a item entre diversos modelos.

Existem ainda outros pontos a serem desenvolvidos como a maior segurança na construção de torres para turbinas de pequeno porte, aumento nas parcerias e na participação do departamento de energia eólica americano na concepção das políticas para o setor.

Como principais desafios para o setor podem ser considerados: a dificuldade de zoneamento de áreas para a instalação; falta de padronização das exigências locais referentes a instalação como altura máxima, ruídos e impactos ambientais, a alta dependência de incentivos federais e governamentais e a crescente competição com a fotovoltaica que apresentam financiamentos mais modernos e cada vez menores custos de instalação, o que deverá pressionar os preços de sistemas eólicos pra baixo, principalmente no mercado interno americano.

5.7.2 Mercado Chinês

A indústria de pequena turbinas eólicas vêm se desenvolvendo desde dos anos 70. No começo pequenas turbinas eólicas eram utilizadas em programas de eletrificação rural visando aliviar as condições de pobreza e desigualdade. Contudo a maior utilização, expandiu os horizontes das turbinas de pequeno porte para novas aplicações, e assim, passaram a ser implantadas pelo norte da China em propriedades rurais próximas a centros urbanos e ilhas. Com a implementação de programas nacionais de eletrificação cerca de 1,5 milhões de fazendeiros e pescadores de áreas isoladas foram beneficiados pela energia dos ventos, não obstante a indústria chinesa se desenvolveu rapidamente durante esse período[14].

A indústria de sistemas eólicos teve um papel importante na redução das desigualdades na China pela sua participação ativa no processo de eletrificação rural. Entretanto, atualmente as turbinas de pequeno porte chinesas vêm migrando para usos urbanos diante de novas possibilidades interessantes como iluminação de ruas e postos de telecomunicações isolados.

Em dados de 2011, o mercado chinês contava 34 fabricantes cadastrados no segmento de equipamentos eólicos, na China Agricultural Machinery Industry Association. Dados do mercado chinês mostram que em 2011, houve crescimento na produção, vendas e capacidade de geração. As exportações chinesas representaram cerca de 31% de todas as vendas durante 2011 e também tiveram aumento expressivo no número de unidade vendidas mas caíram em capacidade[11].

	Números absolutos	Taxa de Crescimento
Produção Bruta (unid.)	183.000	25.60%
Total de vendas	146.000	33.70%
Exportação (unid.)	51.500	23.80%
Exportação (MW)	61	-2.2%

Figura 33 – Tabela de indicadores de mercado na comparação entre 2011 e 2012 [11]

Em 2011, 15 modelos eram produzidos por 34 empresas, que adicionaram ao mercado três novos modelos de capacidade 10 W, 1,2 kW e 1,5kW. O modelo de 10W é principalmente destinada à exportação e tem seu uso voltado para iluminação de áreas externas, praças e jardins[11].

O REEEP, junto ao NEA, desenvolveram um estudo que levantou quais deveriam ser as diretrizes para o futuro do mercado chinês de pequenas turbinas. Com relação ao parque industrial foi recomendado que a mudança dos padrões de construção para se adequar a padrões internacionais, o oferecimento de dados junto a turbina decorrentes de testes de laboratório e on-site e a implementação de regras mais restritas para a entrada no mercado[14].

Outras políticas a serem adotadas pelo governo são incentivos destinados principalmente às turbinas para eletrificação rural, colocar as pequenas turbinas eólicas na lista de maquinário rural subsidiado, legalizar e viabilizar a inserção de

pequenas turbinas conectadas a rede para geração distribuída, começar planos pilotos de net-metering e geração eólica distribuída.

O futuro do mercado chinês ainda tem grande capacidade de crescimento explorando o potencial interno, para isso a China deve investir em arcabouço regulatório permitindo que pequenas turbinas eólicas sejam conectadas à rede, desenvolver certificações e normas técnicas restritivas para estimular o engajamento do setor industrial no aperfeiçoamento da construção e instalação de novas turbinas. Outro ponto a ser desenvolvido também é a ampliação e estruturação de planos para eletrificação porque na China ainda existem muitas áreas isoladas, sem acesso a eletricidade.

5.7.3 Mercado Inglês

O mercado inglês é um dos mercados mais antigos e importantes para turbinas eólicas de pequeno, médio e grande porte. Devido à crise mundial de 2009, o mercado inglês perdeu um pouco de seu ímpeto de crescimento mas a indústria tomou novo fôlego a partir de 2012 [15].

Desde de 2012 os governo inglês implementou uma nova revisão de tarifa, diminuindo o valor da tarifa feed – in, chegando a valer 20% a menos. Por conta dos novos valores de remuneração, 2014 será um ano de grandes expectativas quanto ao mercado, especialmente com relação as turbinas menores de 100kW que atualmente são as que mais crescem no setor eólico inglês.

A busca por energia renováveis e pela redução das emissões de carbono aliado a clareza e suporte na legislação devido as tarifas feed-in impulsionaram o setor eólico britânico, tanto para pequenas turbinas (0-100kW) como para médias turbinas (100-500kW).

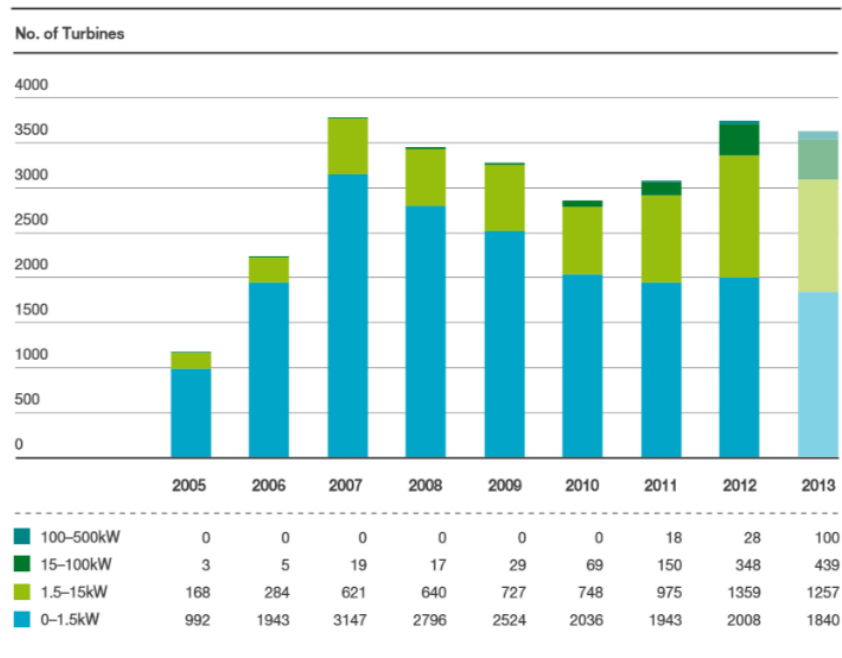


Figura 34 – Implantação anual de pequenas e médias turbinas conforme sua capacidade de geração [15].

Apesar do crescimento constante do mercado, os fabricantes de turbinas menores que 15kW acreditam que nos próximos anos seu mercado deve desacelerar algo em torno de 8%. Enquanto isso, os fabricantes de médias turbinas, entre 100kW e 500kW, acreditam que o mercado para essa faixa de potência irá crescer cerca de 257%[15]

A principal explicação para isso são as mudanças feitas na tarifa feed-in em 2012, que cortou fortemente o suporte as turbinas menores de 15 kW e iniciou um período de redução de tarifas, atacando a confiança da indústria, dos consumidores e de investidores.

Pela primeira vez na história do Reino Unido o número de turbinas de pequeno e médio porte instaladas em sistemas isolados superou as instaladas em sistemas conectados à rede. A figura a seguir traz o total anual instalado em sistemas conectados e não conectado e ilustra as unidades acumuladas ao longo dos anos para os dois tipos de conexão.

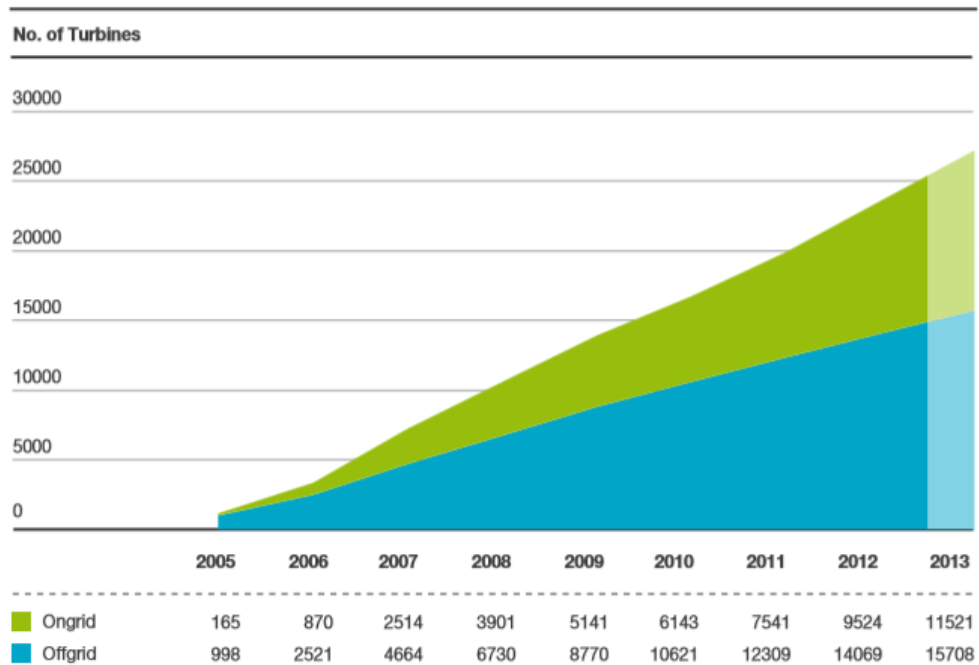


Figura 35 – Acumulado de turbinas instaladas conforme instalação conectada ou não à rede [15].

Atualmente no mercado britânico, as turbinas de pequeno e médio porte estão distribuídas conforme seu uso de acordo com o gráfico abaixo:

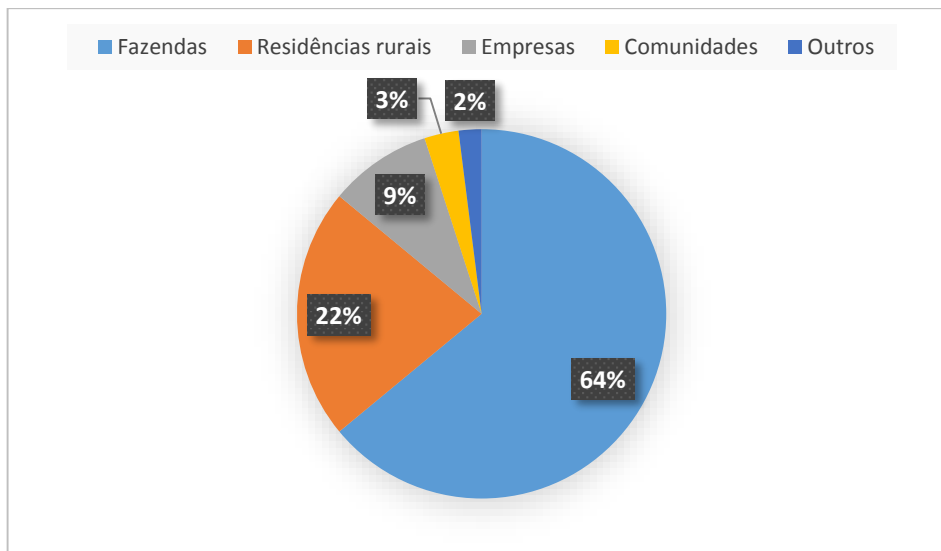


Figura 36 - Distribuição de uso de turbinas pequenas e médias conforme aplicação [15].

Atualmente os ingleses estão na liderança do mercado eólico mundial de pequenas e médias turbinas porém as recentes mudanças de legislação afetaram principalmente as pequenas turbinas. O mercado turbinas de médio porte(100kw-500kW) é mais recente no reino unido com suas primeiras turbinas instaladas em 2011 e não foi tão impactado pelas mudanças de legislação quanto as pequenas turbinas mantendo o crescimento ao longo dos anos.

O mercado inglês ainda possui potencial interno para se desenvolver devido a uma parcela interessante fora do sistema interligado, visto que as mudanças de legislação dificultaram a conexão com a rede. A tendência é se voltar para a exportação onde, o Reino Unido, exerce liderança no mercado de pequenas turbinas e investir no mercado interno de médias turbinas em comunidades rurais fora do sistemas interligado.

6 Cenário Brasileiro

Após grandes avanços no período pós-apagão⁵, o sistema elétrico brasileiro passa por sua primeira crise e vem sofrendo para operar. Problemas de gestão e operação do sistema, aliados a um seca severa levaram o setor elétrico a se endividar.

A não realização do leilão de renovação de contratos de energia que se encerrariam em 2012, levou as distribuidoras precisaram contratar energia no mercado de curto prazo devido principalmente a diferenças entre o volume ofertado e o volume contratado pela mesma. A época o mercado de curto prazo apresentava preços recordes em decorrência de problemas de operação que resultaram em esvaziamento dos reservatórios e consequente acionamento de todas as usinas térmicas brasileiras. Por fim o governo federal interviu no setor gerando instabilidade e insegurança. Em 2012, entrou em vigor a MP nº 576 que tinha por base um conjunto de ações que visam reduzir o custo da energia elétrica em 20%.

Em suma a combinação de problemas de gestão e planejamento aliados a mudanças profundas nas regras do setor, levaram o sistema elétrico brasileiro a uma situação de incerteza e desconfiança.

Em meio a esse ambiente turbulento, de acordo com dados do BIG da ANEEL[16], o Brasil conta com 193 empreendimentos de geração eólica, espalhados

entre as regiões Sul, Sudeste e Nordeste gerando aproximadamente 4,9 MW. Os empreendimentos estão classificados conforme o destino da energia gerada e se distribuem de acordo com as tabelas a baixo.

Destino da Energia	Número de Centrais	Soma de Potência Outorgada (kW)
PIE	169	4212.61
REG	9	797.74
REG-RN482	15	37.1
Total Geral	193	5047.45

Figura 37 - Tabela de geradores eólicos por destino de energia [16].

As centrais são classificadas de acordo com seus destinos de energia e esses são definidos assim(ANEEL):

I – Registro (REG): São pessoas jurídicas ou empresas interessados em produzir energia elétrica destinada à comercialização sob forma de produção independente ou ao atendimento ao serviço público;

II – Produtor Independente de Energia: Agente que recebe a concessão ou autorização de produzir energia elétrica destinada a comercialização por conta e risco do próprio agente;

III – Registro de mini e micro geração RN482/2012: São pessoas físicas ou jurídicas que se enquadrem no registro de micro e mini gerador.

Atualmente o Brasil possui 15 empreendimentos de mini e micro geração eólica gerando cerca de 37 kW. Os empreendimentos e suas potências são apresentados na tabela a seguir.

Central Geradora	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)
Total Geral	37.1	37.1
Antônio Augusto Pimentel de Sousa	1.7	1.7
Confiança Mudanças e Transportes	3.3	3.3
Construtora Nogueira de Morais	1.1	1.1
Dulio César Bianchi	3.5	3.5
Geraldo Júnior Cavalcante Lopes	1.7	1.7
Jacob Benvindo	3.5	3.5
Nogueira de Morais	1.1	1.1
Pedro Pedron	1.7	1.7
PGM	2.6	2.6
Satrix	5	5
SD Comércio Alimentação e Serviços	3.3	3.3
Stela Maris Zambelli	1.7	1.7
Tarlene Guedes Bessa	1.7	1.7
Valberto Barbosa Porto Filho	3.5	3.5
Vanda Lúcia Tomaz Lima	1.7	1.7

Figura 38 – Tabela de geradores inseridos no sistema de compensação de energia e suas respectivas capacidades de geração [16].

No Brasil, os modelos de turbinas para mini geração e micro geração são em sua grande maioria importados, comercializados por representantes de empresas estrangeiras. Fabricantes nacionais, existem poucos, como a Eletrovento e Enersud que trabalham com produtos 100% nacionais.

A Eletrovento deixou de fabricar e atualmente trabalha com turbinas importadas. Já a Enersud, possui 4 modelos em comercialização, 3 de eixo horizontal e 1 de eixo vertical para mini e micro geração. O modelo Notus 118/112 têm potências de 250W e 350W e são destinados principalmente para o atendimento de pequenas cargas com em veleiros, iluminação e telecomunicações. Com capacidades maiores a Enersud possui os modelos Gerar 246 e Verne 555, de potências 1kW e 6 kW. O primeiro é geralmente aplicado para suprir as cargas básicas elétricas de uma residência e o segundo para suprir necessidades coletivas como em comunidades rurais, conjuntos residenciais, para sistemas conectados ou não a rede[18].



Figura 393 – Turbinas Notus, Gerar e Verne, respectivamente. Enersud [18].

O modelo RAZEC 266, tem eixo vertical e potência de 1.5kW, também possui 3 pás e é destinado principalmente para atendimento das demandas de uma residência urbana, por apresentar em baixas velocidades e ventos turbulentos, além de possuir baixos ruídos[18].



Figura 44 – Modelo Razec 266, Enersud [18].

7 Análise

As fontes renováveis de energia vêm ganhando cada vez mais participação em todos os países do globo, seja por aspectos ambientais ou pela maior independência dos combustíveis fósseis. A demanda crescente por energia exige novos projetos de geração constantemente, além é claro, das linhas de transmissão até a carga.

Diante desse cenário a geração distribuída vêm ganhando força. A aproximação entre a geração e a carga possibilita a maior segurança e eficiência no fornecimento de energia, além de ser uma alternativa a expansão da geração mais rápida que as grandes centrais geradoras.

As pequenas turbinas eólicas são uma entre outras fontes alternativas de pequeno porte, e como as outras, têm seu funcionamento diretamente vinculado um recurso natural. Atualmente o mercado para as pequenas turbinas está principalmente localizado no hemisfério Norte, aliás onde se concentram a maioria dos fabricantes.

Três mercados concentram sozinhos cerca de 92% de todas as pequenas turbinas eólicas instaladas no mundo e a análise de suas evoluções convergiram para alguns temas comuns. Para o manter o a desenvolvimento e maior participação das pequenas turbinas eólicas na matriz energética três pontos podem ser ressaltados: tecnologia, certificação e políticas públicas.

Tecnologia, pois o custo ainda se mantém como uma barreira a inserção das pequenas turbinas. O desenvolvimento da tecnologia pode possibilitar a redução do preço final das turbinas e assim torna-las mais atrativas.

A certificação é uma exigência do mercado atual, que nos últimos anos viu crescer o número de fabricantes e modelos. Para facilitar o acesso da população em geral as pequenas turbinas eólicas, a certificação possui um importante papel na classificação e operação das turbinas. A certificação permite que consumidores sejam capazes de avaliar facilmente condições de segurança e performance, além de contribuir na confiabilidade de projetos. Vale ressaltar os programas de certificação americano (SWCC) e inglês (MCS), os primeiros do setor.

Em todo o mundo, as políticas públicas tiveram e ainda têm um grande papel no mercado de pequenas turbinas eólicas. As principais políticas relacionadas ao setor são as tarifas “feed – in”, sistemas de “net-metering” e os incentivos fiscais e financeiros, como subsídios e taxas diferenciadas de empréstimo.

No Brasil, a norma nº 482/2012, criou a mini geração, micro geração e o sistemas de compensação de energia elétrica que funciona como um net-metering, onde se é feito um balanço entre os valores medidos de energia consumida e energia gerada, sem diferenças tarifárias. No entanto, as tarifas feed-in e incentivos fiscais e financeiros foram os principais impulsionadores do setor.

Contudo, tanto as políticas de incentivos e a de tarifas estão sendo mundialmente revistas. As tarifas feed – in por apresentarem valores superiores aos da tarifa convencional da rede de distribuição pode vir a criar um desbalanceamento nas contas do setor, como no caso do Reino Unido. Já as políticas de incentivo fiscais e financeiros, por si só, não garantem um desenvolvimento sólido e confiável para o setor, por promoverem diretamente a compra e venda de equipamentos e não a energia em si e portanto devem ser aplicadas em conjunto a outras medidas.

O Brasil parece adotar o caminho mais seguro, iniciando-se no mercado lentamente enquanto procura melhor entender essa nova conjuntura. No momento o Brasil, possui apenas dois fabricantes de pequenas turbinas eólicas em meio a uma série de representantes de fabricantes internacionais. As turbinas e os custos de instalação são elevados e não existem quaisquer tipos de incentivos fiscais ou financeiros, além da pouca experiência dos fabricantes nacionais.

Entre as medidas que podem ser sugeridas para o desenvolvimento do mercado nacional seriam: (i) o aumento de subsídios as turbinas conforme seu nível de tecnologia nacional; (ii) ampliar os estudos sobre potencial de ventos em todo o Brasil, sobretudo em regiões urbanas e de comunidades isoladas; (iii) instaurar tarifas feed – in; (iv) conceder subsídios fiscais como desoneração da cadeia produtiva; (v) investir em laboratórios para ensaio de máquinas, dando suporte a indústria e aos consumidores; (vi) desenvolver programas de eletrificação rural ou de comunidades isoladas que favoreçam a utilização de fontes renováveis.

8 Conclusão

Em função da análise efetuada anteriormente, conclui-se que o Brasil ainda tem um longo caminho a trilhar até que a geração distribuída a partir da eólica seja competitiva. A pouca intervenção governamental aparece como uma das principais causas para o baixo desenvolvimento do setor. A observação dos casos internacionais denotam as políticas públicas de massificação da eletricidade como uma grande oportunidade que ainda não foi explorada, que aliado ao grande potencial brasileiro tende a atrair fabricantes internacionais.

O alto custo dos projetos é um grande problema a ser superado. A título de exemplo, os preços praticados no Brasil para um aerogerador de potência de 10 kW é cerca de 400 mil reais[21], enquanto que um aerogerador na faixa de 10 kW sai na média por 40 mil dólares[22],[23],[24] com incentivos. Novamente, faltam ações governamentais para a melhora desse quadro, ainda se compararmos aos EUA, o Brasil não tem nenhum tipo de política de facilidade de financiamento, subsídio ou dedução fiscal voltada ao setor, enquanto os americanos possuem uma linha de crédito destinada a 30% do valor do projeto financiado(ITC), além de outras políticas federais e estaduais subsídios para maquinário, por exemplo.

A eletrificação de áreas isoladas não só na China, como no mundo, se mostrou um caminho natural dos mercados. A demanda dessas regiões em conjunto a incentivos como taxas menores de financiamento; programas específicos de financiamento para equipamentos nacionais e o uso de tarifas diferenciadas conforme a fonte de geração (tarifas feed – in), possibilitaram no mundo e, podem possibilitar no Brasil, desenvolvimento sustentável para o setor eólico de pequeno porte.

Contudo vale se ressaltar que apesar do grande potencial de atuação das pequenas turbinas em áreas isoladas esses projetos também encontraram barreiras. Para os próprios habitantes investirem nesses projetos – como ocorre em comunidades americanas e inglesas – fica inviável diante dos altos preços praticados. Entre os pontos que podemos ressaltar como as principais barreiras aos projetos destinados à sistemas isolados, temos: manutenção, devido as distancias e a dificuldade de acesso a essas regiões; problemas culturais e sociais, a chegada da energia elétrica nessas regiões é cerca de expectativas e mitos de histórias ouvidos de pessoas de outras regiões, como televisão, micro-ondas, geladeira, computador e etc. Esse tipo de sentimento gera uma certa frustração e descrédito dos sistemas que inicialmente são dimensionados para as necessidades básicas de energia e que portanto não possuem capacidade para o atendimento de vários equipamentos elétricos.

Áreas urbanas também apresentam potencial de exploração, no entanto, devido a turbulência ocorrida nesses locais e a pouca experiência nesse tipo de operação aumentam os riscos desses projetos, que frente aos altos preços dos equipamentos, diminuem a realização dos projetos.

Os altos preços, a relativa escassez de dados de medição, a inexistência de financiamentos e políticas públicas são atualmente as principais barreiras ao mercado de pequeno porte. O cenário ainda pode piorar devido à concorrência com outras tecnologias, como os sistemas fotovoltaicos.

9 Bibliografia

1. MANWELL, J; MCGOWAN, J; ROGERS, A. Wind energy explained: theory, design, and application – 2nd ed. p. cm.
2. HAU, E. Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics. Berlin: Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
3. ATLAS do Potencial Eólico Brasileiro. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2001.
4. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Micro e mini geração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica. Brasília: ANEEL, 2014.
5. ANEEL(2012b). Módulo 3 do PRODIST. Disponível em:
<http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1867> Acesso em 07/11/14
6. CRESESB. <http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=201> (acessado em 07/11/14)
7. WIND ENERGY BASICS: A Guide to Home – Community – Scale Wind Energy Systems. GIPRE, P. Vermont, USA: Chelsea Green Publishing Company, 2009.
8. MARQUES, J. Turbinas Eólicas: Modelo, Análise e Controle do Gerador de Indução com Dupla Alimentação. 2004. 132 p. Tese – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 21/12/2004.
9. PINHO, T, J; [et. al]. Sistemas Híbridos: Soluções Energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas de Energia, 2008
10. MOREIRA, P, I, R. Avaliação do Potencial Eólico em Regime de Micro geração. 2010. 109 p. Dissertação – Universidade do Porto, Porto, Portugal.
11. SMALL WIND WORLD REPORT SUMMARY UPDATED. Bonn, Alemanha: World Wind Energy Association, março de 2014.

12. SMALL WIND TURBINE MARKET REPORT SURVEY. Washington, EUA: American Wind Energy Associaton, dezembro de 2011.
13. MARKET REPORT ON WIND TECHNOLOGIES IN DISTRIBUTED APPLICATIONS. Virgínia, EUA: U.S. Department of Energy, agosto de 2013.
14. SMALL WIND TURBINE MARKET REPORT SURVEY. Washington, EUA: American Wind Energy Associaton, dezembro de 2011.
15. SMALL AND MEDIUM WIND UK MARKET REPORT. London, Reino Unido: RenewableUK, outubro de 2013.
16. CHINESE ACADEMY OF SCIENCES. National Policy, Strategy and Roadmap Study for China Small Wind Power Industry Development, 2009. Disponível em: < www.reeep.org > acessado em: 07/11/14.
17. ANEEL. Dados do Banco de Informações de Geração da ANEEL, disponível em: <www.aneel.gov.br> acessado em 07/11/14.
18. ELETROVENTO. Disponível em: < www.eletrovento.com.br > acessado em: 07/11/14.
19. ENERSUD. Disponível em: < www.enersud.com.br > acessado em: 07/11/14.
20. AWEA. Disponível em: < <http://www.awea.org/Issues/Content.aspx?ItemNumber=4638&navItemNumber=727> > acessado em 07/11/14.
21. ENERGIA PURA. Disponível em: < <https://www.energiapura.com/categoria/1> > acessado em 07/11/14.
22. BERGEY WIND SCHOOL. Disponível em: < <http://bergey.com/wind-school/residential-wind-energy-systems> > acessado em 07/11/14.

23. POPLAR NETWORK. Disponível em < <http://www.poplarnetwork.com/news/small-wind-turbine-what-payback-period> > acessado em 07/11/14.
24. MONTANA GREEN POWER. Disponível em < <http://www.montanagreenpower.org/faq/wind.php#Q1> > acessado em 07/11/14.