

THALYTA MAYARA BASSO

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO
EÓLICA PARA UMA UNIDADE ARMAZENADORA E SECADORA DE
GRÃOS**

**CASCVEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2017**

THALYTA MAYARA BASSO

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO
EÓLICA PARA UMA UNIDADE ARMAZENADORA E SECADORA DE
GRÃOS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Lessa Azevedo

Coorientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

**CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2017**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

B323a

Basso, Thalyta Mayara

Análise técnico-econômica de um sistema de geração eólica para uma unidade armazenadora e secadora de grãos./Thalyta Mayara Basso. Cascavel, 2017.

81 f.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Lessa Azevedo

Coorientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2017

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura

1. Micro geração. 2. Turbina eólica. 3. Análise técnico-econômica. I. Azevedo, Ricardo Lessa. II. Siqueira, Jair Antonio Cruz. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

CDD 21.ed. 621.3

631

CIP-NBR 12899

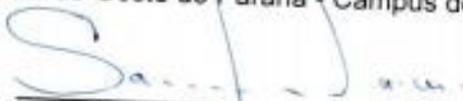
THALYTA MAYARA BASSO

Análise Técnico- Econômica de um sistema de geração eólica para uma unidade armazenadora e secadora de grãos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia Na Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:


Orientador(a) - Ricardo Lessá Azevedo

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Samuel Nelson Melegari de Souza

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


José Airton Azevedo dos Santos

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - MEDIANEIRA (UTFPR)

Cascavel, 17 de fevereiro de 2017

*À Deus, aos meus amados pais, à minha
querida irmã e ao meu namorado.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me guiado durante toda esta caminhada, me dando força, perseverança e humildade para enfrentar todas as dificuldades e atingir meus objetivos. Agradeço a Ele também pelas lutas, conquistas, perdas e aprendizados, pelas oportunidades, por tantas portas que se abriram e por todas as pessoas que colocou em meu caminho, e que de certa forma contribuíram para que mais esse objetivo de vida fosse alcançado.

Aos meus pais, Maria Inês e Joacir, por todo apoio nos momentos difíceis, me motivando a fazer sempre o melhor que posso e me incentivando a nunca desistir perante às dificuldades.

À minha irmã Larissa pela convivência, amparo do dia a dia e palavras de otimismo.

Ao meu namorado Ricardo, por toda paciência, carinho e calma passados a mim nos momentos difíceis.

Aos meus padrinhos, Maria Clara e João Carlos, pelo incentivo e auxílio que me prestaram todas as vezes que necessitei.

Aos meus avós Anor e Oralina pelos conselhos experientes e orações.

Agradeço à minha prima Miriam, melhor amiga e irmã de coração, que mesmo distante, sempre me enviou mensagens de apoio, força e carinho pelas redes sociais.

Ao meu orientador Dr. Ricardo, aos meus coorientadores Dr. Jair e ao professor Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira, por todo tempo dispendido, dedicação, paciência, atenção e incentivo para a realização deste trabalho e também pela credibilidade na minha capacidade.

À instituição, direção e administração por toda estrutura e serviços prestados.

Aos meus colegas de sala, companheiros de trabalhos e estudos.

A todos aqueles que, de alguma forma, durante esse período, contribuíram para a realização desse trabalho, meus eternos agradecimentos!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Participação das fontes na expansão da capacidade instalada.....	4
Figura 2 – Oferta interna de energia elétrica por fonte	6
Figura 3 – Funcionamento do aerogerador	10
Figura 4 – Tipos de turbinas em relação ao eixo de rotação	10
Figura 5 – Modelos de turbinas com eixo de rotação vertical (a) Darrieus, (b) Savonius, (c) Solarwind, (d) Helicoidal, (e) Nohuchi, (f) Maglev e (g) Cochrane	11
Figura 6 – Tipos de turbina em relação à incidência do vento.....	12
Figura 7 – Principais componentes de um aerogerador	13
Figura 8 – Modelos de torres (a) treliçada e (b) cônica de concreto	14
Figura 9 – Nacele.....	15
Figura 10 – Desenho esquemático do aerogerador	16
Figura 11 – Gerador síncrono conectado à rede via conversor	17
Figura 12 – Gerador assíncrono duplamente alimentado.....	18
Figura 13 – Gerador assíncrono conectado à rede via conversor	19
Figura 14 – Gerador de indução conectado diretamente à rede.....	19
Figura 15 – Bloco de fundação para aerogerador	20
Figura 16 – Potencial eólico brasileiro.....	21
Figura 17 – Geração total de eletricidade - cenário revolução energética 2050	24
Figura 18 – Configuração de um sistema eólico isolado	27
Figura 19 – Configuração de um sistema eólico conectado à rede	28
Figura 20 – Configuração de um sistema híbrido solar-eólico-diesel.....	29
Figura 21 – Localização da cidade de Cascavel no estado do Paraná.....	35
Figura 22 – Localização da unidade armazenadora e beneficiadora de grãos do estudo	36
Figura 23 – Unidade armazenadora e beneficiadora de grãos.	36
Figura 24 – Estação meteorológica de Cascavel-PR	38
Figura 25 – Exemplo de distribuição de Weibull.....	43
Figura 26 – Histograma Frequência de velocidades do vento em Cascavel-PR a 10 metros de altura.	50
Figura 27 – Histograma Frequência de velocidades do vento em Cascavel-PR a 30 metros de altura.	50
Figura 28 – Curva de produção energética da turbina WES 80.....	51
Figura 29 – Curva de potência do gerador eólico.....	53
Figura 30 – Função densidade de probabilidade de Weibull para Cascavel-PR.	54
Figura 31 – Fluxo de caixa do investimento.	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Especificações técnicas dos aparelhos de medição	38
Quadro 2 – Valores de expoente de rugosidade	40
Quadro 3 – Custo de capital para sistemas de energia eólica <i>onshore</i>	47
Quadro 4 – Estatística descritiva da velocidade do vento em Cascavel-PR	49
Quadro 5 – Parâmetros de k e C para Cascavel em diferentes alturas	52
Quadro 6 – Resumo VPL e TIR (Taxa de desconto 10% a.a.)	57
Quadro 7 – Fluxo de caixa acumulado (<i>Pay-Back</i> Descontado).....	58
Quadro 8 – Custos convertidos e corrigidos de acordo com o IPCA-IBGE.....	59
Quadro 9 – Custo de capital para o sistema de energia eólica adotado para a unidade do estudo, com base na pesquisa da IRENA.....	59
Quadro 10 – Custo por turbina com base na taxa de juros	60

BASSO, Thalyta Mayara. Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, faveiro de 2017. **Análise técnico-econômica de um sistema de geração eólica para uma unidade armazenadora e secadora de grãos**. Orientador: Prof. Dr. Ricardo Lessa Azevedo. Coorientador: Prof. Dr. Jair Antonio da Cruz Siqueira.

RESUMO

Uma das questões mais preocupantes no mundo contemporâneo é o uso demasiado de energia elétrica. Aliado a isso, nos últimos anos, tem se destacado o crescimento de investimentos nos setores de geração solar e eólica, que tem contribuído para suprir as dificuldades enfrentadas pelo Brasil com as condições hidrológicas desfavoráveis, que prejudicam a produção pelas hidrelétricas. Assim, realizou-se um estudo de viabilidade técnica e econômica da implantação de uma pequena central geradora eólica em uma unidade armazenadora e beneficiadora de grãos, situada em São João do Oeste, distrito de Cascavel-PR, para suprir as necessidades energéticas dessa edificação. Com base nos dados obtidos com o SIMEPAR, para 10 metros de altura, a média anual diária da velocidade do vento no local foi de 4,12 m/s, a temperatura média de 20,4 °C e a pressão atmosférica média de 937,81 hPa, considerando-se os últimos 5 anos de medições. Por meio de análise técnica e do levantamento de custos, optou-se por utilizar 3 turbinas de 80 kW de potência, a 30 metros de altura, que supririam cerca de 80% das necessidades energéticas da unidade, gerando créditos nos meses de baixo consumo para serem compensados nos meses de maior utilização energética. Porém, o orçamento mostrou-se inviável pelo Método do Valor Presente Líquido, da Taxa Interna de Retorno e também do *Pay-Back* Descontado, determinando que ao final da vida útil das turbinas, o investimento ainda não teria sido pago e haveria necessidade de troca dos equipamentos, gerando dívida sobre dívida para o investidor. Comparando-se o custo do referido investimento no Brasil com valores de outros países, observou-se uma variação de 529%, sendo que o custo brasileiro para o sistema adotado resulta em R\$25.625,00/kW, enquanto a média estrangeira é de R\$4.843,34/kW, podendo essa diferença ter relação com a taxa de importação, impostos e reduzida popularização e concorrência entre empresas fornecedoras no Brasil.

Palavras-chave: Micro geração. Turbina eólica. Análise técnico-econômica.

BASSO, Thalyta Mayara. Western Paraná State University, February 2017. **Technical-economic analysis of a wind power generation system for a grain warehouse and dryer facility.** Adviser: Dr. Ricardo Lessa Azevedo. Co-adviser: Dr. Jair Antonio da Cruz Siqueira.

ABSTRACT

One of the biggest concerns in the contemporary world is the overuse of electricity. Along with that, in the last few years, the growth of investment in the sector of wind and solar power generation has stood out, which has contributed to supply for the needs faced by Brazil due to unfavorable hydrological conditions, which impair the production in the water power plants. Thus, a study was done on the technical and economic feasibility of the implantation of a small wind powerhouse in a grain warehouse, located in São João do Oeste, district of Cascavel-PR, to supply the power needs of such a building. Based on data provided by SIMEPAR, for every 10 meters of height, the annual/daily average of wind speed in the area was 4,12 m/s, the average temperature was 20,4 °C and the average air pressure was 937,81 hPa, considering the last 5 years of measuring. Through the technical analysis and the cost survey, the decision was taken to use 3 turbines of 80 kW of power, at 30 meters of height, which would supply about 80% of the power needs in the place, generating credit in the months of low consume to be used in the months of higher use. However, the budget also proved to be unfeasible by the Net Present Value Method, the Internal Rate of Return and the Deducted *Pay-Back* as well, determining that at the end of the useful life of the turbines, the investment wouldn't have been paid and it would be necessary to change the equipment, creating a debt over debt for the investor. Comparing the cost of such an investment in Brazil to other countries, a variation of 529% was observed, and the Brazilian cost for the system adopted is R\$25.625,00/kW, while the foreign average is R\$4.843,34/kW; Such a difference could be related to importation rate, taxes, reduced popularization and the competition between suppliers in Brazil.

Key-words: Micro production. Wind Power Turbine. Technical/Economic Analysis.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	FONTES DE ENERGIA UTILIZADAS NO BRASIL	4
2.2	FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA NO BRASIL	5
2.3	ENERGIA EÓLICA	7
2.3.1	Fatores que influenciam o regime dos ventos	8
2.4	GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA FONTE EÓLICA	8
2.4.1	Tipos de turbinas	9
2.4.2	Principais componentes de aerogeradores	13
2.4.2.1	Torre	14
2.4.2.2	Nacele	14
2.4.2.3	Caixa de engrenagens	15
2.4.2.4	Cubo	16
2.4.2.5	Pás	16
2.4.2.6	Gerador	17
2.4.2.6.1	Aerogerador com velocidade variável e gerador síncrono	17
2.4.2.6.2	Aerogerador com velocidade variável e gerador assíncrono duplamente alimentado	18
2.4.2.6.3	Aerogerador com velocidade variável e gerador assíncrono conectado à rede via conversor	18
2.4.2.6.4	Aerogerador de velocidade constante	19
2.4.2.7	Fundação	20
2.4.2.8	Anemômetro e anemoscópio	20
2.5	POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO	20
2.5.1	Potencial eólico do Paraná	22
2.6	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA COM SISTEMAS EÓLICOS	23
2.6.1	Micro e minigeração elétrica no Brasil	25
2.6.2	Aplicações dos sistemas de geração eólica	26
2.6.2.1	Isolados, Autônomos ou <i>Off grid</i>	27
2.6.2.2	Conectados à rede elétrica ou <i>Grid tie</i>	28
2.6.2.3	Híbridos	29
2.7	USO DA ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS AGROINDUSTRIAIS	30

2.7.1	Uso da energia elétrica na secagem de grãos	31
2.7.1.1	Uso da energia elétrica na aeração	31
2.8	VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA.....	32
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1	MATERIAL.....	35
3.1.1	Caracterização da unidade beneficiadora de grãos	35
3.1.2	Coleta de dados	37
3.1.3	Características Técnicas da Estação Meteorológica.....	38
3.2	MÉTODO	39
3.2.1	Método estatístico de tratamento da velocidade do vento	39
3.2.1.1	Extrapolção da velocidade do vento para diferentes alturas	40
3.2.1.2	Histograma de frequência e Distribuição de Weibull	40
3.2.2	Análise de viabilidade técnica.....	43
3.2.3	Estimativa de Custos	44
3.2.4	Análise de viabilidade econômica	44
3.2.4.1	Método do Valor Presente Líquido.....	45
3.2.4.2	Método da Taxa Interna de Retorno	45
3.2.4.3	Método do Prazo de Retorno Descontado	46
3.3	COMPARATIVO ECONÔMICO DE CUSTOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS PARA A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO EÓLICA	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1	DADOS METEOROLÓGICOS.....	48
4.2	TRATAMENTO DA VELOCIDADE DO VENTO	48
4.3	CORREÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO PARA A ALTURA DE INSTALAÇÃO DA TURBINA EÓLICA.....	48
4.4	DEFINIÇÃO DA TURBINA EÓLICA.....	51
4.5	CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL.....	52
4.5.1	Parâmetros de Forma e Escala	52
4.5.2	Curva de Distribuição de Weibull para velocidade do vento a 30 metros de altura	52
4.6	ANÁLISE GERAL DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE GERAÇÃO EÓLICA PARA A UNIDADE ARMAZENADORA DE GRÃOS	55
4.7	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA DE GERAÇÃO EÓLICA PARA A UNIDADE ARMAZENADORA DE GRÃOS	55

4.7.1	Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno para a instalação das três turbinas eólicas.....	56
4.7.2	Análise do investimento pelo <i>Pay-back</i> Descontado.....	57
4.8	COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DE CAPITAL DO SISTEMA DE GERAÇÃO EÓLICA COM SISTEMAS INTERNACIONAIS	59
4.9	CENÁRIO IDEAL DE INVESTIMENTO.....	60
5	CONCLUSÕES	61
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
	ANEXO A	70
	ANEXO B	73
	APÊNDICE A.....	75
	APÊNDICE B.....	78
	APÊNDICE C.....	80
	APÊNDICE D.....	81

1 INTRODUÇÃO

Uma das questões preocupantes no mundo contemporâneo é o uso demasiado de energia elétrica. É evidente a necessidade de se utilizar fontes alternativas de energia, principalmente, as renováveis e menos poluentes, pois, ao se falar de energia, fala-se de desenvolvimento, do futuro que todos desejam construir para o país e para as gerações futuras. Tudo isso proporciona o desenvolvimento revolucionando o modo de produção, com a incorporação de novas tecnologias (GREENPEACE INTERNACIONAL E CONSELHO EUROPEU DE ENERGIA RENOVÁVEL – EREC, 2010).

Vive-se uma época de limitações na exploração da energia hidrelétrica, em função das questões hidrológicas desfavoráveis enfrentadas no Brasil nos últimos anos. Além disso, houve um aumento nas barreiras ambientais para aprovação de novos projetos, exigindo cada vez mais compensações. Grandes gastos e dificuldades na transmissão da energia a toda população também se somam a esses problemas. Além disso, o desenvolvimento do país demanda cada vez mais energia (PÁTRIA, 2012).

Se por um lado é necessária maior eficiência energética para prover o crescimento econômico, por outro, esse desenvolvimento possibilita a melhoria na distribuição da renda, favorecendo, como no caso do consumo residencial, a expansão da posse de equipamentos. Isso significa que, embora mais eficientes, a quantidade de equipamentos em uso tende a ser maior, exercendo pressão para aumento da demanda (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2007).

O aumento da população e da renda também favorece a expansão dos segmentos industriais e de serviços voltados para o mercado interno. É o caso dos setores de alimentos e bebidas, cerâmica, cimento, papel e celulose, petroquímico, entre outros, demandando assim maior quantidade de energia (EPE, 2007).

Para tanto é preciso informar a sociedade do custo ambiental e econômico de cada opção, e as implicações geopolíticas de cada decisão tomada ao se privilegiar o uso de uma determinada fonte de energia, em detrimento das renováveis (GREENPEACE INTERNACIONAL E EREC, 2010).

Para tentar mudar esse cenário no país, foi aprovada em 17 de abril de 2012, pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Resolução Normativa nº 482,

estabelecendo um conjunto de regras que viabilizam sistemas de geração de pequeno porte. Assim, os consumidores podem ter em sua residência ou no campo, pequenos geradores eólicos, fotovoltaicos ou a biocombustíveis para produzir energia elétrica, consumir o que for necessário e se houver sobra, injetar na rede. Nesse tipo de sistema não há necessidade de baterias para armazenamento, pois a rede funciona como armazenador de eletricidade (PÁTRIA, 2012).

As vantagens desse tipo de sistema são a economia na conta junto à concessionária e a redução em custos com redes de transmissão. Além disso, os programas governamentais de financiamentos e descontos têm aumentado o interesse por esse tipo de geração popular (PÁTRIA, 2012).

Assim, analisando-se uma agroindústria, é necessária muita energia para manter toda a cadeia produtiva em um processo ininterrupto, desde a obtenção da matéria prima, o manuseio, o armazenamento, o processamento, a embalagem, a comercialização e a distribuição, além da energia para se manter as instalações que participam indiretamente desses processos, como o sistema de iluminação, telefones, ar condicionado, entre outros (OETTERER, 2003).

Nesse contexto, e com base no fato das indústrias consumirem a maior parte da energia produzida no país, desta, a maior parte oriunda de centrais de serviço público, aliando-se ao fato dos autores Kim, Grodzki e Vissoto (2012) e Sato (2015) terem verificado que Cascavel-PR possui um potencial energético favorável à exploração de recurso eólico, o objetivo do trabalho é analisar a viabilidade técnico-econômica da implantação de um sistema de obtenção de energia alternativo para uma unidade armazenadora e beneficiadora de grãos do município. Propõe-se a implantação de um sistema eólico para suprir as necessidades energéticas da edificação, de forma a reduzir a dependência da energia advinda da concessionária, verificando se haverá retorno significativo para a empresa, em função do investimento a ser aplicado e da economia prevista na conta de energia.

Para se atingir o objetivo geral foram delimitados os seguintes objetivos específicos:

- Verificar, por meio de medições e estudos já realizados, o potencial eólico regional para obtenção de dados para cálculo;
- Determinar, por métodos teóricos, o sistema técnico de energia alternativa para a edificação agroindustrial;

- Demonstrar por meio de análise dos investimentos se a alternativa é viável economicamente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FONTES DE ENERGIA UTILIZADAS NO BRASIL

O consumo total de eletricidade no Brasil em 2014 registrou um aumento de 2,9%, sendo que os setores que mais contribuíram para esse crescimento da demanda de eletricidade foram o residencial (+5,7%) e o comercial (+7,4%) (EPE, 2015b). Porém, em 2015 houve queda total de 1,8% no consumo de energia elétrica, sendo que o setor residencial contribuiu com -0,7% e o setor industrial com -5,0% em relação ao ano anterior. “Apenas os setores de papel e celulose, mineração e pelotização e química apresentaram uma variação positiva de 4,7%, 3,7% e 0,9% respectivamente”. No setor energético houve aumento de 2,4% (EPE, 2016).

Em 2015, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de serviço público e autoprodutoras) cresceu 6.945 MW, alcançando 140.858 MW. Com base na Figura 1, verifica-se que as centrais hidráulicas contribuíram com 35,4% para esse crescimento, enquanto as centrais térmicas responderam por 25,0% da capacidade adicionada. As usinas eólicas e solares responderam pelos 39,6% restantes no aumento da capacidade instalada nacional (EPE, 2016).

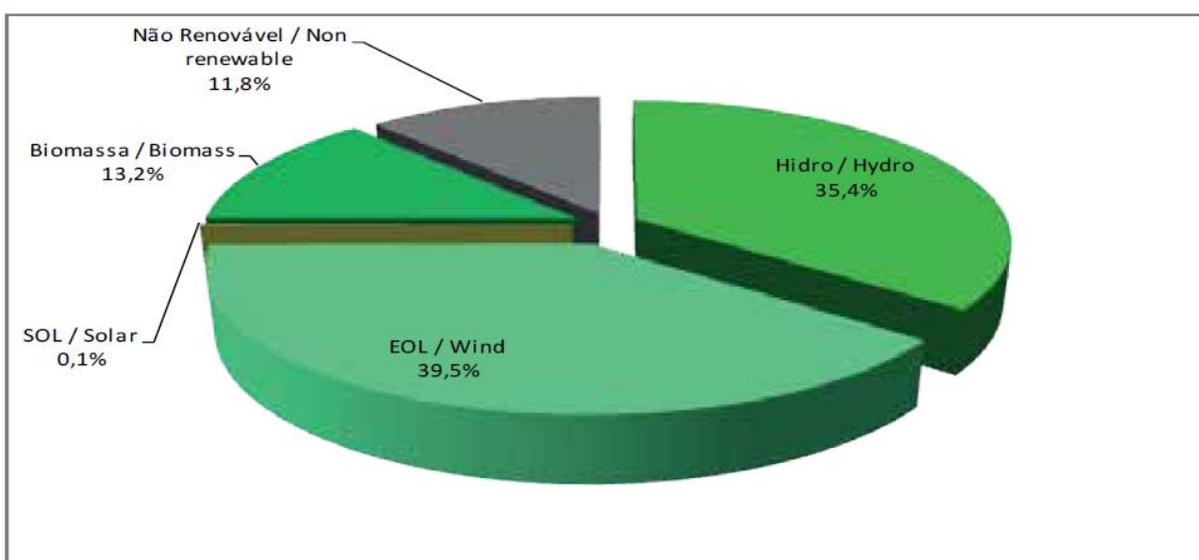


Figura 1 – Participação das fontes na expansão da capacidade instalada (Fonte: EPE, 2016).

Segundo o Relatório de Balanço Energético Nacional, ano base 2015, a produção de energia elétrica no Brasil ainda ocorre essencialmente nas centrais de serviço público (83,4%), das quais a geração hidráulica responde por 64,0% da oferta interna. Entretanto, essa fonte vem sofrendo redução, pelo quarto ano consecutivo, pois, a produção hidráulica era de 84,5% em 2012, caiu para 79,3% em 2013, sofreu uma queda de 4,5% em 2014 e mais uma queda de 3,7% em 2015, na comparação com o ano anterior. Tudo isso, em função do país ter enfrentado condições hidrológicas desfavoráveis ao longo desse período (EPE, 2016).

Por outro lado, destaca-se que houve um acréscimo de 85,6% na geração de eletricidade a partir da fonte eólica. Segundo o Banco de Informações da Geração (BIG), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o parque eólico nacional cresceu 2.745 MW, alcançando 7.633 MW ao final de 2015. A potência instalada de geração eólica expandiu 56% e a produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 21.626 GWh em 2015, equivalente a um aumento de 77,1% em relação ao ano de 2014, quando se atingiu 12.210 GWh, superando, assim, a geração nuclear (EPE, 2016).

Mesmo com a redução no consumo, as necessidades energéticas dos setores industrial e residencial representaram mais de 40% do consumo energético em 2015 (EPE, 2016). Consoante a isso, Moura e Motta (2013) evidenciam que o consumo elevado de energia, muitas vezes, está relacionado ao mau planejamento da edificação, tanto nas fases de concepção quanto de utilização. Soluções adotadas nas fases de projeto, construção, ocupação e operação de edificações, independentemente de sua finalidade, podem contribuir para racionalizar o consumo de energia, até mesmo em edifícios já existentes, que não foram concebidos sob princípios sustentáveis.

2.2 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA NO BRASIL

O Brasil, com sua vasta matriz energética, é considerado líder mundial na geração elétrica a partir de fontes renováveis (GUERRA et al., 2015). Constatou-se que em 2015 essas fontes representaram 75,5% da geração de eletricidade, sendo essa energia proveniente da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações (EPE, 2016).

Observa-se na Figura 2 que a matriz energética nacional se destaca pela produção de energia oriunda de usinas hidrelétricas (64,0%) (EPE, 2016). Porém, há grande potencial para exploração de outras fontes renováveis, como as energias provenientes da fonte eólica, solar e biomassa (GUERRA, et al., 2015).

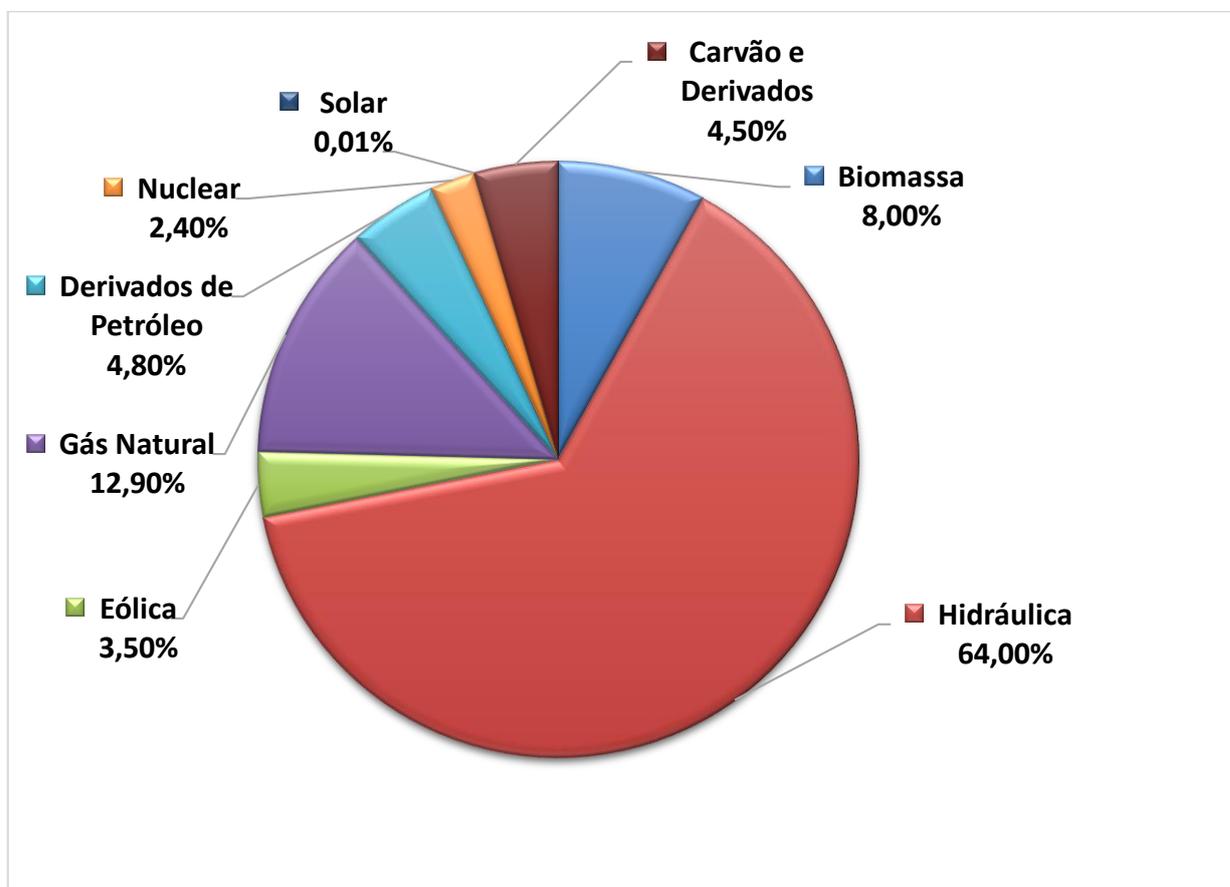


Figura 2 – Oferta interna de energia elétrica por fonte
(Fonte: Relatório de Balanço Energético Nacional (Adaptado), 2015).

Como constataram Guerra et al. (2015), o Brasil possui uma produção de energia que não satisfaz completamente a demanda, exigindo fontes importadas. Por mais que conte com uma matriz energética bastante diversificada, o consumo interno ainda é altamente dependente de combustíveis fósseis. Porém, esse fato é compensado, em parte, pelo alto consumo de etanol e à elevada capacidade de produção de energia hidráulica. Além disso, há grande potencial de produção de energia eólica e solar, que em conjunto resultam em uma expressiva capacidade total de geração.

As fontes energéticas renováveis permitem além da diversificação da matriz, a redução da dependência de combustíveis como o carvão e o petróleo, que emitem gases que intensificam o efeito estufa. Ademais, atuam como fontes complementares

àquelas que já tiveram seu potencial quase que totalmente aproveitado nos países desenvolvidos (ANEEL, 2005).

Por outro lado, por mais que a matriz energética brasileira tenha predominância de fontes limpas, isso não torna a indústria nacional mais competitiva, pois, a situação atual do mercado global, exige o cumprimento de desafios diários por parte das empresas concorrentes, no qual o desenvolvimento econômico, bem-estar dos trabalhadores e a sustentabilidade ambiental devem ser assegurados (HENRIQUES; CATARINO, 2015).

Consoante está o fato do país possuir uma matriz essencialmente proveniente da fonte hidráulica, fazendo com que os preços da energia oscilem conforme as mudanças climáticas, nas quais os ciclos hidrológicos são afetados, deixando o país à mercê da fragilidade do sistema (GUERRA et al., 2015).

Com base nisso, busca-se a expansão da utilização das demais fontes renováveis de energia, por meio de grandes centrais ou até mesmo, pequenas centrais geradoras, de forma a amenizar as consequências desse sistema predominantemente hidráulico e promover o melhor aproveitamento das demais fontes limpas. Uma dessas opções é a energia eólica.

Dessa forma, a EPE (2016) relata que a geração de autoprodutores (APE) no Brasil, em 2015, participou com 16,6% do total produzido (considerando todas as fontes), atingindo um montante de 96,6 TWh. Desse total, 52,7 TWh são produzidos e consumidos pela própria instalação geradora (APE clássica). A autoprodução clássica é utilizada em diversas instalações industriais que produzem energia para consumo próprio, como dos setores de papel e celulose, siderurgia, açúcar e álcool, química, entre outros, além do próprio setor energético, a exemplo dos segmentos de exploração, refino e produção de petróleo.

2.3 ENERGIA EÓLICA

A energia eólica provém da radiação solar, partindo do princípio que a movimentação das camadas de ar é provocada pelo aquecimento desigual da superfície terrestre e também da orientação dos raios solares, dos movimentos do planeta, do relevo, dentre outros fatores fundamentais. Essa movimentação das camadas de ar é denominada vento (KHARE; NEMA; BAREDAR, 2013).

De toda a radiação solar que atinge a superfície terrestre, um percentual de 3% a 5% pode ser convertida em energia cinética, podendo provocar a movimentação atmosférica, originando então a energia eólica. Desse montante, somente uma parcela pode ser aproveitada como energia eólica de fato, ocorrendo de maneira eficiente somente em algumas dezenas de metros de altura (PINTO, 2013). Segundo Dutra (2008), embora esse potencial pareça ser baixo, representa centena de vezes a potência anual instalada em centrais elétricas espalhadas pelo mundo.

A energia eólica é muito vantajosa, tanto para quem gera, como para quem consome, pois o vento é uma fonte natural e renovável, apropriada para a geração elétrica em grande escala. Além disso, usinas eólicas podem compartilhar área com pastagens e agricultura, dispensando desapropriações ou deslocamento de populações. A implantação é modular e mais rápida do que a de usinas convencionais e aproximadamente 85% do custo instalado se refere à produção de turbinas em escala (COPEL, 2015).

2.3.1 Fatores que influenciam o regime dos ventos

Para locar uma estação geradora de energia eólica é necessário conhecer a média anual da velocidade do vento no local, seja por meio de mapas topográficos ou visita ao local de interesse para coleta de dados, além do uso de imagens e dados de satélites. Por sua vez, o comportamento estatístico do vento no decorrer do dia é influenciado pela variação de velocidade conforme a altura, características topográficas (presença de obstáculos e variação do relevo) e rugosidade do solo (caracterizada pela vegetação, uso do solo e edificações) (DUTRA, 2008).

2.4 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA FONTE EÓLICA

A energia eólica é produzida a partir da força dos ventos, sendo abundante, renovável, limpa e disponível em muitos lugares. Os aerogeradores geram energia por meio da força do vento que movimenta hélices, convertendo energia cinética em energia mecânica. As pás são ligadas a um rotor, que por sua vez aciona o gerador, produzindo eletricidade. A quantidade de energia transferida varia conforme a densidade do ar, a área coberta pela rotação das hélices e da velocidade do vento

(MMA, 2014). Esse tipo de energia pode ter sua eficiência reduzida pela intermitência do vento e a sua implantação exige um investimento inicial relativamente elevado (ANEEL, 2005).

Ainda, dependendo da região, a energia eólica gera impactos negativos, como interferências eletromagnéticas, impacto visual, ruído e possíveis danos à fauna, além da necessidade de grandes áreas para implantação, sendo necessário um planejamento adequado para minimização desses problemas (MMA, 2014).

No Brasil, além das centrais de grande porte, pequenas centrais geradoras são utilizadas para suprimento de eletricidade em comunidades ou sistemas isolados, tanto em terra firme como no mar. Os sistemas eólicos de pequeno porte podem ser utilizados no meio rural para fornecimento de energia elétrica, principalmente, para iluminação e refrigeração de alimentos (MARRANGHELLO, 2004, apud OLIVEIRA e SANTOS, 2008).

Segundo a ANEEL (2005), as pequenas centrais podem suprir pequenas localidades distantes da rede, contribuindo para a universalização do atendimento. Já as grandes centrais podem atender uma significativa parcela do Sistema Interligado Nacional (SIN), reduzindo a emissão de poluentes atmosféricos, a necessidade da construção de grandes reservatórios e o risco gerado pela sazonalidade hidrológica.

A energia produzida pelo vento contribui com vários benefícios para a sociedade, auxiliando nos processos de produção sustentável e contribuindo para o progresso energético do país. Por isso, é de extrema importância conhecer melhor e investir em projetos eólicos, para desenvolvimento de uma economia nacional forte e sustentável, contribuindo para a qualidade de vida das gerações futuras e para o desenvolvimento do país (GOMES; HENKES, 2015).

2.4.1 Tipos de turbinas

As turbinas eólicas são equipamentos que convertem a energia do vento em energia elétrica, em duas etapas. Em um primeiro estágio, as turbinas convertem parte da energia cinética do vento em energia mecânica. Depois disso, a energia mecânica é transformada em energia elétrica no gerador, e então é transmitida para a rede elétrica. Dependendo da tecnologia utilizada pelo aerogerador, o multiplicador

mecânico e o conversor eletrônico não são necessários (FIGURA 3) (PICOLO; BÜHLER; RAMPINELLI, 2013).

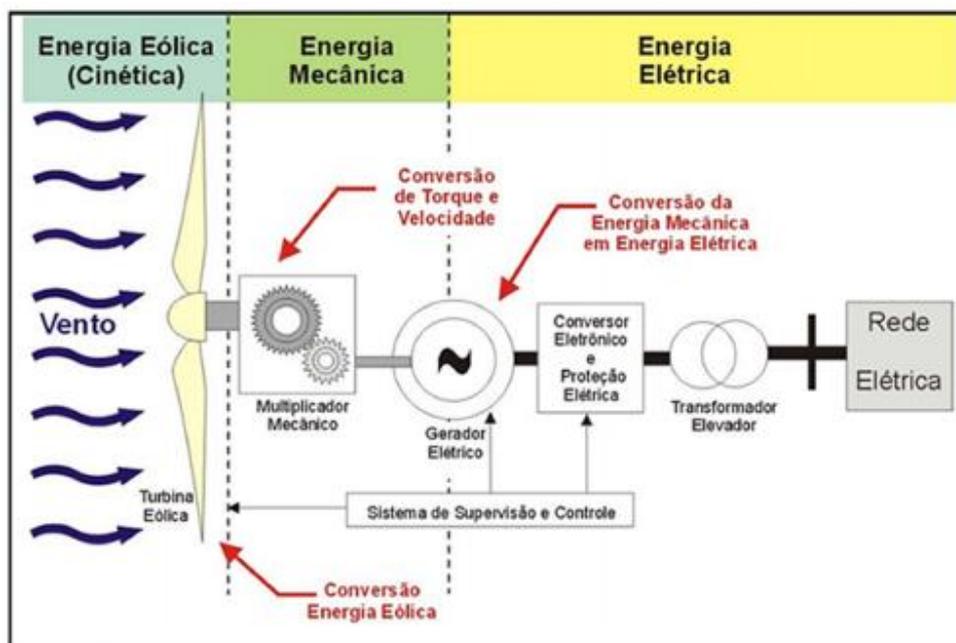


Figura 3 – Funcionamento do aerogerador
(Fonte: Picolo, Bühler e Rampinelli, 2014).

As turbinas são classificadas com base no eixo ao redor do qual as pás giram. As que possuem eixo paralelo ao solo, são as chamadas turbinas de eixo horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine - HAWT*) e as de eixo perpendicular ao solo são denominadas turbinas de eixo vertical (*Vertical Axis Wind turbine – VAWT*) (PINTO, 2013) (FIGURA 4).

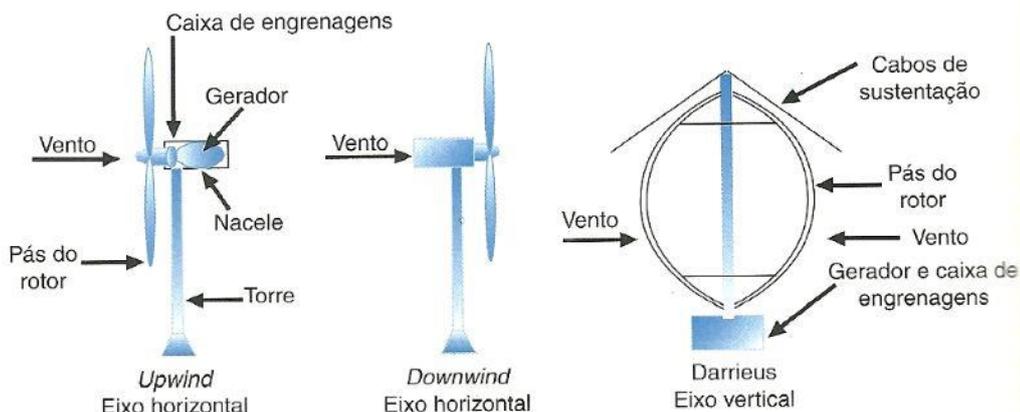


Figura 4 – Tipos de turbinas em relação ao eixo de rotação
(Fonte: Pinto, 2013).

Segundo Lopez (2012), na Figura 5 é possível observar os diversos tipos de turbinas de eixo vertical. Porém, essas são bastante raras, sendo a turbina Darrieus a única em produção comercial atualmente.

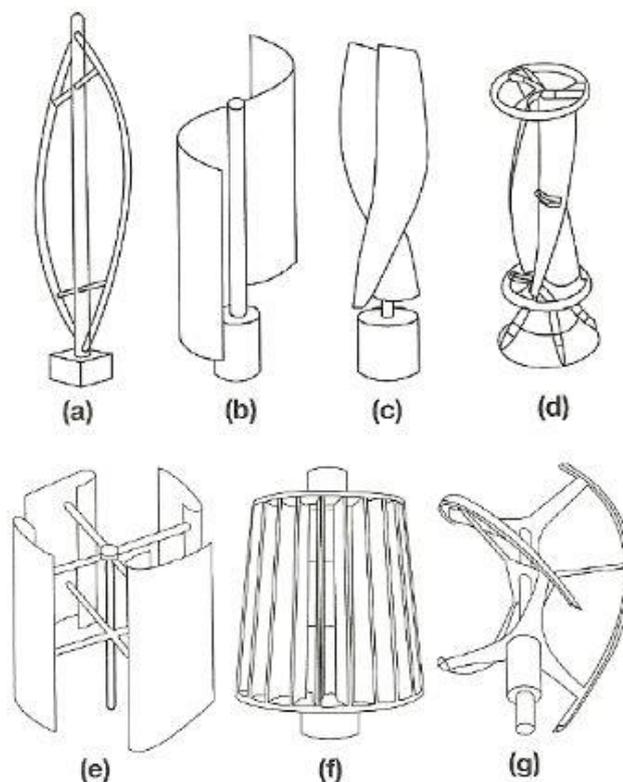


Figura 5 – Modelos de turbinas com eixo de rotação vertical (a) Darrieus, (b) Savonius, (c) Solarwind, (d) Helicoidal, (e) Nohuchi, (f) Maglev e (g) Cochrane (Fonte: Tong, 2010, apud Pinto, 2013).

As turbinas de eixo vertical geralmente são menos eficientes que as de eixo horizontal. Como vantagem, todos os equipamentos ficam ao nível do solo para facilidade de instalação e serviços, significando também, a necessidade de uma área maior para a turbina, o que se torna uma grande desvantagem em áreas de cultivo. Assim, são mais utilizadas para turbinas de pequena escala e bombeamento de água em áreas rurais (LOPEZ, 2012).

De acordo com Pinto (2013), apesar das desvantagens no transporte dos equipamentos, na exigência de um sistema de controle e a construção complexa da torre para que suporte o peso das pás e do cubo, as turbinas de grande escala de geração produzidas comercialmente atualmente são as turbinas de eixo horizontal, devido às características e vantagens que apresentam:

- A velocidade do rotor e a saída de potência podem ser controladas através do ângulo das pás, que também é uma proteção contra o excesso de velocidade;
- O formato das pás pode ser otimizado aerodinamicamente para maior eficiência;
- Acesso a ventos de maiores velocidades em função da altura da torre;
- Devido à altura da torre as pás ficam longe do solo e ocupam pouco espaço;
- Alta eficiência pelo fato das pás encararem o vento perpendicularmente.

Dentre as turbinas de eixo horizontal existem dois tipos de máquinas, a *downwind* e a *upwind* (FIGURA 6) (PINTO, 2013).

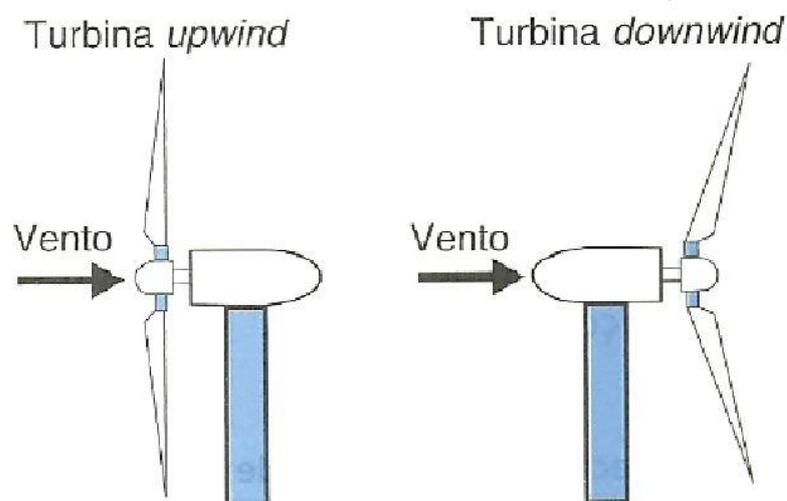


Figura 6 – Tipos de turbina em relação à incidência do vento
(Fonte: Pinto, 2013).

Pinto (2013) enfatiza que na máquina *downwind* o vento incide na parte traseira de varredura da turbina. Como vantagem, a própria turbina se ajusta em relação à direção do vento, pois o rotor é posicionado a favor do mesmo. Um dos problemas que ocorrem com esse tipo de equipamento é que toda vez que a pá passa pela torre, o vento tem sua intensidade reduzida fazendo com que a mesma se flexione, podendo leva-la à fadiga, aumentando o ruído e reduzindo o potencial de saída.

Por outro lado, na turbina do tipo *upwind*, que opera com a face contra a direção do vento, a torre não se constitui em obstáculo. Porém, esse tipo de máquina necessita de um modo mais complexo de sistema de ajuste para manter as pás voltadas para o vento. Entretanto, como vantagem, trabalha mais suavemente e fornece maior potência, caracterizando-se por ser a mais utilizada (LOPEZ, 2012).

2.4.2 Principais componentes de aerogeradores

Os aerogeradores são produzidos em vários tamanhos, com modelos de pequena escala usados para fornecer energia elétrica para residências rurais e modelos de dimensões maiores utilizados para fornecimento de eletricidade para um pequeno número de habitações dentro de uma comunidade. Já em escalas industriais existem grandes turbinas em parques eólicos localizados em áreas rurais ou *offshore* (BADUREK, [ca, 2010]).

De acordo com Pinto (2013), os aerogeradores são equipamentos destinados a gerar energia elétrica a partir da energia cinética do vento. São compostos pelas turbinas, mencionadas anteriormente, e por outros dispositivos e sistemas como torre, nacele, caixa de engrenagens, cubo, gerador e pás (FIGURA 7).

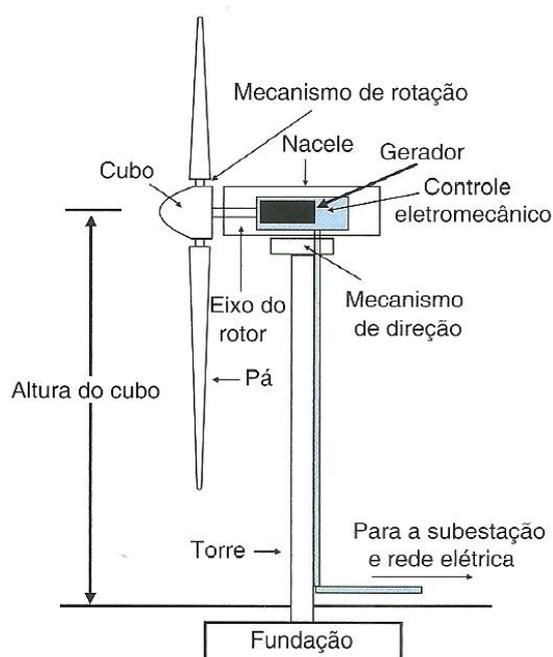


Figura 7 – Principais componentes de um aerogerador
(Fonte: Pinto, 2013).

2.4.2.1 Torre

A torre é a estrutura de sustentação. Existem as tubulares cônicas (construídas em aço ou concreto) e as treliçadas (construídas em aço) (FIGURA 8).

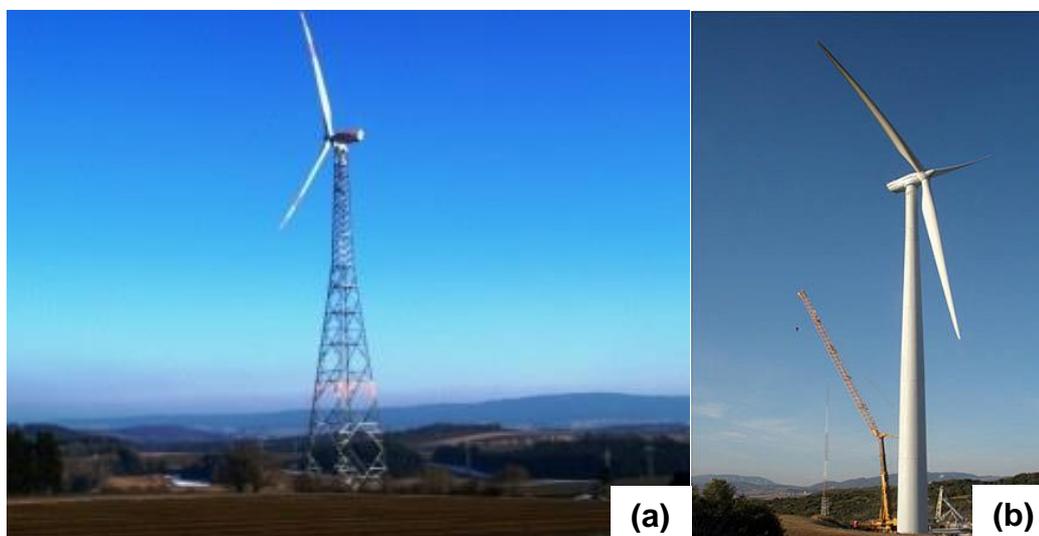


Figura 8 – Modelos de torres (a) treliçada e (b) cônica de concreto
(Fonte: Tong, 2010, apud Pinto, 2013).

As torres treliçadas apresentam a vantagem de haver menor gasto de material para atingir determinada altura e rigidez. Além disso, no caso de grandes torres, o transporte e a montagem são facilitados, já que o transporte de torres tubulares de aço via estradas enfrenta grandes problemas de logística. Porém, há despesas maiores com manutenção e um alto tempo de montagem, o que caracteriza desvantagens no uso desse tipo de torre (PINTO, 2013).

O uso de torres de concreto apresenta grande tradição, principalmente pela utilização de partes pré-fabricadas, sendo essas transportadas até o local onde são montadas. Porém, aos poucos, as torres de concreto vêm sendo substituídas por torres de aço (PINTO, 2013).

2.4.2.2 Nacele

Como cita Lopez (2012), a nacele é a estrutura de proteção do aerogerador contra intempéries como chuva, vento, poeira e radiação solar, montada em cima da torre onde estão contidos todo o mecanismo do gerador e a caixa de acoplamento

(FIGURA 9). Em geradores de grande porte, ela apresenta acessórios de manutenção e permite o acesso de técnicos ao seu interior.



Figura 9 – Nacele

(Fonte: Wausaukee Composites Inc., 2015).

2.4.2.3 Caixa de engrenagens

A caixa de engrenagens também é conhecida como caixa multiplicadora e faz a sintonia entre a baixa velocidade da turbina e a alta velocidade do gerador, estando situada dentro da nacele, juntamente com o gerador, como ilustrada na Figura 10 (PINTO, 2013).

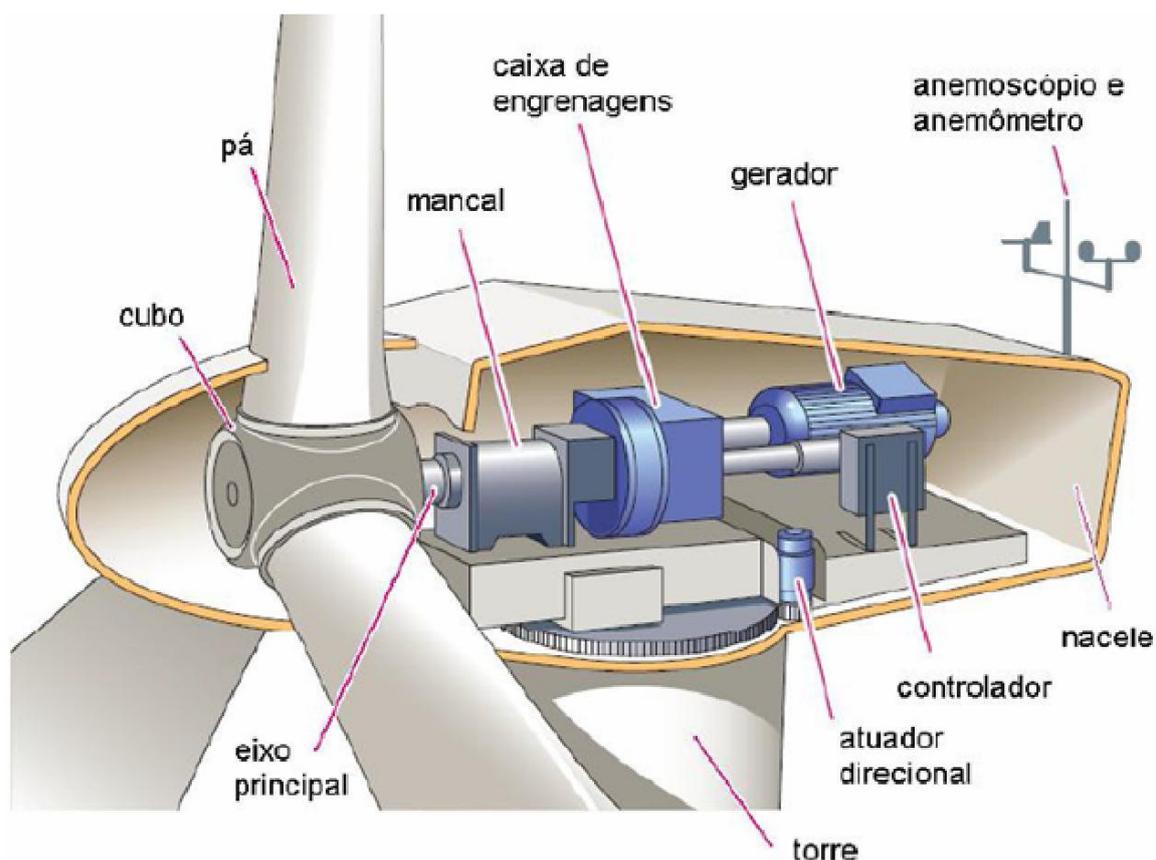


Figura 10 – Desenho esquemático do aerogerador
(Fonte: Wekken e Wien, 2006, apud Moura, 2011).

2.4.2.4 Cubo

Segundo Lopez (2012), o cubo é a estrutura onde são fixadas as pás, por meio de flanges, sendo composta por aço ou liga metálica de alta resistência. É responsável por transmitir as forças aerodinâmicas geradas na pá em torque no eixo principal (FIGURA 10).

2.4.2.5 Pás

As pás, também ilustradas na Figura 10, são as estruturas movimentadas pelo vento. São fabricadas em fibra de vidro, reforçadas com epóxi e/ou madeira. A inserção no cubo é feita pela introdução de raiz em aço inoxidável. Em turbinas com controle de velocidade por passo, a pá dispõe de rolamentos em sua base, possibilitando que gire ao alterar o ângulo de ataque (LOPEZ, 2012).

2.4.2.6 Gerador

Lopez (2012) define que gerador é a máquina responsável pela produção de energia elétrica (FIGURA 10). Existem dois modelos, as máquinas síncronas e as assíncronas.

2.4.2.6.1 Aerogerador com velocidade variável e gerador síncrono

Os aerogeradores de velocidade variável podem utilizar gerador síncrono, que tem a possibilidade de controlar, por meio da excitação, a tensão e a potência reativa gerada, o que é impossível nos geradores assíncronos. Como a frequência é diretamente proporcional à velocidade de rotação do rotor, é necessário utilizar um conversor e um inversor de frequência, para fazer a conexão do gerador com a rede elétrica (LOPEZ, 2012).

Geradores síncronos são somente utilizados em energia eólica em sistemas de velocidade variável. A conexão ao sistema elétrico é feita por meio de conversor de frequência eletrônico, formado pelo conjunto retificador/inversor. A tensão produzida pelo gerador síncrono é retificada e a corrente contínua resultante é invertida, com o controle de frequência de saída sendo feito eletronicamente com tiristores (FIGURA 11). A frequência produzida varia conforme a rotação da turbina. A ideia básica é o desacoplamento da velocidade de rotação do gerador da frequência elétrica da rede (LOPEZ, 2012).

Segundo Lopez (2012), os geradores síncronos produzem energia de melhor qualidade e têm sido utilizados atualmente em aerogeradores de grande porte.

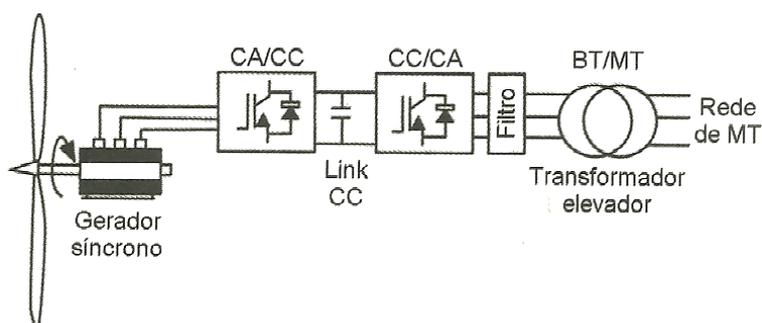


Figura 11 – Gerador síncrono conectado à rede via conversor
(Fonte: Lopez, 2012).

2.4.2.6.2 Aerogerador com velocidade variável e gerador assíncrono duplamente alimentado

Esse tipo de aerogerador “utiliza dois enrolamentos que apresentam velocidades síncronas diferentes, com conversor de frequência entre o rotor e o estator, o que permite a aplicação de uma tensão ao enrolamento do rotor bobinado” (FIGURA 12) (LOPEZ, 2012, p.128).

Nesse caso, o aerogerador de velocidade variável necessita de controle de passo das pás da turbina, ocorrendo a geração acima ou abaixo da velocidade síncrona, sendo a operação similar a de um gerador síncrono. A caixa de engrenagens adapta a baixa velocidade do rotor da turbina à alta velocidade do gerador (PINTO, 2013).

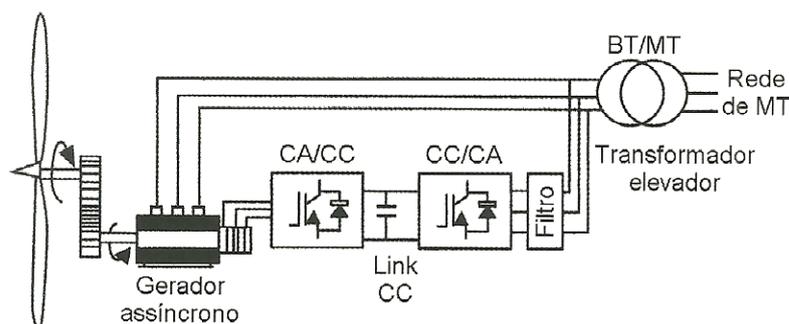


Figura 12 – Gerador assíncrono duplamente alimentado
(Fonte: Lopez, 2012).

2.4.2.6.3 Aerogerador com velocidade variável e gerador assíncrono conectado à rede via conversor

Segundo Pinto (2013), há dois modos dos aerogeradores com velocidade variável e gerador assíncrono se conectarem à rede: por conexão direta ou passando por conversor.

Lopez (2012) ressalta que nesse caso os aerogeradores necessitam de energia reativa para a excitação do gerador, feita por auto-excitação por meio de capacitores, que devem ser colocados antes do retificador, pois o conversor de frequência faz isolamento galvânico entre o gerador e o sistema, não permitindo a absorção de energia reativa externa, seja do sistema elétrico ou dos capacitores.

A configuração é usada em aerogeradores com velocidade variável em função de que a tensão produzida pelo gerador, numa frequência relacionada com a rotação

da turbina, está isolada da tensão e frequência da rede pelo conversor (FIGURA 13) (LOPEZ, 2012).

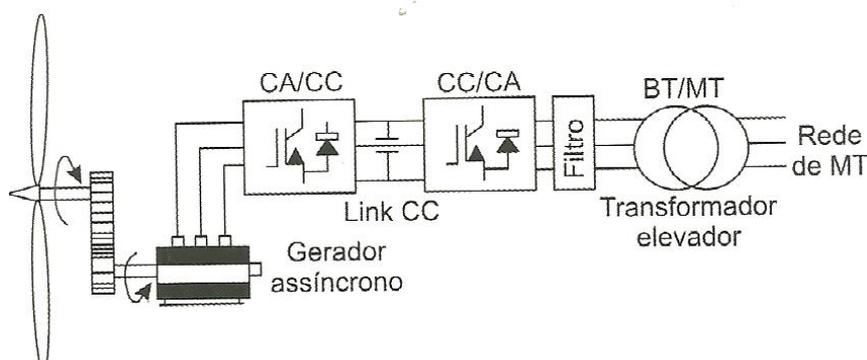


Figura 13 – Gerador assíncrono conectado à rede via conversor
(Fonte: Lopez, 2012).

2.4.2.6.4 Aero gerador de velocidade constante

Aero geradores de velocidade constante usam geradores assíncronos conectados diretamente à rede elétrica. Nesse caso, o torque da turbina varia de acordo com a mudança de velocidade do vento, resultando em maior escorregamento do gerador, fornecendo maior potência (LOPEZ, 2012).

Para melhorar a operação do rotor, utilizam-se geradores de indução de dupla velocidade, permitindo a mudança de velocidade do rotor de duas formas: em baixas velocidades o gerador opera com rotação baixa e em altas velocidades com velocidade rotacional alta (LOPEZ, 2012).

A maior parte dos aero geradores em operação mundialmente utiliza o sistema de acoplamento direto à rede, com rotor de velocidade constante (LOPEZ, 2012). O esquema está apresentado na Figura 14.

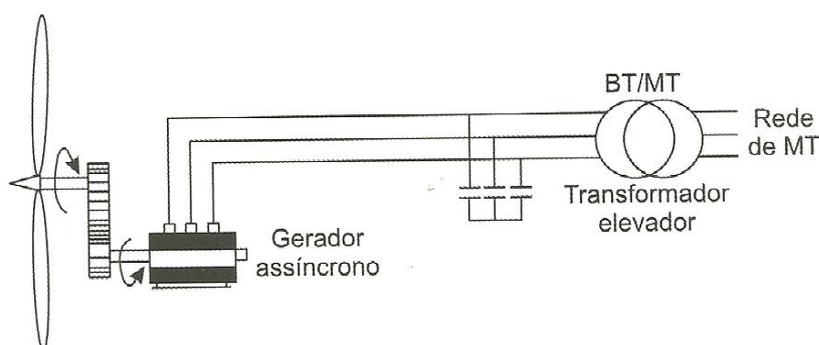


Figura 14 – Gerador de indução conectado diretamente à rede
(Fonte: Lopez, 2012).

2.4.2.7 Fundação

Estrutura de aço e concreto que sustenta o aerogerador, composta por estacas e blocos (FIGURA 15) (LOPEZ, 2012).



Figura 15 – Bloco de fundação para aerogerador
(Fonte: Vieira e Batista Júnior, 2015).

2.4.2.8 Anemômetro e anemoscópio

São dispositivos montados sobre a nacela. Dados de velocidade do vento são medidos pelo anemômetro, enquanto a direção é fornecida pelo anemoscópio (biruta), alimentando o sistema de controle e também servindo para monitoramento e análise de desempenho do aerogerador (LOPEZ, 2012). Vide Figura 10.

2.5 POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO

A avaliação do potencial eólico de uma região requer trabalhos complexos de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime de ventos. Normalmente, são necessários levantamentos específicos, porém, dados coletados em aeroportos,

estações meteorológicas e outras aplicações similares fornecem uma estimativa do potencial bruto ou teórico de aproveitamento da energia eólica (ANEEL, 2005).

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro apresenta uma síntese das características de distribuição dos regimes de vento, conforme as regiões geográficas, das quais destacam-se as regiões Nordeste e Sul pelos melhores potenciais de geração de energia (FIGURA 16) (EPE, 2007).

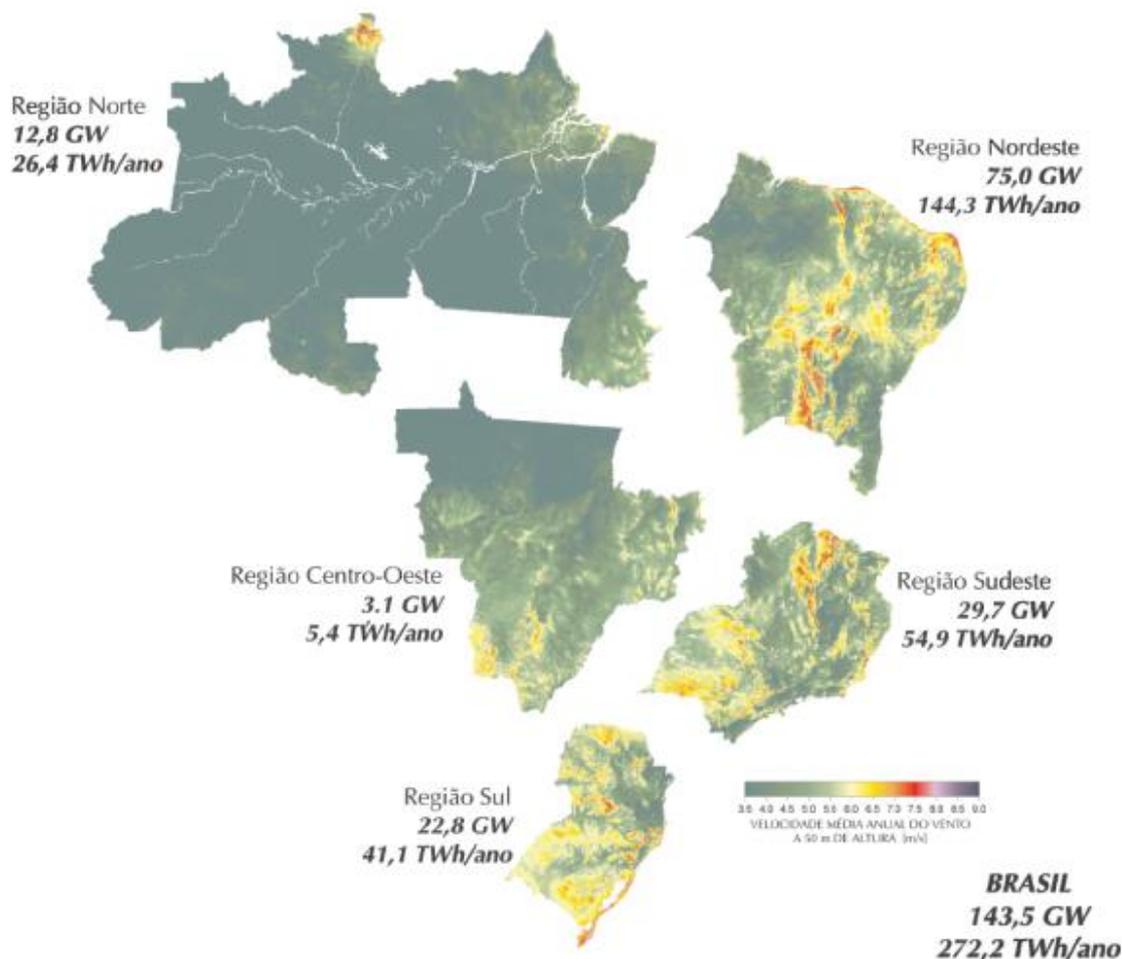


Figura 16 – Potencial eólico brasileiro

(Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 2001, apud Empresa de Pesquisa Energética, 2007).

Segundo a EPE (2007), na região Sul, que se estende de aproximadamente de 24°S (São Paulo) até os limites ao sul do Rio Grande do Sul, o escoamento atmosférico geral nessa área é controlado pela Depressão do Nordeste da Argentina. O gradiente de pressão entre a Depressão do Nordeste da Argentina e o Anticiclone Subtropical Atlântico induz um escoamento persistente de nordeste ao longo dessa área. Desse escoamento, resultam velocidades médias anuais de 5,5 m/s a 6,5 m/s sobre grandes áreas da região. Porém, esse escoamento é significativamente

influenciado pelo relevo e pela rugosidade do terreno. Os ventos mais intensos estão entre 7 m/s e 8 m/s e ocorrem nas maiores elevações montanhosas do continente, bem como em planaltos de baixa rugosidade, como os Campos de Palmas.

Entretanto, como um todo, o potencial eólico brasileiro tem despertado o interesse de vários fabricantes e representantes dos principais países envolvidos com essa tecnologia, bem como o interesse em estudos de viabilidade técnica para implementação de grandes parques eólicos no país (EPE, 2007).

O estudo do potencial eólico é uma ferramenta essencial para projetos de parques eólicos ou mesmo para preceder estudos de pequenos projetos energéticos de microescala, levando em consideração que esse último, necessita de uma avaliação pontual mais precisa referente a uma maior quantidade de tempo, quando possível (EPE, 2015b).

A escolha do local para instalação de um aerogerador, seja para geração de energia elétrica, bombeamento hidráulico, ou qualquer outra forma de aproveitamento é determinante para a qualidade do sistema operacional. Fatores que influenciam o regime de ventos devem ser analisados, como: velocidade do vento na localidade, características do relevo, rugosidade do solo e a distribuição dos obstáculos (LOPEZ, 2012).

2.5.1 Potencial eólico do Paraná

O Estado do Paraná ocupa uma área territorial de 199.554 km², fazendo limites com os Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina, Repúblicas do Paraguai e Argentina e com o Oceano Atlântico. Está situado na região Sul do Brasil, entre os paralelos 26°43'08"S e 22°30'44"S e os meridianos 54°36'32"W e 48°00'11"W, sendo cortado pelo Trópico de Capricórnio que passa exatamente pelas cidades de Apucarana, Carlópolis e Rondon (SCHULTZ, et al., 2007).

De acordo com o Atlas do Potencial Eólico do Paraná, desenvolvido no ano de 2007, com a colaboração do LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento) e da consultoria da Camargo Schubert Engenharia Eólica, o estado possui um potencial de geração eólica de 1.360 MW a 75 m de altura para áreas com velocidade do vento igual ou superior a 7 m/s, o qual pode ser aproveitado para geração de eletricidade. Dentre os maiores potenciais eólicos em microescala estão

os municípios de Cascavel, Maringá, São Jerônimo da Serra, Castro, Tibagi, Palmas, Guarapuava e Serra do Quiriri entre Tijucas do Sul e Guaratuba. De tal modo, a cidade de Cascavel apresenta velocidade de vento a altura de 50 m equivalente a 5 m/s e a 75 m e 100 m variando entre 6,5 m/s e 7,0 m/s (COPEL, 2007).

2.6 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA COM SISTEMAS EÓLICOS

Um estudo da *European Wind Energy Association* (EWEA) juntamente com o *Greenpeace* afirma que a utilização de soluções em prol de um futuro mais limpo passa por sistemas descentralizados e redução gradativa do uso de fontes de energia não-sustentáveis. Dessa forma, o Brasil pode apresentar uma matriz energética 92,7% proveniente de fontes renováveis se reduzir o uso de combustíveis fósseis e consequentemente das termoelétricas, e passar a explorar mais as fontes limpas, como a eólica (GREENPEACE INTERNACIONAL E EREC, 2010).

Ainda de acordo com o Greenpeace Internacional e o Conselho Europeu de Energia Renovável – EREC (2010), em um cenário otimista até o ano de 2050, a geração hidrelétrica corresponderá a 45,65% da matriz brasileira, seguida pela energia eólica, com participação de 20,38%, biomassa (16,6%), energia solar (9,26%), e o gás natural, único combustível fóssil considerado num estado de transição (7,33%) (FIGURA 17). Essa matriz mais equilibrada, prevista para os próximos anos no país, traria muitos benefícios sociais e econômicos (criação de empregos), estimularia o desenvolvimento de novas tecnologias e possibilitaria atender a quem não tem acesso à eletricidade, com sistemas descentralizados.

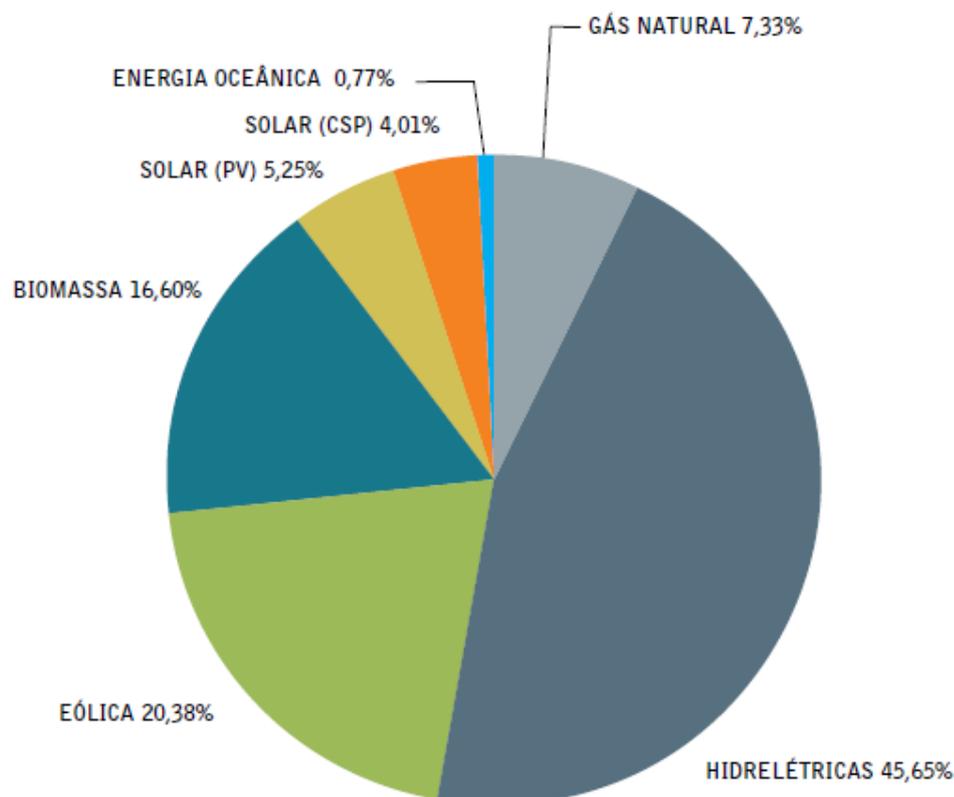


Figura 17 – Geração total de eletricidade - cenário revolução energética 2050
(Fonte: Greenpeace Internacional e Conselho Europeu de Energia Renovável, 2010).

A energia dos ventos pode ser utilizada tanto para a produção de energia elétrica quanto para moagem de grãos e bombeamento de água, pela conversão de energia cinética em energia mecânica a partir de ventos com velocidade de 2,5 m/s. Os cata-ventos de múltiplas pás para bombeamento d'água são usados há muitas décadas, inclusive no interior do Brasil. Além disso, aerogeradores de pequeno porte para geração de energia elétrica (sistemas isolados) também já vêm sendo usados há anos (KRAUTER, 2005).

Assim, um sistema eólico pode apresentar três configurações distintas: isolados, híbridos e interligados à rede, todos constituindo uma configuração básica, unidade de controle de potência e, em determinados casos, havendo uma unidade de armazenamento. Das centrais eólicas, as mais produtivas são as usinas eólicas, conectadas à rede, integrando o sistema de geração distribuída, com capacidade instalada acima de 1 MW, possuindo a modalidade *onshore* (em terra), e a modalidade *offshore*, com aerogeradores instalados no mar (DUTRA, 2008).

2.6.1 Micro e minigeração elétrica no Brasil

Nas últimas décadas têm ocorrido mudanças na demanda e na natureza da geração de energia, proporcionando o desenvolvimento da tecnologia da microgeração que é baseado em fontes de energia renováveis, como a energia solar e a eólica, por exemplo. A microgeração é definida como uma fonte de energia elétrica relacionada ao equipamento associado que opera em paralelo com uma rede de distribuição convencional (SUNDERLAND; MILLS; CONLON, 2013).

A Resolução Normativa nº 687/2015 aprimorou a Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, que criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica no Brasil. Na atual versão da resolução, segundo as novas regras, que começaram a valer a partir de 1º de março de 2016, é permitido o uso de qualquer fonte renovável como a hidráulica (até 3 MW), solar, eólica e biomassa, além da cogeração qualificada, dividindo-se em centrais minigeradoras, que possuem capacidade instalada de 75 kW a 5 MW e centrais de microgeração de capacidade instalada menor que 75 kW, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Nos dois casos, as centrais podem ou não estar conectadas à rede, sendo também permitindo o uso de mais de uma fonte de energia renovável como os sistemas híbridos, como, por exemplo, os sistemas eólico-fotovoltaicos (ANEEL, 2015b).

Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto” (ANEEL, 2014).

Além da obtenção dos créditos ou do pagamento da diferença entre a energia consumida e a gerada, ressalta-se que, dependendo da forma de incidência dos impostos em cada Estado, o consumidor terá ainda que pagar taxas e impostos (ICMS e PIS/COFINS) incidentes sobre o total da energia absorvida da rede (ANEEL, 2014).

Para os procedimentos necessários para se conectar a micro ou minigeração distribuída à rede da distribuidora, a ANEEL estabeleceu regras que simplificam o

processo: foram instituídos formulários padrão para que seja realizada a solicitação de acesso pelo consumidor. O prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW, que era de 82 dias, foi reduzido para 34 dias. Assim, a partir de janeiro de 2017, os consumidores podem fazer a solicitação e acompanhar o andamento de seu pedido junto à distribuidora por meio da Internet (ANEEL, 2016).

A resolução estabelece ainda que a análise da relação custo-benefício da instalação da planta de micro ou minigeração é de inteira responsabilidade do consumidor, isentando a ANEEL de qualquer custo dos geradores ou mesmo eventuais condições de financiamento (ANEEL, 2014).

Para Pinto e Neto (2012) apud Sato (2015), a microgeração é uma forma eficiente de aproveitamento da malha elétrica do país, proporcionando economia e redução nas perdas da rede de distribuição, maior autonomia, redução do consumo em horários de pico, além de permitir também o abastecimento de energia em áreas isoladas, pois é definida como a geração de energia elétrica por meio de pequenas instalações, constituindo-se de plantas de pequena escala, concretizadas por empresas, comunidades e indivíduos.

2.6.2 Aplicações dos sistemas de geração eólica

Existem três aplicações para os sistemas eólicos, dentre elas os sistemas isolados, sistemas híbridos e sistemas interligados à rede, todos obedecendo a uma configuração básica, necessitando de uma unidade de controle de potência e, em certas situações, de uma unidade de armazenamento (DUTRA, 2008).

Para Reis (2015), como os sistemas de geração de energia interligados de uma determinada região nem sempre conseguem atender à população ou a equidade energética, devido à distribuição heterogênea do desenvolvimento, principalmente em países menos desenvolvidos, e pelo fato de se preconizar o desenvolvimento sustentável, têm sido utilizados, cada vez mais, os sistemas isolados e híbridos de geração elétrica.

2.6.2.1 Isolados, Autônomos ou *Off grid*

Conforme menciona Lopes (2011), há anos a energia dos ventos vem sendo aproveitada, seja por meio de cata-ventos de múltiplas pás para bombeamento d'água ou moagem de grãos e ainda aerogeradores de pequeno porte para geração de energia elétrica em sistemas isolados, que também vêm sendo utilizados há décadas.

Os sistemas isolados ou independentes são sistemas autônomos de pequeno porte, com potência instalada na faixa de até 80 kW, geralmente, destinados à eletrificação rural, podendo ser destinados para fornecimento de energia a uma residência rural, uma fazenda, uma aldeia ou outro tipo de instalação (DUTRA, 2008).

Conforme Dutra (2008), esses sistemas isolados, no geral, utilizam-se de alguma forma de armazenamento de energia ou baterias, com o objetivo de utilizar equipamentos elétricos ou por energia gravitacional, com finalidade de armazenar água bombeada em reservatórios. Outros sistemas isolados não necessitam de armazenamento, como no caso dos sistemas para irrigação, nos quais toda a água bombeada é diretamente consumida.

A Figura 18 demonstra um exemplo de configuração de um sistema eólico isolado, autônomo ou chamado de *Off grid*.

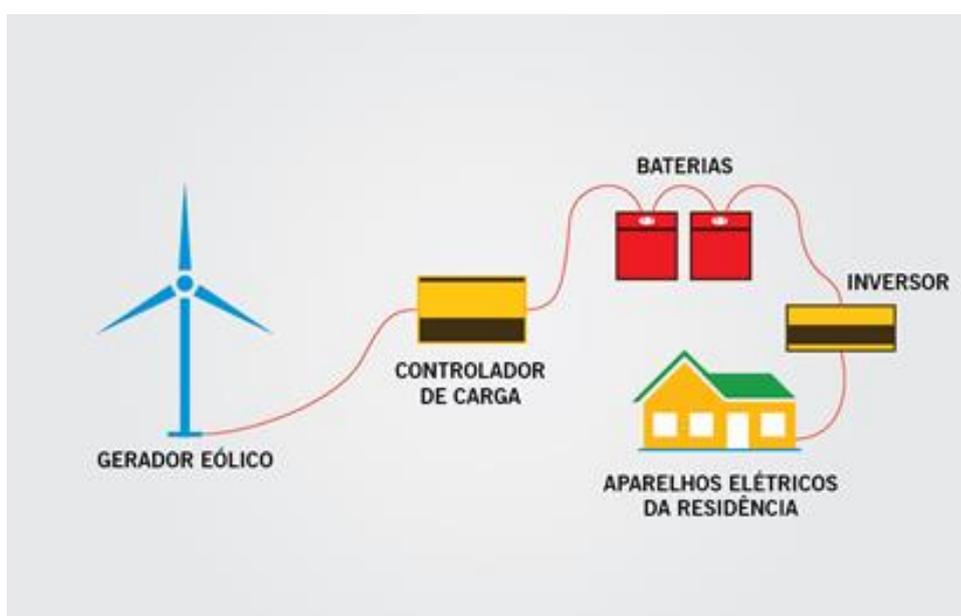


Figura 18 – Configuração de um sistema eólico isolado
(Fonte: CAPTOVENTO, 2016).

2.6.2.2 Conectados à rede elétrica ou *Grid tie*

Esse tipo de sistema funciona conectado à rede elétrica da concessionária de energia, entregando diretamente na rede a energia excedente ao consumo e retira dela a diferença quando a geração é inferior à demanda. Assim, o usuário só paga a diferença entre a quantidade retirada e injetada na rede elétrica. Havendo créditos, o usuário tem 60 meses para utilizá-los, contando da data da leitura do medidor (CAPTOVENTO, 2016).

Até o final de 2013, o mundo contava com uma capacidade instalada de sistemas eólicos interligados à rede de aproximadamente 318 GW, suprimindo 3% da necessidade energética global (GWEC, 2014).

A Figura 19 ilustra a configuração de um sistema eólico *Grid tie*, também conhecido como conectado à rede.

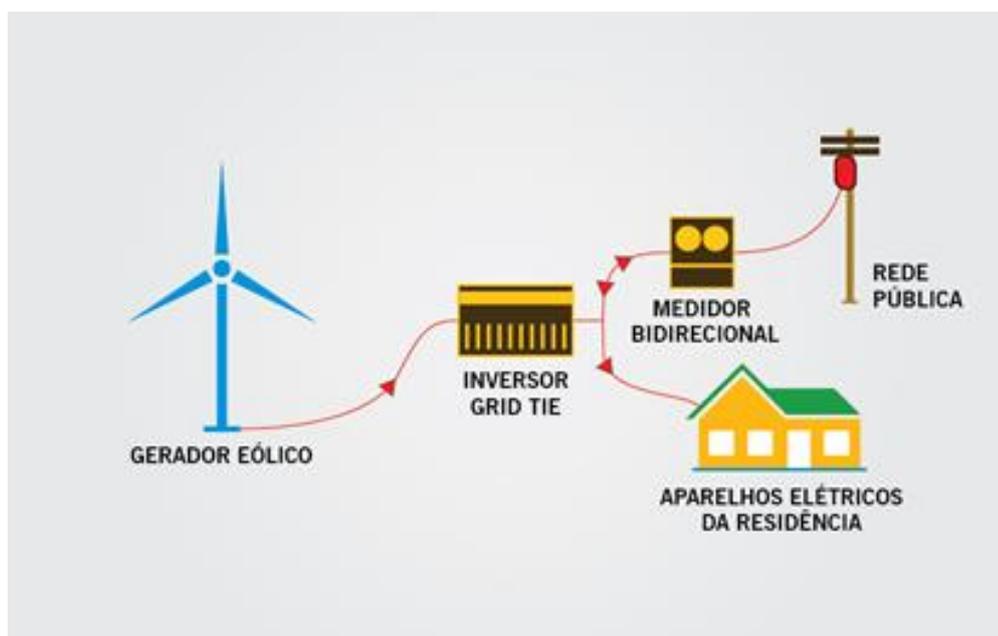


Figura 19 – Configuração de um sistema eólico conectado à rede
(Fonte: CAPTOVENTO, 2016).

2.6.2.3 Híbridos

Os sistemas híbridos são desconectados da rede convencional, gerando energia por meio de diferentes fontes como a eólica, fotovoltaica, diesel, entre outras. Sempre se relaciona uma fonte de energia firme e confiável a outra que pode oscilar com o tempo. Assim, por um lado, a utilização de mais de uma fonte de energia complementa o sistema devido à intermitência de uma das fontes, porém, por outro lado, o sistema se torna bem mais complexo, exigindo controle de todas as fontes utilizadas, para que haja máxima eficiência na entrega da energia (FIGURA 20) (DUTRA, 2008).

Dutra (2008) ainda informa que, em geral, esse tipo de sistema é de médio a grande porte para atender um número maior de usuários. Por trabalhar com cargas em corrente alternada, o sistema híbrido também necessita de um inversor, e devido à grande complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular a cada caso.



Figura 20 – Configuração de um sistema híbrido solar-eólico-diesel
(Fonte: Dutra, 2008).

2.7 USO DA ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS AGROINDUSTRIAIS

Segundo Oetterer (2003) agroindústria é definida como “qualquer indústria que utilize a produção agrícola como matéria prima para alterá-la em sua forma e transformá-la em um produto que é função da exigência do mercado consumidor.”.

As agroindústrias podem ser classificadas como (OETTERER, 2003):

- De alimentos destinados ao consumo interno (sucos, óleo comestível, açúcar, grãos beneficiados, entre outros);
- Energéticas (mini destilarias de álcool);
- De produtos em geral para exportação (borracha, óleos essenciais, abacaxi em compota, samambaias, entre outros);
- De produtos não alimentícios para mercado interno (lã, fibras, pele, couro e subprodutos das indústrias alimentícias em geral).

Conforme o Relatório de Balanço Energético Nacional, no ano de 2015 os setores que mais consumiram energia no país foram o industrial (32,5%) seguido do setor de transportes (32,2%) (EPE, 2016).

Com base no mesmo relatório, analisando o consumo energético industrial no ano de 2015, verifica-se que 20,0% do total da energia consumida pelo setor decorreu da eletricidade, uma vez que o setor tem seu desenvolvimento impulsionado principalmente por esse tipo de fonte de energia.

O consumo energético ocorre para manter toda a cadeia produtiva numa agroindústria. O processo é ininterrupto desde a obtenção da matéria prima de boa qualidade, o manuseio, o armazenamento, o processamento, a embalagem, a comercialização e a distribuição. O aproveitamento dos recursos limitados das matérias primas é feito embalando-se parte dela para o mercado consumidor existente para o produto "in natura" (fresco) e outra parte destina-se à fabricação de produtos e de subprodutos. Além disso, é necessária toda uma quantidade de energia para se manter as instalações que participam indiretamente desses processos, como o sistema de iluminação, telefones, ar condicionado, entre outros (OETTERER, 2003).

2.7.1 Uso da energia elétrica na secagem de grãos

Uma instalação de armazenamento de grãos é definida como um sistema projetado, estruturado, equipado e interligado em uma sequência lógica para recebimento, limpeza, secagem, armazenagem, e expedição de grãos e/ou das oleaginosas. A estrutura inclui poços de recepção e limpeza, secadores, transportadores, silos, armazenagem planos, caixas de expedição, entre outros (SILVA et al., 2012).

Dentre esses processos, a secagem é uma das etapas de pré-processamento dos produtos agrícolas que tem a função de retirar a água contida neles. “É definida como um processo simultâneo de transferência de calor e massa (umidade) entre o produto e o ar de secagem” (SILVA; AFONSO; DONZELLES, 2016).

No caso de secagem de grãos e outros produtos, verifica-se que os secadores exigem um alto investimento na sua instalação, apresentam custos operacionais elevados devido à demanda de energia e necessitam de mão de obra especializada, dependendo do tipo de procedimento e equipamento utilizado (MORAES-DUZAT et al., 2010).

Consoante a isso, Martins et al. (2002) explica que esse processo é de extrema importância para que seja atingida a qualidade máxima do produto final, pois a secagem influencia em características físicas e químicas da matéria prima, como consistência, conteúdo de energia, palatabilidade, dureza, cor, umidade e teor de proteínas e aminoácidos.

Já existem estudos para suprir a demanda energética em secadores com base na fonte fotovoltaica, em vez de energia elétrica e lenha (MARTINS et al., 2002). Outra proposta seria a utilização de um sistema eólico para suprir no mínimo parcialmente a demanda de secadores nesse tipo de agroindústria.

2.7.1.1 Uso da energia elétrica na aeração

A aeração consiste no processo de secagem que utiliza o ar não aquecido, com fluxo adequado, através da massa de grãos, e tem por objetivo ventilar, prevenindo ou solucionando problemas de conservação do produto. Deve ser feita quando a umidade relativa do ar for baixa, de maneira que a higroscopicidade se

verifique no sentido do grão para o ar. Impede a migração da umidade e a formação de bolsas de calor. Existem dois sistemas distintos (ELIAS, et al., 2015):

- Aeração natural: ventilação do ar ambiente, pouco utilizada em função da demora no processo e pelo fato de ser dependente das condições ambientais de umidade relativa e temperatura do ar;
- Aeração provocada: renovação mecânica do ar com a vantagem de secar independente dos fatores climáticos.

No caso das unidades armazenadoras e secadoras de grãos, atualmente, têm sido utilizados ventiladores nos processos de aeração do tipo centrífugo e, que são acionados por motores de indução, operando com velocidade praticamente constante. Ao operar os motores com velocidades fixas, prevendo atender as condições de plena carga, há um grande desperdício de energia sempre que a carga dos silos estiver fora desta faixa de operação. Em ventiladores centrífugos a vazão é diretamente proporcional à velocidade no eixo do ventilador, a pressão varia com o quadrado da velocidade e a potência desenvolvida varia com o cubo da velocidade. Assim, variando a velocidade do motor é possível controlar a vazão de ar e a pressão, permitindo o aumento da eficiência energética do conjunto motor-ventilador, adequando-o ao tipo e volume de grãos armazenados (DOLL, 1989, apud SANTOS; QUEIROZ, 2013).

Portanto, também se caracteriza por ser uma etapa que utiliza de quantidade considerável de energia elétrica.

2.8 VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

A geração de eletricidade a partir de fontes renováveis de energia tem sido um importante passo no crescimento para muitos países a nível mundial em função da maior demanda energética e também do desenvolvimento sustentável (LI; BOYLE; REYNOLDS, 2012).

Desde os anos 2000, a geração de energia pela força dos ventos tem se popularizado no mundo pelo seu custo competitivo com outros tipos de geração convencional, aprimoramento tecnológico, incentivo político e disponibilidade em praticamente todas as regiões do globo. Entretanto, para planejamento e implantação

de um sistema eólico, é necessário o conhecimento das características particulares do vento na localidade, para que assim seja possível determinar os parâmetros técnicos a serem adotados e a viabilidade econômica da instalação (AYODELE; OGUNJUYIGBE; AMUSAN, 2016).

Berry (2009) apud Souza et al. (2013) explana que o mercado de energia eólica enfrenta maiores desafios que simplesmente os relacionados com a auto sustentabilidade, redução de impactos ambientais, desenvolvimento tecnológico e redução de custos de capital. O maior desafio é tornar a tecnologia competitiva no mercado de eletricidade brasileiro.

Relacionado a isso, Garbe, Melo e Tomaselli (2011) enfatizam que 75% do custo de um projeto de energia eólica advêm dos equipamentos. Em usinas de grande porte (acima de 30 MW), por exemplo, o custo é de cerca de 4,2 milhões de reais em aerogerador, infraestrutura civil e elétrica, variando com as peculiaridades de cada empreendimento.

Se por um lado, a tecnologia de exploração da fonte eólica tem se mostrado madura o suficiente para competição do mercado de geração de eletricidade, por outro, ela ainda não é considerada uma fonte economicamente atraente. Para Dutra e Szklo (2008), o que mais tem incentivado a expansão do setor são as políticas públicas de utilização de energias renováveis e limpas, empréstimos e a redução e até isenção de impostos.

Assim, a energia eólica se apresenta como fonte de energia relativamente competitiva ao ser comparada com outras fontes como a hidrelétrica, nuclear, carvão e gás natural, não se levando em conta o custo do investimento inicial. Dentre as energias limpas, é a mais atraente economicamente (GARBE; MELO; TOMASELLI, 2011). Porém, no geral, a energia eólica e outras renováveis ainda são mais caras que outras fontes convencionais (LEUNG; CARAMANNA; MAROTO-VALER, 2014).

Em função de tantas vantagens e barreiras que apareceram no início da implementação, surgiram as políticas estratégicas de incentivo para a utilização da energia eólica, enfatizando os benefícios no sistema de geração de eletricidade, melhorias sociais, como a criação de empregos e benefícios ambientais (DUTRA E SZKLO, 2008).

Para popularizar a geração de energia pela fonte eólica as políticas incorporaram a redução das taxas para financiamento de equipamentos, investimentos públicos, empréstimos e subvenções, pois reduzem o custo (DUTRA E

SZKLO, 2008). Além disso, Nascimento, Mendonça e Cunha (2012) e Ribeiro, Pierot e Corrêa (2012) destacam que os incentivos fiscais e os leilões no Brasil, levaram à dedução de taxas e isenção de ICMS (Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) sobre o equipamento, que tem sido caracterizada como um custo fixo evitado.

Segundo Leite, Borges e Falcão (2006) apud Souza et al. (2013), em função de fatores como a capacidade competitiva, o custo dos equipamentos, os locais de instalação e a necessidade de mão de obra especializada, deve ser feita uma avaliação para aplicação de empreendimento de geração eólica. Por mais que o Brasil se destaque com o seu favorável potencial eólico, e o país esteja entre os mais favoráveis a esse tipo de exploração é extremamente necessário o estudo de viabilidade técnica e econômica porque um projeto de exploração de energia eólica pode ser atraente para um determinado local e produtor, levando-se em conta o local de instalação, o potencial eólico regional, o capital de investimento, a economia do país, o mercado competitivo e os subsídios do governo, mas pode não ser atraente para outro investidor, considerando os mesmos fatores.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

3.1.1 Caracterização da unidade beneficiadora de grãos

Cascavel possui uma área de 2.091,401 km² e localiza-se na região Oeste do Estado do Paraná (FIGURA 21), entre as latitude sul 24°57'21" e longitude oeste 53°27'19", com uma altitude média de 785 m (CASCAVEL, 2015).

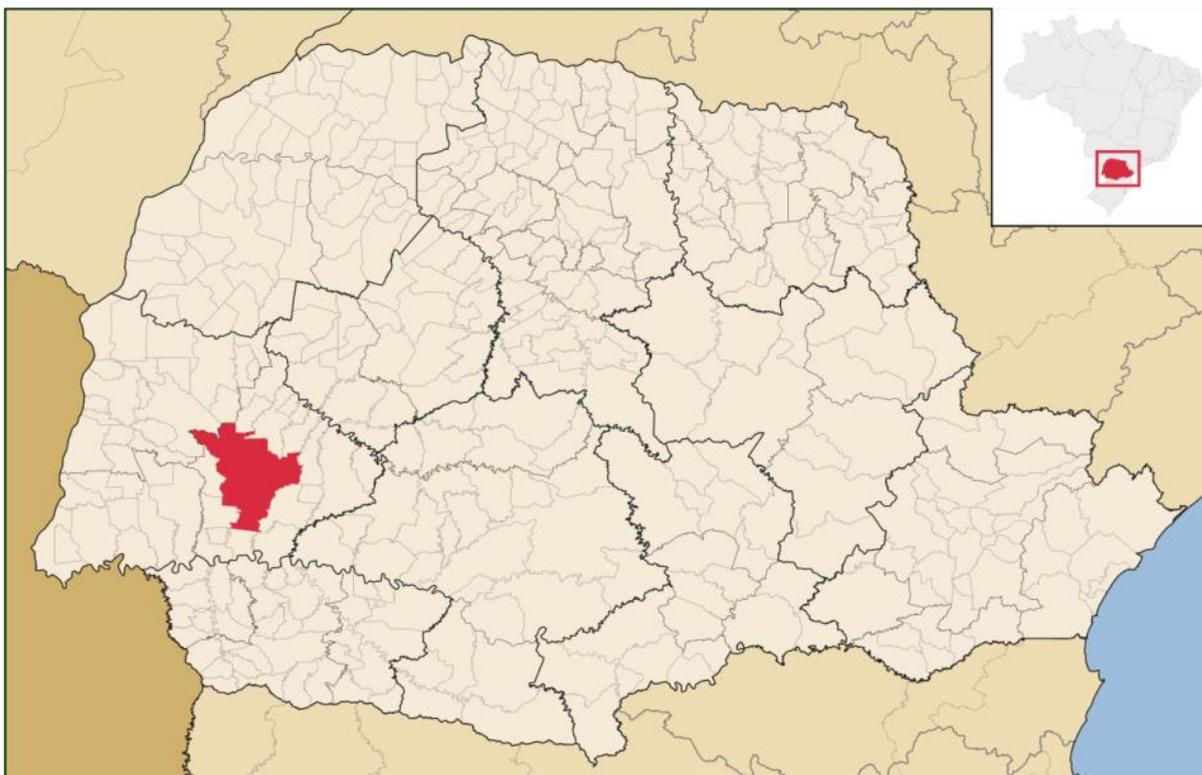


Figura 21 – Localização da cidade de Cascavel no estado do Paraná (Fonte: Google Imagens, 2015).

O estudo foi realizado em uma filial de uma agroindústria (FIGURA 22), situada na Estrada Municipal São João, sem número, no distrito de São João do Oeste, em Cascavel-PR. A filial encontra-se entre a latitude sul 24°58'15,24" e a longitude oeste 53°15'22,58", a uma altitude de 685 metros.



Figura 22 – Localização da unidade armazenadora e beneficiadora de grãos do estudo
(Fonte: Google Earth, 2016).

Trata-se de uma agroindústria de grande porte, altamente mecanizada, de grande importância econômica, que faz o beneficiamento e o armazenamento de grãos produzidos na região (FIGURA 23). O empreendimento teve suas atividades iniciadas em janeiro de 2015.



Figura 23 – Unidade armazenadora e beneficiadora de grãos.

A unidade beneficiadora de grãos apresenta uma estrutura eficiente de transporte além de ser composta por:

- Balança (Capacidade de 80 a 120 t);
- 2 silos pulmões (21.000 sc);
- Moega;
- Máquina de limpeza;
- 2 secadores (150 t/h);
- 2 silos para resíduos (11.000 sc);
- 2 caixas de carregamento (2.000 sc).

É utilizada durante o ano todo, tendo prioridade por armazenar e/ou beneficiar a safra de verão (soja) de 20 de janeiro a 20 de março; de junho a agosto o espaço é dedicado principalmente ao milho e de setembro a outubro ao trigo. Os grãos armazenados são destinados a indústrias para processamento e/ou são vendidos.

As especificações técnicas de todos os motores utilizados no processo encontram-se no Anexo A.

3.1.2 Coleta de dados

Os dados meteorológicos históricos de velocidade do vento (m/s), temperatura (°C) e pressão atmosférica (hPa) dos últimos 5 anos, de hora em hora, da cidade de Cascavel-PR foram solicitados ao Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), sendo essa a estação meteorológica mais próxima ao distrito de São João do Oeste-PR.

Além disso, foram imprescindíveis os dados das instalações e das atividades realizadas na agroindústria, que foram fornecidos pela empresa, por meio dos engenheiros agrícola e eletricista, responsáveis pela filial, mediante visitas ao local para coleta de informações e registros fotográficos, além da cópia do histórico de consumo energético do último ano de funcionamento da unidade, fornecido originalmente pela concessionária de energia local.

3.1.3 Características Técnicas da Estação Meteorológica

Os dados de velocidade do vento foram coletados na estação meteorológica de Cascavel-PR, do Instituto Tecnológico SIMEPAR, que se encontra em operação desde 1997 e está localizada na latitude sul $24^{\circ}52'59,88''$ e a longitude oeste $53^{\circ}32'60''$, a uma altitude de 719 metros (FIGURA 24).



Figura 24 – Estação meteorológica de Cascavel-PR
(Fonte: SATO, 2012).

As especificações técnicas dos aparelhos de medição encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 – Especificações técnicas dos aparelhos de medição

Equipamento	Altura de instalação (m)	Fabricante	Modelo
Anemômetro	10,00	Young	05103-11A
Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do Ar	2,00	Vaisala	HMP 110
Sensor de Pressão Atmosférica	2,00	MetOne	92

Fonte: SIMEPAR, 2016.

No caso dos anemômetros, as hélices em movimento de rotação produzem um sinal senoidal com frequência proporcional à velocidade do vento. Assim, dados são

armazenados em um *datalogger*, sendo transmitidos a cada três horas por meio de satélite GOES. A banda de mediação é de 0,0 a 60 m/s. Apesar dos anemômetros serem calibrados a cada dois meses, os mesmos apresentam um erro de 0,3 m/s (SIMEPAR, 2016).

3.2 MÉTODO

3.2.1 Método estatístico de tratamento da velocidade do vento

Com base nas informações obtidas com a empresa e com o SIMEPAR, os dados de velocidade do vento, pressão atmosférica e temperatura foram organizados em planilha eletrônica. As séries históricas foram analisadas estatisticamente.

O tratamento estatístico dos dados inicia-se pelo cálculo da velocidade média dos ventos, dos valores máximos e mínimos de velocidade, cálculo do desvio padrão e do coeficiente de variação anual. A velocidade média dos ventos, o desvio padrão e o coeficiente de variação são obtidos respectivamente pelas Equações 01, 02 e 03.

$$\bar{v} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i \quad \text{eq.01}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (V_i - \bar{v})^2} \quad \text{eq.02}$$

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{v}} \quad \text{eq.03}$$

Nas quais:

\bar{v} = velocidade média em m/s;

N = número de dados da série temporal;

V_i = representa um dado individual da velocidade em m/s;

σ = desvio padrão

CV = coeficiente de variação.

3.2.1.1 Extrapolação da velocidade do vento para diferentes alturas

Após o tratamento estatístico da velocidade do vento para 10 metros de altura, os dados foram extrapolados para 30 metros de altura de instalação de turbinas. Para realização dessa etapa foi utilizada a Lei de Hellmann (EQUAÇÃO 04) que determina a velocidade de vento para um perfil vertical. Adotou-se grau de rugosidade 0,19, típico para zonas rústicas (plantações) (SCHUMANN, 2014), conforme indicado no Quadro 2, por ser essa a característica do local onde se encontra a filial. De posse desses resultados, foram desenvolvidos o histograma e a distribuição de Weibull.

$$V_h = V_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^\alpha \quad \text{eq. 04}$$

Na qual:

V_h = velocidade do vento à altura “h”, em m/s;

V_{10} = velocidade do vento à altura de 10m, em m/s;

α = expoente de Hellmann em função da rugosidade do terreno.

Quadro 2 – Valores de expoente de rugosidade

VALORES APROXIMADOS PARA COMPRIMENTO DE RUGOSIDADE E PARA O EXPOENTE DE POTÊNCIA EM ALGUNS TERRENOS TÍPICOS		
TERRENO	Z_0	α
Subúrbios	1,500	0,32
Plantações	0,050	0,19
Campos	0,030	0,13
Áreas com neve	0,003	0,10

(Fonte: Rohatgi e Nelson, 2004, apud Schumann, 2014).

3.2.1.2 Histograma de frequência e Distribuição de Weibull

A velocidade média dos ventos observados em um período pode ser representada de forma gráfica, a partir de histogramas de frequências, ou por outra representação gráfica, frequentemente utilizada em aplicações visando o aproveitamento da energia eólica, conhecida como Função Densidade de

Probabilidade Weibull. Essa distribuição descreve o fluxo variável de velocidade do vento em uma determinada área, com a finalidade de traçar um prognóstico em longo prazo do potencial de produção de eletricidade durante a vida útil do aerogerador. Maior será a confiabilidade da curva quanto maior for a série histórica de dados (PRADO, 2009).

Sendo assim, com base nos dados resultantes do tratamento estatístico foi elaborado um histograma de frequência dos ventos. Com base nesse gráfico é possível visualizar qual a faixa de velocidade em que o vento ocorreu com maior frequência e como se caracteriza a sua intensidade dentro da série histórica.

Na sequência está a equação de determinação da Função Densidade de Probabilidade Weibull (EQUAÇÃO 05), sendo necessário o conhecimento da velocidade média dos ventos e o desvio padrão da amostra (SILVA; GUEDES; ARAÚJO, 1999).

$$P(V) = \frac{k}{V} \cdot \frac{V^{k-1}}{C} \cdot \exp\left(-\frac{V^k}{C}\right) \quad \text{eq.05}$$

Na qual:

$P(V)$ = frequência de ocorrência de velocidade do vento;

V = velocidade horizontal estável do vento livre em m/s;

C = fator de escala de Weibull empírico em m/s, com valores próximos da velocidade média;

k = fator de forma de Weibull empírico adimensional, se caracteriza pela assimetria da função da probabilidade.

Os parâmetros de escala (C) e forma (k) são determinados com base nas equações 06 e 07.

$$k = \left(\frac{\sigma}{V_m}\right)^{-1,086} \quad \text{eq.06}$$

$$C = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} \bar{V} \cong 1,128 \bar{V} \quad \text{eq.07}$$

Nas quais:

k = fator de forma adimensional;

σ = desvio padrão;

V_m = velocidade máxima em m/s;

$\pi = 3,1415$;

C = fator de escala em m/s;

\bar{v} = velocidade média em m/s.

A curva da função densidade e probabilidade Weibull foi desenvolvida por meio de uma rotina de cálculo no MATLAB R2013b, no Laboratório de Energia – LENE, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, campus Cascavel. Também foi determinada por meio da rotina, a curva de potência do gerador eólico e a potência média do mesmo.

A Figura 25 é um exemplo da distribuição de Weibull e frequências de velocidade do vento, para valores de $C=7,89$ e $k=2$. Observando a distribuição fica evidente que o formato assimétrico à direita indica que são mais recorrentes as brisas e calmarias que os vendavais e ventos fortes. O asterisco vermelho indica que a velocidade média é de 6,9 m/s. A mediana representa que metade do tempo o vento sopra a uma velocidade acima de 6,7 m/s e na outra metade a velocidade é menor que esse valor. Por fim, o valor modal de 5,6 m/s (asterisco amarelo) indica que o vento possui essa velocidade a maior parte do tempo (AMÊNDOLA, 2007).

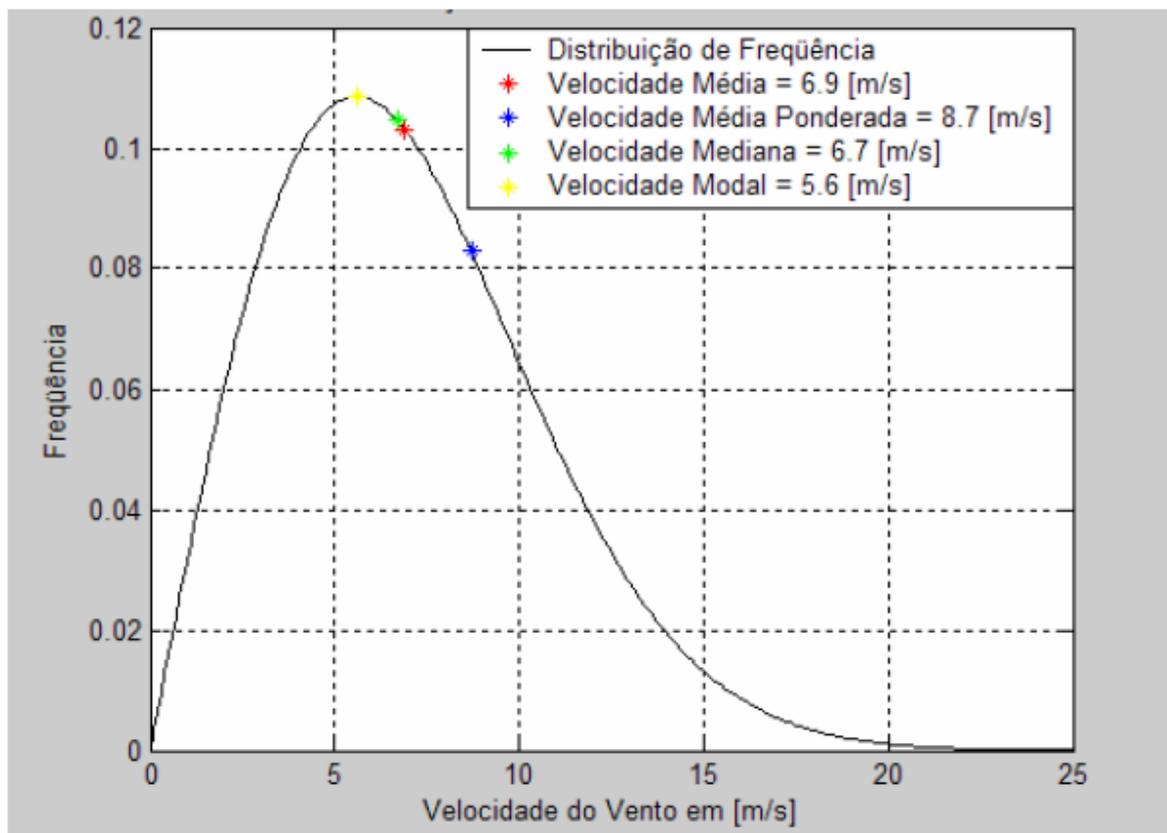


Figura 25 – Exemplo de distribuição de Weibull
(Fonte: Amêndola, 2007).

3.2.2 Análise de viabilidade técnica

Com base no histograma de frequência, na curva de Weibull e no gráfico de consumo energético do último ano da unidade, os dados foram confrontados e foi feita a análise das curvas de potência dos aerogeradores homologados pela concessionária local (COPEL) que poderiam satisfazer as necessidades energéticas da edificação, de forma a atender o consumo anual com um percentual menor que 100%, para compensar a parcela que deve ser paga obrigatoriamente à concessionária e os créditos gerados nos meses em que o consumo for menor que a geração, por se tratar de uma edificação agroindustrial que se enquadra no grupo A, sistema de tarifação Horossazonal, tarifa verde.

3.2.3 Estimativa de Custos

Por meio de pesquisa de mercado nos meses de setembro a novembro de 2016, foram obtidos orçamentos de diferentes fornecedores, para modelos de turbinas eólicas com inversores homologados pela concessionária local. Apresentar-se-á somente a estimativa com menor custo fixo para fins de cálculo de viabilidade econômica da implantação da solução.

Os custos de instalação completa, operação e manutenção foram repassados pela empresa fornecedora, assim como também a expectativa de vida e o tempo de garantia de todo o equipamento.

3.2.4 Análise de viabilidade econômica

A análise de viabilidade de investimentos em projetos permite identificar a alternativa mais interessante, além de especificar se é ou não justificável investir em determinado projeto. Essa análise baseia-se no valor do projeto em comparação com os benefícios gerados em relação ao capital investido e aos custos decorrentes no horizonte de planejamento ou vida útil do projeto (WATTS JUNIOR; CHAPMAN, 2003).

Segundo Watts Junior e Chapman (2003), os métodos para análise de viabilidade de investimentos são processos quantitativos, por meio dos quais se determinam as alternativas factíveis ou ótimas para aplicação, ordenando-as hierarquicamente, de acordo com o desejado do ponto de vista econômico, possibilitando a escolha da melhor estratégia.

Para a elaboração da análise foram utilizadas a vida útil do equipamento e o fluxo de caixa característico (custos totais de investimento e receitas geradas pelo projeto), elaborado com base nas pesquisas de mercado e nos custos levantados.

Dentre os métodos disponíveis para análise de investimento, optou-se por utilizar os métodos do Valor Presente Líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR) e do Prazo de Retorno Descontado (*Pay-back* Descontado). A escolha desses três tipos de métodos se dá pelo fato de cada um envolver um tipo de indicador financeiro, e por ter suas peculiaridades, vantagens e desvantagens, podendo dessa forma, caracterizar cada opção de investimento por diferentes pontos de vista.

3.2.4.1 Método do Valor Presente Líquido

O Valor Presente Líquido (VPL) de um projeto de investimento corresponde à diferença entre o valor presente das receitas e o valor presente dos custos. Ou seja, em um fluxo de caixa, é a diferença entre o valor investido e o valor resgatado ao fim do investimento, trazidos ao valor presente (SILVA; FONTES, 2005).

O VPL é calculado com base na Equação 08. Caso resulte positivo, a alternativa é viável economicamente. Se o VPL for zero significa que é indiferente realizar o investimento. Porém, se o VPL for negativo significa não se deve realizar a aplicação, pois haverá prejuízo para o investidor.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad \text{eq.08}$$

Na qual:

FC = fluxo de caixa no período t;

t = enésimo período no tempo em que o dinheiro será investido no projeto (inicia em 1, quando há efetivamente o primeiro fluxo de caixa);

n = número de períodos t;

i = taxa de juros.

3.2.4.2 Método da Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa que relaciona o valor investido com o valor resgatado ao fim do investimento. Com ela procura-se determinar uma única taxa de retorno, dependente exclusivamente dos fluxos de caixa do investimento, que sintetize os méritos de um projeto. Ou seja, é a taxa de desconto para a qual tem-se $VPL = 0$. Para comparação, utiliza-se a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) que varia de acordo com as condições de mercado para cada tipo de empreendimento, variando no tempo (ROSS; WESTERFIELD; JORDAN, 1998, apud SANTOS; VENDITE, 2016).

A TMA é uma taxa de juros, que ao se fazer um investimento, o investidor espera um retorno pelo menos igual a essa taxa. Portanto:

- Se $TIR > TMA$: o investimento é vantajoso (deve ser aceito);

- Se $TIR = TMA$: é indiferente investir;
- Se $TIR < TMA$: o investimento deve ser recusado.

3.2.4.3 Método do Prazo de Retorno Descontado (*Pay-back* Descontado)

O *Pay-back* Descontado determina o período de tempo exato necessário para a empresa recuperar o investimento inicial de um projeto, a partir das entradas de caixa, considerando o valor do dinheiro no tempo. De forma geral, quanto mais alongado o prazo de retorno do investimento, menos interessante ele se torna para o investidor. Caso o *pay-back* do projeto (retorno) for inferior ao *pay-back* máximo aceitável, o projeto se mostra vantajoso para o investidor (ARAÚJO, 2010).

Esse valor foi determinado com base em planilha de cálculo, comparando-se o resultado com a vida útil do equipamento.

Para verificação direta do tempo de retorno do investimento, pode ser utilizada a Equação 09 (ELETROBRÁS, 2008). Para que o investimento seja viável, o prazo de retorno deve ser inferior à vida útil das turbinas e maior que zero.

$$PBD = \frac{\ln \frac{I \cdot i}{A}}{\ln(1+i)} \quad \text{eq.09}$$

Na qual:

n = tempo de retorno;

I = investimento realizado;

A = economia proporcionada;

i = taxa de juros.

3.3 COMPARATIVO ECONÔMICO DE CUSTOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS PARA A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO EÓLICA

Segundo a Agência Internacional para as Energia Renováveis – IRENA (2016), por mais que os custos de instalação, materiais, mão de obra e engenharia civil oscilem, em alguns países a geração eólica *onshore* é competitiva em relação às centrais elétricas convencionais no quesito custo. O custo total de capital inclui os

custos da turbina eólica, os custos de ligação à rede, custos de construção, entre outros, conforme os percentuais indicados no Quadro 3.

Quadro 3 – Custo de capital para sistemas de energia eólica *onshore*

CUSTO (%)	ONSHORE
Turbina Eólica	64 a 84
Conexão à Rede	9 a 14
Construção	4 a 10
Outros	4 a 10
Custo Capital (USD/kW)	1.280,00 – 2.290,00

(Fonte: IRENA, 2016 (Adaptado))

A publicação ainda fornece a informação de que em 2014, os custos preliminares com turbinas eólicas foram em média de R\$1.460,00/kW na China, enquanto nos Estados Unidos o valor variou de R\$2.010,00/kW a R\$ 2.536,00/kW.

Os custos de conexão à rede variam de acordo com as especificidades do local de instalação. A fundação corresponde ao maior percentual dos custos de construção. Já os demais custos incluem custos de desenvolvimento de engenharia, licenciamento, consultorias e taxas (IRENA, 2016).

Com base nisso, foi realizada a conversão dos dados estrangeiros para a moeda corrente brasileira e a correção segundo a taxa de inflação acumulada de 2014 à 2016, para que os valores pudessem ser comparados com os custos obtidos para implantação do sistema de geração eólica para a referida unidade armazenadora e beneficiadora de grãos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos para o município de Cascavel-PR foram fornecidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). Conforme esses dados, a média anual diária da velocidade do vento no local, na altura de 10 metros, foi de 4,12 m/s, a temperatura média anual diária foi de 20,4 °C e a pressão atmosférica de 937,81 hPa, considerando-se os últimos 5 anos de medições no intervalo de 01/01/2011 a 20/09/2016, totalizando aproximadamente 100.000 variáveis.

4.2 TRATAMENTO DA VELOCIDADE DO VENTO

De posse dos dados de velocidade do vento, foi realizado o cálculo da velocidade média dos ventos, dos valores máximos e mínimos de velocidade, cálculo do desvio padrão e do coeficiente de variação anual. Esses valores foram calculados para 10 metros de altura e extrapolados para 30 metros, como apresentado no Apêndice A.

Foi escolhida a altura de 30 metros, para manter a padronização de utilização de torre de concreto para orçamento.

Os dados dos meses de outubro, novembro e dezembro de 2016 não constam no quadro, pois realizou-se a solicitação ao SIMPEAR no início de outubro, recebendo-se somente os dados coletados até o dia 20 de setembro.

4.3 CORREÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO PARA A ALTURA DE INSTALAÇÃO DA TURBINA EÓLICA

No Quadro 4 é possível observar que a velocidade do vento em Cascavel-PR, tanto para 10 quanto para 30 metros de altura, supera 3 m/s. Krauter (2005) afirma que a conversão do recurso eólico em eletricidade é viável apenas com ventos com velocidades acima de 2,75 m/s.

Quadro 4 – Estatística descritiva da velocidade do vento em Cascavel-PR

ALTURA	10 metros	30 metros
Velocidade Média (m/s)	4,12	5,08
Velocidade Máxima (m/s)	13,18	16,23
Velocidade Mínima (m/s)	0,00	0,00
Desvio padrão	1,85	2,28
Coefficiente de variação (%)	44,89	44,89

O coeficiente de variação fica em torno de 45%, sendo um valor comumente encontrado na literatura que descreve séries históricas de ventos, como na análise de Sato no ano de 2015. Santos et al. (2009) também obtiveram valor equivalente ao verificar o coeficiente de variação mensal dos ventos no campus da Faculdade Assis Gurgacz em Cascavel-PR.

A velocidade média de 4,12 m/s se assemelha à média obtida por Sato (2015). Para 10 metros de altura, a autora obteve uma média de velocidade de vento em Cascavel-PR de 4,03 m/s, com base em medições de 01/01/2008 a 01/01/2012, fornecidas pelo SIMEPAR. O autor Munemori Junior (2004), com base em uma série de dados fornecida pelo Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, de 1976 à 1998, obteve valor próximo ao dessa pesquisa, totalizando velocidade média de vento para o período de 3,85 m/s a 10 metros de altura.

Assim como observado por Sato (2015), as velocidades mais ocorrentes de vento a 10 metros de altura ficaram entre 3 e 5,9 m/s (FIGURA 26), enquanto para Munemori Junior (2004) as velocidades mais ocorrentes ficaram entre 3 e 4,9 m/s.

Para a altura de 30 metros, constatou-se que a faixa de frequência de maior ocorrência foi entre 4,0 e 5,9 m/s (FIGURA 27). Esses valores são condizentes com os valores informados no Atlas do Potencial Eólico do Paraná (2007), representando a 50 m uma velocidade equivalente a 5 m/s e a 75 m e 100 m variando entre 6,5 m/s e 7,0 m/s para Cascavel-PR.

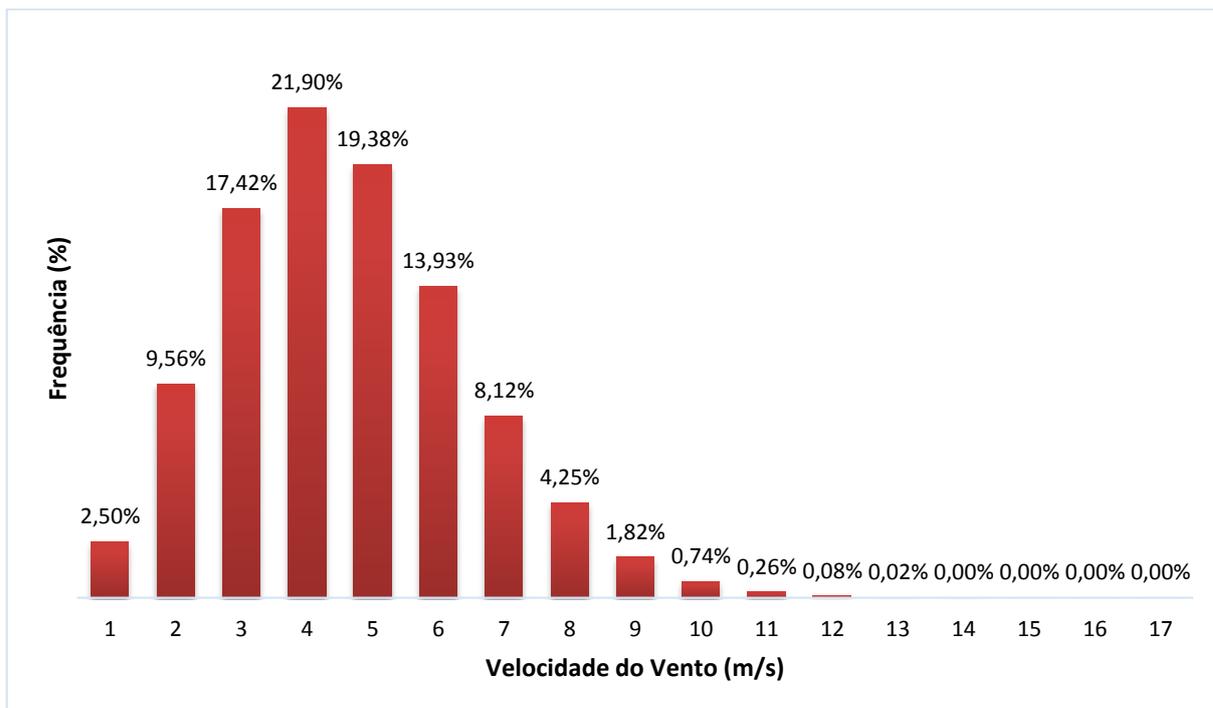


Figura 26 – Histograma Frequência de velocidades do vento em Cascavel-PR a 10 metros de altura.

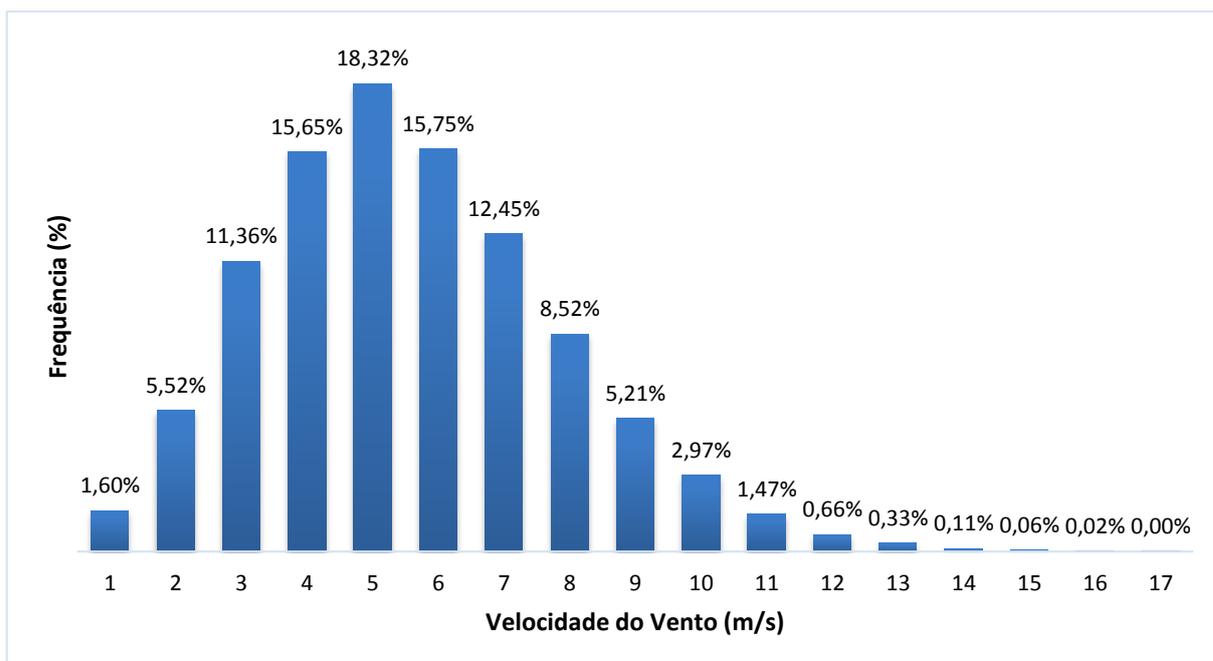


Figura 27 – Histograma Frequência de velocidades do vento em Cascavel-PR a 30 metros de altura.

4.4 DEFINIÇÃO DA TURBINA EÓLICA

Por meio de informações dos fornecedores, verificou-se que a maioria deles se baseia na velocidade média de ventos a determinada altura para definir a turbina a ser utilizada. Em função disso, foram solicitadas várias opções de turbinas eólicas com inversores homologados pela concessionária de energia local (COPEL) e os respectivos orçamentos para 30 metros de altura.

Assim, com base nos custos de cada turbina, optou-se pelo orçamento com menor custo fixo, correspondendo a uma turbina de duas pás, com torre e os custos relativos à instalação da mesma. A turbina escolhida foi a WES 80 de duas pás, fabricada na Holanda pela Wind Energy Solutions BV.

Essa turbina caracteriza-se por ser um equipamento de médio porte, com diâmetro de rotor de 18 metros, que segundo o fornecedor, é homologado pela COPEL e gera em torno de 10.800 kWh por mês a uma velocidade de 5,4 m/s, apresentando 80 kW de potência e produção energética conforme ilustrado na Figura 28. O sistema vem pronto para conexão à rede e apresenta uma expectativa de vida de 20 anos (ANEXO B).

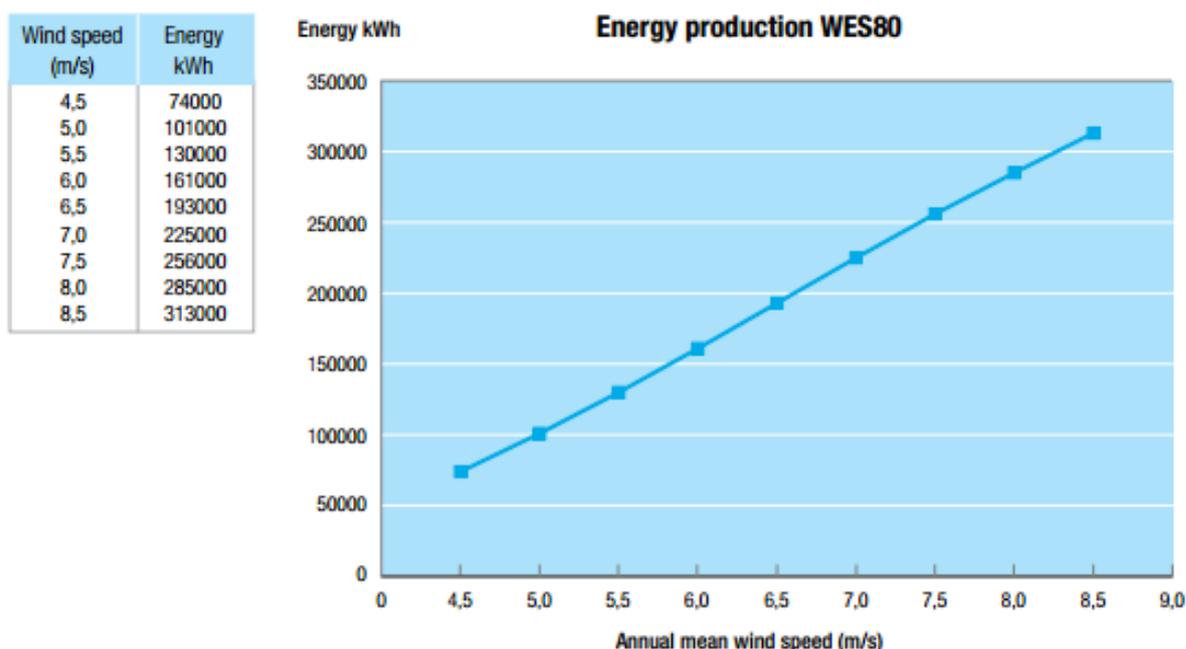


Figura 28 – Curva de produção energética da turbina WES 80
(Fonte: Energia Pura, 2014).

4.5 CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

4.5.1 Parâmetros de Forma e Escala

Com base nas Equações 06 e 07, determinaram-se os parâmetros de Forma e Escala de Weibull (QUADRO 5).

Quadro 5 – Parâmetros de k e C para Cascavel em diferentes alturas

Coefficientes	10 m	30 m
Fator de Forma (k)	2,39	2,39
Fator de Escala (C)	4,65	5,73

Os valores de k e C de Weibull encontrados para os dados de 2011 a 2016 se assemelharam aos parâmetros encontrados por Sato em 2015 para os anos de 2008 à 2012. Exemplificando, para altura de 10 metros, a autora encontrou fator de forma (k) igual a 2,33 e fator de escala (C) igual a 4,55, valores esses muito próximos aos 2,39 e 4,65 encontrados nessa análise. O valor do fator de escala também foi análogo ao valor de 4,38 obtido por Munemori Junior (2004) para velocidades de vento a 10 metros de altura.

Para Alé e Pereira (2002) apud Sato (2015), os valores de k acima de 2 caracterizam um local de regime de ventos de baixa turbulência e intensos, sendo regularmente ventos em grandes altitudes e considerados bons para o aproveitamento do recurso eólico.

Por sua vez, o fator de escala (C) será maior, quanto maior a velocidade média registrada. Por isso, para uma velocidade média de 4,12 m/s a 10 metros de altura, o fator de escala corresponde a 4,65, enquanto para 30 metros (5,08 m/s) corresponde a 5,73.

4.5.2 Curva de Distribuição de Weibull para velocidade do vento a 30 metros de altura

Utilizando-se dos dados da turbina escolhida previamente (FIGURA 28), os dados de entrada na rotina de cálculo no *software* MATLAB R2013b foram potência do aerogerador (80 kW), velocidade inicial (3,0 m/s), velocidade nominal (13,0 m/s) e

velocidade final (25,0 m/s) e os dados das medições horárias de velocidade de vento a 30 metros de altura (m/s) de 01 de janeiro de 2011 a 20 de setembro de 2016.

A resposta da rotina é a curva de potência do gerador eólico, apresentada na Figura 29, a curva da função densidade e probabilidade de Weibull e a potência média da turbina de 6,71 kW para a referida situação (FIGURA 30).

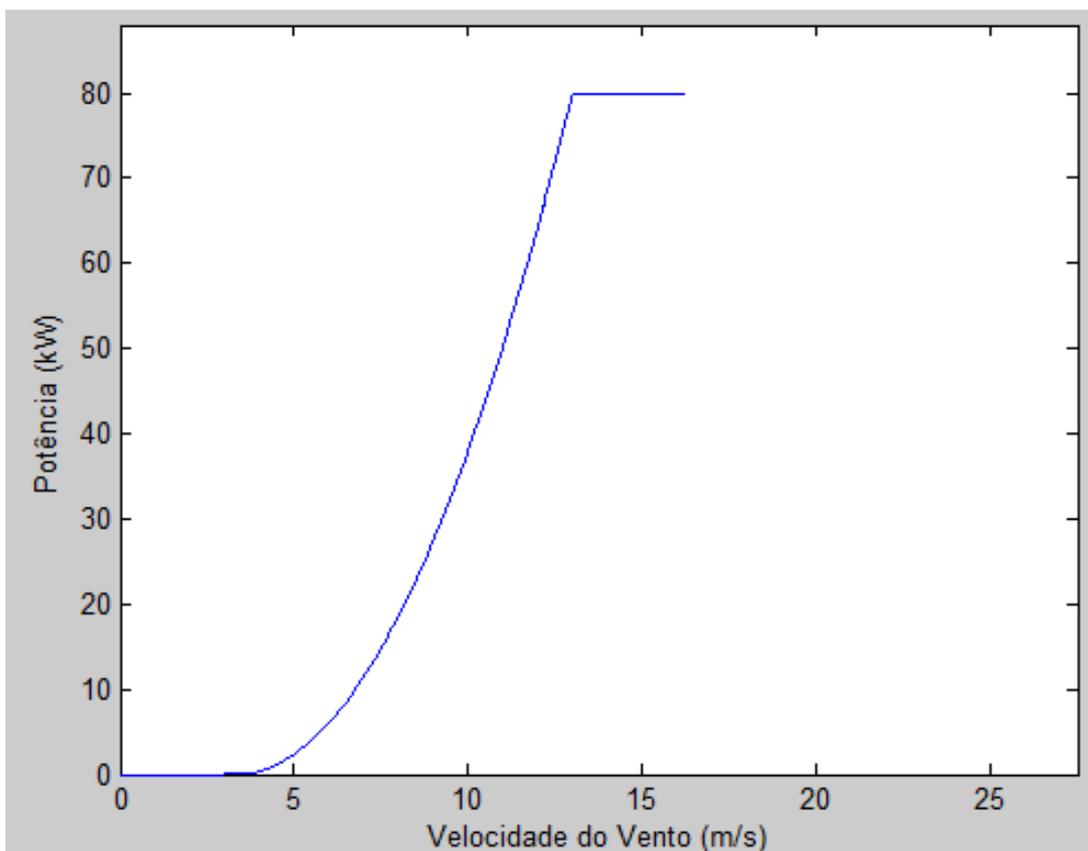


Figura 29 – Curva de potência do gerador eólico.

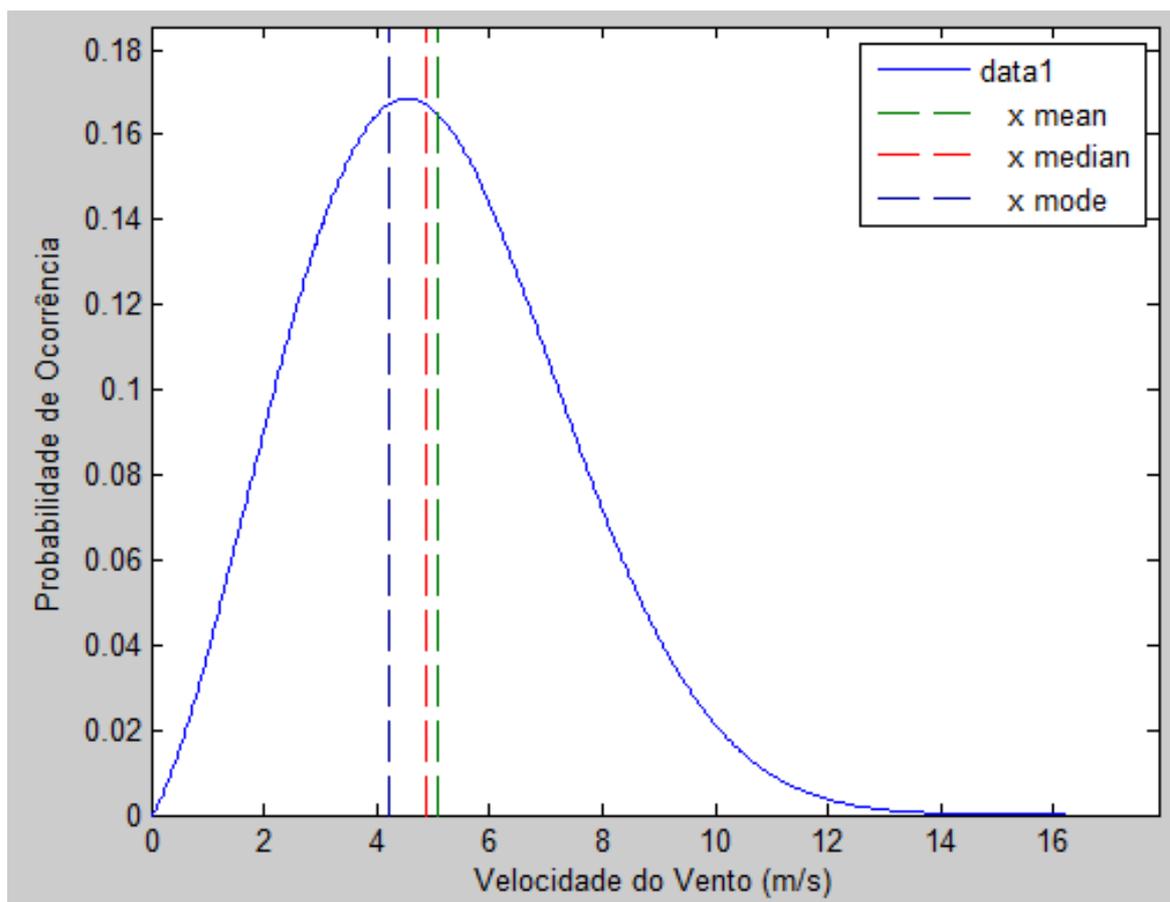


Figura 30 – Função densidade de probabilidade de Weibull para Cascavel-PR.

A Figura 30 representa uma distribuição de probabilidade de ocorrência de ventos a 30 metros de altura. A área abaixo da curva equivale a 1 e a probabilidade de que o vento sopra a qualquer velocidade incluindo o zero é igual a 100%. A linha tracejada vermelha está a 4,87 m/s e corresponde à mediana, ou seja, metade da área da curva. Isso significa que na metade do tempo o vento sopra a mais de 4,87 m/s.

A velocidade média do vento corresponde a 5,08 m/s, sendo representada pela linha tracejada verde, correspondendo à média das observações da velocidade no período.

A moda (linha tracejada azul) corresponde ao valor modal da distribuição, que indica que o valor mais comum de velocidade de vento para o local no período considerado foi de 4,22 m/s.

Observa-se que, como a velocidade de partida da turbina é de 3 m/s, todos os valores de velocidade de vento inferiores não contribuem para a geração de energia elétrica. Portanto, na curva de Weibull perde-se toda a área correspondente a ventos de velocidade inferior a de partida, resultando em aproximadamente 20% do tempo

sem geração de energia elétrica. Além disso, com base na velocidade média de 5,08 m/s verificada para a região, o gerador apresenta potência de 6,71 kW, passando a ter uma potência constante e equivalente a 80 kW somente a uma velocidade de 13,0 m/s, característica de ventos que praticamente não ocorrem na região (probabilidade de ocorrência praticamente igual a zero).

4.6 ANÁLISE GERAL DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE GERAÇÃO EÓLICA PARA A UNIDADE ARMAZENADORA DE GRÃOS

De posse da conta de energia da unidade armazenadora de grãos (APÊNDICE B), fornecida pela empresa por meio de cópia do documento da concessionária COPEL, verifica-se um consumo médio total de 221.595 kWh por ano. Esse valor dividido por 8760 horas/ano equivale a uma demanda de aproximadamente 25,29 kW. Para a velocidade média de ventos na região e para a turbina considerada a potência média é de 6,71 kW, como demonstrado anteriormente. Portanto, dividindo-se a potência necessária pela potência média tem-se a quantidade de turbinas necessárias para atender a demanda, totalizando, então, 3,77, ou seja, 4 turbinas.

Considerou-se que para atender a demanda de energia da unidade armazenadora de grãos, tendo em vista a conexão do sistema à rede elétrica da concessionária local e as determinações estabelecidas na resolução nº 687/2015 – ANEEL, a quantidade de turbinas necessárias para atender aproximadamente 80% desta demanda, será 3 turbinas eólicas, que irão corresponder a 20,14 kW de potência gerada. Isso se justifica pelo fato do consumidor gerar créditos nos meses de menor utilização energética para serem compensados nos meses que necessitam de maior demanda, tendo um prazo de até 60 meses para que os créditos expirem.

4.7 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA DE GERAÇÃO EÓLICA PARA A UNIDADE ARMAZENADORA DE GRÃOS

Para fins de cálculo de viabilidade econômica, foram obtidos diferentes orçamentos com diferentes fornecedores, optando-se pela estimativa de menor custo obtida na pesquisa de mercado para turbinas com torres de 30 metros de altura. Segundo o fornecedor, turbinas de grande porte têm custos elevados em relação a

turbinas menores, que são repassados do fabricante, havendo ainda a inclusão dos impostos. A seguir estão listados os dados da turbina selecionada:

- Turbina WES 80 instalada (unidade) – R\$ 2.050.000,00;
- Vida útil – 20 anos;
- Custo de operação e manutenção – 1% do valor do equipamento instalado ao ano (R\$ 20.500,00 por turbina);
- Garantia – 12 anos.

Para tanto, considerando-se a instalação de 3 turbinas WES 80 para atender a aproximadamente 80% (176.436,04 kW) da demanda energética da edificação, tem-se um investimento inicial total igual a R\$6.150.000,00. A cada ano ainda será gasto o equivalente a R\$ 61.500,00 com a manutenção dos equipamentos. Como retorno, anualmente haverá economia de R\$143.516,61 correspondentes aos 79,62% da energia que é gerada pelo sistema eólico e deixa de ser utilizada da concessionária local, resultando em um valor de retorno positivo anual de R\$82.016,61. A Figura 31 ilustra o fluxo de caixa com o resumo dos valores investidos e de retorno que seriam obtidos até o final dos 20 anos de vida útil da instalação. A planilha de cálculo encontra-se do Apêndice C.

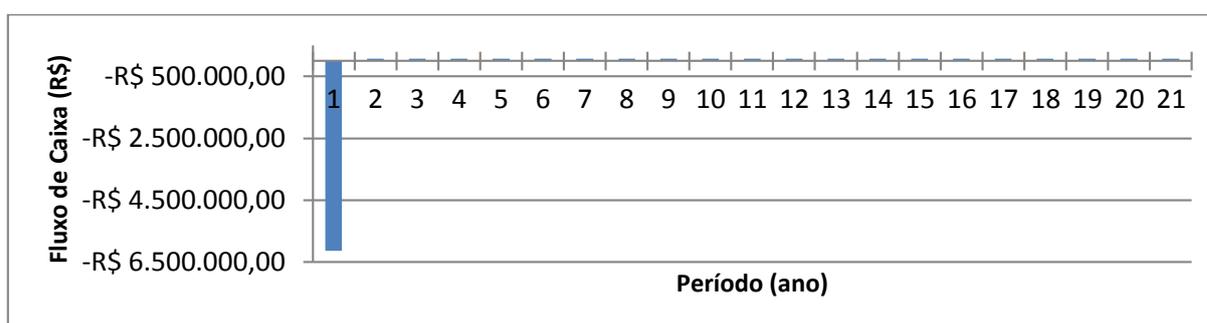


Figura 31 – Fluxo de caixa do investimento.

4.7.1 Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno para a instalação das três turbinas eólicas

Utilizando-se da fórmula do Valor Presente Líquido (VPL) do *software* Excel, todos os valores investidos e receitas (APÊNDICE C) são levados ao instante zero, sendo possível verificar que o valor investido ao longo dos 20 anos será negativo,

indicando que haverá prejuízo ao investidor se optar pelo sistema eólico (QUADRO 6).

Quadro 6 – Resumo VPL e TIR (Taxa de desconto 10% a.a.)

MÉTODO	VALOR	ANÁLISE	CONCLUSÃO
VPL	-R\$ 5.405.531,93	< 0	Não é viável investir
TIR	-7,12%	< TMA	Não é viável investir

Analisando-se a situação pelo método da Taxa Interna de Retorno, verifica-se qual é a taxa de retorno necessária para levar o valor final do investimento ao valor presente. Nesse caso, para o referido fluxo de caixa, encontrou-se uma TIR igual a -7,12%, sendo inferior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA), equivalente a 10%, adotada com base nas condições de mercado. Portanto, pela TIR, o investimento também deve ser recusado (QUADRO 6).

4.7.2 Análise do investimento pelo *Pay-back* Descontado

Para análise do investimento pelo *Pay-back* Descontado, verifica-se na planilha de cálculo do Apêndice C a coluna “Período”, referente à vida útil do equipamento; “Investimentos” referem-se à compra e instalação de 3 turbinas WES 80 no instante 0 e os 20 anos de vida útil nos quais será paga a taxa de operação e manutenção. A coluna “Fluxo de Caixa” armazena os valores resultantes da diferença do total anual investido e retornado.

Para se determinar o prazo de retorno descontado, todos os valores do fluxo de caixa devem ser levados ao valor presente, utilizando-se da taxa de juros de 10% ao ano, verificando-se assim, o valor do dinheiro no tempo.

Observa-se no Quadro 7 um trecho retirado da planilha auxiliar referente à coluna “Fluxo de Caixa Acumulado”, indicando que em 20 anos não há um valor positivo, implicando que, o investimento não se pagará nesse período.

Quadro 7 – Fluxo de caixa acumulado (*Pay-Back* Descontado)

Período	F. C. D. Acum.
0	-R\$ 6.150.000,00
1	-R\$ 6.075.439,44
2	-R\$ 6.007.657,12
3	-R\$ 5.946.036,82
4	-R\$ 5.890.018,37
5	-R\$ 5.839.092,51
6	-R\$ 5.792.796,27
7	-R\$ 5.750.708,78
8	-R\$ 5.712.447,43
9	-R\$ 5.677.664,38
10	-R\$ 5.646.043,42
11	-R\$ 5.617.297,10
12	-R\$ 5.591.164,08
13	-R\$ 5.567.406,79
14	-R\$ 5.545.809,25
15	-R\$ 5.526.175,13
16	-R\$ 5.508.325,92
17	-R\$ 5.492.099,37
18	-R\$ 5.477.347,96
19	-R\$ 5.463.937,59
20	-R\$ 5.451.746,34

Conferindo-se esse resultado por meio da equação de *Pay-back* Descontado (EQUAÇÃO 07) que fornece o tempo de retorno do investimento, obtém-se um valor negativo, determinando que o *Pay-back* é inexistente, ou seja, o investimento nunca será pago.

Analisando de um modo mais amplo, verifica-se que ao final de 20 anos as turbinas ainda não teriam sido pagas e já haveria a necessidade de troca desses equipamentos em função da vida útil do sistema, aumentando ainda mais a dívida do investidor.

Isso pode estar relacionado ao que Garbe, Melo e Tomaselli constataram em 2011. Em torno de 75% do custo de um projeto de energia eólica advêm dos equipamentos. Uma das expectativas para que o investimento em sistemas eólicos se torne mais atraente economicamente seria a massificação da tecnologia, o aumento no número de empresas fornecedoras de equipamentos eólicos e o aumento dos incentivos fiscais, levando à redução nos custos.

4.8 COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DE CAPITAL DO SISTEMA DE GERAÇÃO EÓLICA COM SISTEMAS INTERNACIONAIS

Realizando-se a conversão dos custos estrangeiros do Quadro 3 para a situação brasileira em relação a taxa de inflação acumulada de janeiro de 2014 à dezembro de 2016, foram obtidos os custos representados no Quadro 8.

Quadro 8 – Custos convertidos e corrigidos de acordo com o IPCA-IBGE

CUSTO CORRIGIDO - IPCA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIO
Custo Capital (USD/kW)	1.280,00	2.290,00	1.785,00
Custo Capital (R\$/kW) (2014)	2.764,80	4.946,40	3.855,60
Custo Capital (R\$/kW) (2016)	3.473,10	6.213,59	4.843,34
Índice de correção no período (jan/2014 - dez/2016)*			1,25618

*Fonte: Calculadora do Cidadão - Banco Central do Brasil

Relacionando-se os percentuais do Quadro 3 com os dados da turbina escolhida no desenvolver desse estudo (WES 80), verifica-se que, o custo total para a implantação do sistema com base em custos de capital nacionais resultariam nos valores do Quadro 9.

Quadro 9 – Custo de capital para o sistema de energia eólica adotado para a unidade do estudo, com base na pesquisa da IRENA

ITEM	CUSTO (%)	VALOR (R\$)
Turbina Eólica	64 a 84	3.936.000,00 - 5.166.000,00
Conexão à Rede	9 a 14	553.500,00 - 861.000,00
Construção	4 a 10	264.000,00 - 615.000,00
Outros	4 a 10	264.000,00 - 615.000,00
Custo Capital (R\$/kW)	R\$ 25.625,00	

Assim, verifica-se que para implantação do sistema eólico para obtenção de energia, com base nos valores correntes no Brasil, há um custo de capital de R\$25.625,00/kW, demonstrando que a tecnologia não é competitiva ao ser comparada com os custos correntes em outros países (R\$3.473,10/kW – R\$4.843,34/kW), apresentando uma variação de cerca de 529%.

Utilizando-se do valor máximo americano de R\$2.536,00/kW para custo de turbina, informado na pesquisa para o ano de 2014, corrigido para dezembro de 2016, com base no IPCA (R\$3.185,68/kW), o custo de compra de 3 turbinas WES 80 seria de R\$764.563,65, se elas fossem importadas dos Estados Unidos. Por outro lado, se

as mesmas turbinas selecionadas para o sistema de geração eólica fossem provenientes da China (R\$1.460,00/kW), o custo total do investimento na compra dos equipamentos seria de R\$440.166,77. Assim, o custo americano corresponderia a 14,80% do custo brasileiro. Já o custo chinês chegaria a 8,52% do custo de compra no Brasil.

4.9 CENÁRIO IDEAL DE INVESTIMENTO

Por meio de simulação de cenário ideal para investimento, considerando-se Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 10% ao ano, para que o investimento fosse pago e houvesse retorno ao investidor, seria necessário que cada turbina tivesse um custo inicial igual ou inferior a R\$375.000,00. Dessa maneira, haveria retorno positivo a partir do 20º ano (APÊNDICE D).

Variando-se a taxa de juros de 10% ao ano a 15% ao ano, o custo por turbina varia de R\$375.000,00 à R\$280.000,00, respectivamente (QUADRO 10). Para o valor médio de R\$312.000,00 por turbina, com base no fluxo de caixa, ter-se-ia o custo de capital de aproximadamente R\$4.680,00/kW, valor esse, que atenderia aos custos sugeridos na pesquisa da IRENA, publicada em 2016.

Quadro 10 – Custo por turbina com base na taxa de juros

JUROS	INVESTIMENTO INICIAL	CUSTO POR TURBINA
10% a.a.	R\$ 1.125.000,00	R\$ 375.000,00
13% a.a.	R\$ 936.000,00	R\$ 312.000,00
15% a.a.	R\$ 840.000,00	R\$ 280.000,00

5 CONCLUSÕES

Os dados trabalhados no início dessa pesquisa sugerem que Cascavel-PR tem um bom potencial eólico a ser aproveitado, ficando as velocidades mais ocorrentes a 30 metros de altura entre 4,0 e 5,9 m/s para as medições de Janeiro de 2011 à Setembro de 2016. Extrapolando-se a velocidade média de 5,08 m/s a 30 metros de altura para 50 metros tem-se o equivalente a 6,89 m/s, superando a velocidade de 5 m/s indicada no Atlas do Potencial Eólico do Paraná no ano de 2007. De 75 m a 100 m de altura, o atlas indica que a velocidade varia de 6,5 a 7,0 m/s. Com base nos dados da pesquisa foram obtidas as velocidades médias de 7,45 m/s e 7,87 m/s para 75 e 100 metros de altura, respectivamente, assemelhando-se aos valores apresentados pelo LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento) e pela consultoria Camargo Schubert Engenharia Eólica em 2007.

Com base nos dados para a altura de 30 metros foi escolhida a turbina que apresentou menor custo estimado de compra no Brasil, instalação e operação, sendo essa a turbina WES 80 que geraria em torno de 10.800 kWh por mês a uma velocidade de vento de 5,4 m/s, apresentando 80 kW de potência. Porém, cruzando os dados da turbina com as velocidades médias horárias no período, verificou-se que em função da ocorrência predominante de velocidades abaixo de 4,87 m/s, cada turbina apresentaria uma potência média de 6,71 kW, sendo então necessários três equipamentos para atender a cerca de 80% da potência exigida. Os 20% restantes seriam destinados ao pagamento da taxa mínima à concessionária local e ainda, nos períodos em que houvesse geração de créditos, esses seriam compensados em até 60 meses, com base nos meses em que o consumo extrapolasse a geração.

Assim, analisando-se do ponto de vista econômico, suprimindo-se a necessidade energética, verifica-se que com base nos 20 anos de vida útil das turbinas e nas condições do mercado brasileiro atual, a solução ainda não teria sido paga e seria necessária a renovação de todo o sistema, gerando dívida sobre dívida ao investidor.

Isso poderia contrariar os estudos que indicam o alto potencial eólico do Brasil. Entretanto, sabe-se que esse tipo de exploração pode ser muito interessante economicamente em determinados locais e para determinados produtores e não ser em outras situações. Tudo isso ocorre devido à variação do local de instalação, do

potencial eólico regional, do capital de investimento, da economia do país, do mercado e dos subsídios do governo.

Verificou-se ainda que, em comparação com a pesquisa realizada pela IRENA em 2016, o custo de capital para investimento em sistemas eólicos no Brasil é demasiadamente elevado, apresentando uma diferença de aproximadamente 529% em relação aos custos em outros países. Essa diferença pode ter origem na taxa de importação, impostos e reduzida popularização e concorrência entre empresas fornecedoras no Brasil.

Com base nisso, pode-se dizer que apesar de todo o incentivo para o uso de fontes limpas de energia, para a energia eólica no Brasil ainda falta apoio financeiro em relação a tributos e barateamento da tecnologia. Porém, estão claros os benefícios da inserção da energia eólica para a segurança da matriz elétrica brasileira, tanto pelo seu caráter limpo e renovável, quanto pela complementariedade com o regime hídrico, que vem sofrendo variações desfavoráveis nos últimos anos.

Verifica-se então, que a energia eólica já se encontra com uma tecnologia bastante avançada no mercado atual. Porém, por mais que o Brasil tenha destaque em potencial eólico, é vital que haja incentivos à popularização e à concorrência, para que as empresas atuantes no setor não cobrem valores acima dos preços competitivos, favorecendo a exploração eólica dentre as outras fontes renováveis. Portanto, fica evidente que é por meio de política energética que se dá o planejamento do setor elétrico, e essa, por meio de políticas públicas, pode levar à redução dos custos da energia eólica, especialmente os custos de capital e impostos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Brasília – DF. Governo Federal (Ed.). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2005. 2ª Edição. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/>>. Acesso em: 15 set. 2015.

_____. **Resolução Normativa nº 687/2015**. Brasil, Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2017.

_____. Brasília – DF. Governo Federal (Ed.). **Caderno Temático de Micro e Minigeração Distribuída – Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2014. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/caderno-tematico-microeminigeracao.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2016.

AMÊNDOLA, C. A. M. **Contribuição ao estudo de aerogeradores de velocidade e passo variáveis com gerador duplamente alimentado e sistema de controle difuso**. 2007. 116f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ARAÚJO, Diogo Ferreira de. **análise da viabilidade econômica de novos projetos**. 2010. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Economia, Universidade Cândido Mendes, Rio de Janeiro, 2010.

AYODELE, T.R.; OGUNJUYIGBE, A.S.O.; AMUSAN, T.O.. Wind power utilization assessment and economic analysis of wind turbines across fifteen locations in the six geographical zones of Nigeria. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], p.1-9, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.060>.

BADUREK, Christopher A. (Chicago). Britannica Academic (Org.). **Wind turbine**. [ca. 2010]. Disponível em: <<http://academic-eb-britannica.ez89.periodicos.capes.gov.br/EBchecked/topic/645101/wind-turbine>>. Acesso em: 09 maio 2016.

CAPTOVENTO ENGENHARIA EÓLICA E ALTERNATIVA. **Geração de energia alternativa**. Disponível em: <<http://www.captovento.com.br/geracao-alternativa>>. Acesso em: 23 maio 2016.

COPEL (Paraná). Companhia Paranaense de Energia (Ed.). **Eólica**. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e/301dc3a7702b129303257405005c2fdb>>. Acesso em: 11 maio 2016.

_____. Engenharia Eólica Camargo e Schubert Instituto de Tecnologia Para O Desenvolvimento Lactec. Governo do Paraná. **Atlas do Potencial Eólico do Estado do Paraná**. Curitiba: Paraná, 2007. 55 p. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas_do_Potencial_Eolico_do_Estado_do_Parana.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2017.

DUTRA, R. M., SZKLO, A. S. (2008). Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: scenarios for the alternative energy sources incentive program (PROINFA) under the new Brazilian electric power sector regulation. **Renewable Energy**, 33, 65-76.

DUTRA, R. (Org.). **Energia Eólica - Princípios e tecnologia**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2008, 58p.

ELETRÓBRÁS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A.. (Ed.). **Análise Econômica de Investimentos**: Guia Básico. Brasília: Link Design, 2008. 90 p. Disponível em:

<http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/Analise_economica.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2017.

ELIAS, Moacir Cardoso et al. **TECNOLOGIAS DE PRÉ-ARMAZENAMENTO, ARMAZENAMENTO E CONSERVAÇÃO DE GRÃOS**: Material de aula. 2015.

Disponível em:

<http://www.labgraos.com.br/manager/uploads/downloads/519_material_de_tag_ii-2015-1_prova.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE (Rio de Janeiro - RJ). Ministério das Minas e Energia – MME. **Plano Nacional de Energia 2030**. 2007. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139260/09.+Outras+Fontes+\(PDF\)/38f50e65-8bd7-492c-a85e-af81aa37b742?version=1.1](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139260/09.+Outras+Fontes+(PDF)/38f50e65-8bd7-492c-a85e-af81aa37b742?version=1.1)>. Acesso em: 17 set. 2015.

_____. **Relatório De Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014**. V. 1, n. 1, 2015. Anual. Disponível em:

<https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: 14 set. 2015.

_____. **Relatório De Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015**. V. 1, n. 1, 2016. Anual. Disponível em:

<<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2016&anoFimColeta=2015>>. Acesso em: 22 nov. 2016.

ENERGIA PURA. **Energia Pura**: Desde 1993. Disponível em:

<<http://www.energiapura.com/home>>. Acesso em: 23 jan. 2017.

GARBE, Ernesto Augusto; MELLO, Renato de; TOMASELLI, Ivan. Projeto conceitual e análise de viabilidade econômica de unidade de geração de energia elétrica eólica na Lagoa dos Patos – RS. **Economia e Energia**, Porto Alegre, v. 83, n. 15, p.24-48, out. 2011.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL - GWEC E GREENPEACE INTERNATIONAL (Bélgica). **Global Wind Energy Outlook | 2014**. Disponível em:

<http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/10/GWEO2014_WEB.pdf>. Acesso em: 18 maio 2016.

GOMES, Luiz Eduardo Bueno; HENKES, Jairo Afonso. Análise da energia eólica no cenário elétrico: aspectos gerais e indicadores de viabilidade econômica. **Gestão e**

Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis - Sc, v. 3, n. 2, p.463-482, mar. 2015.

Disponível em:

<http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/2536/1843>. Acesso em: 15 set. 2015.

GREENPEACE INTERNACIONAL E CONSELHO EUROPEU DE ENERGIA RENOVÁVEL – EREC (Brasil). **[r]evolução energética**:A caminho do

desenvolvimento limpo. 2010. Disponível em:

<<http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergetica-desenvolvimento-limpo.PDF>>. Acesso em: 05 out. 2016.

GUERRA, José Baltazar Salgueirinho Osório D Andrade et al. Future scenarios and trends in energy generation in brazil: supply and demand and mitigation forecasts. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 103, p.197-210, set. 2015.

Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.09.082. Disponível em:

<<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S095965261401021X?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 14 set. 2015.

HENRIQUES, João; CATARINO, Justina. Sustainable Value and Cleaner Production – research and application in 19 Portuguese SME. **Journal Of Cleaner**

Production, [s.l.], v. 96, p.379-386, jun. 2015. Elsevier BV. DOI:

10.1016/j.jclepro.2014.02.030. Disponível em:

<<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0959652614001760?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 14 set. 2015.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY - IRENA. **Wind**

Power: Technology Brief. Iea-etsap And Irena 2016, 2016. Disponível em:

<http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA-ETSAP_Tech_Brief_Wind_Power_E07.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2017.

KHARE, Vikas; NEMA, Savita; BAREDAR, Prashant. Status of solar wind renewable energy in India. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 27, p.1-10, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.018>.

KIM, I. S.; GRODZKI, L. e VISSOTO, S. Freqüência e intensidade dos ventos no estado do Paraná. In: **XII Congresso brasileiro de meteorologia**, Foz de Iguaçu-PR, Brasil, 2002. p. 1-12.

KRAUTER, S. **Usos da energia eólica**. Rio de Janeiro: [s.n.], Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

LEUNG, Dennis Y.c.; CARAMANNA, Giorgio; MAROTO-VALER, M. Mercedes. An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 39, p.426-443, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.093>.

LI, Zhe; BOYLE, Fergal; REYNOLDS, Anthony. Domestic application of micro wind turbines in Ireland: Investigation of their economic viability. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 41, p.64-74, maio 2012. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2011.10.001>.

LOPES, Luiz Carlos Nascimento. **Avaliação de sistema eólico-elétrico de bombeamento de água**. 2011. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza (CE), 2011.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia Eólica**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2012. 366 p.

MARTINS, Ricardo Ramos et al. Secador de grãos com uso de energia solar. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p.29-35, mar. 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA (Brasília – DF). Governo Federal. **Energia Eólica**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-eolica>> Acesso em: 25. Out. 2014.

MOURA, A.; MOTTA, A. L. T. S. O Fator Energia na Construção Civil. In: **IX Congresso nacional de excelência em gestão**, 2013.

MOURA, Júlio César. **Proteções de sistemas elétricos: uma visão de sua utilização em parques eólicos**. 2011. 86 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras - Mg, 2011.

MORAES-DUZAT, Rejane et al. SECADOR SOLAR MULTI-USO PARA BENEFICIAMENTO DE PRODUTOS NATURAIS DA AMAZÔNIA. **Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)**, Manaus, v. 1, n. 1, p.1-8, jan. 2010.

MUNEMORI JUNIOR, Miguel. **Estimativa do potencial de energia eólica para a região de Cascavel**. 2004. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Cascavel, 2004.

NASCIMENTO, Thiago Cavalcante; MENDONÇA, Andréa Torres Barros Batinga de; CUNHA, Sieglinde Kindl da. Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. **Cadernos Ebape.br**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p.630-651, jan. 2012.

OETTERER, Marília. **Aula: Agroindústrias de alimentos: CURSO DE GRADUAÇÃO**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2003.

OLIVEIRA, T. F. F; SANTOS, H. I. **Uso da energia eólica como alternativa para mitigar o Agravamento do efeito estufa**. Universidade Católica de Goiás. Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental. 2008.

PÁTRIA, Henrique Isliker (Ed.). Energia limpa conquista espaço: Da energia produzida na usina de cana à possibilidade da microgeração residencial, o país busca sua passagem para um mundo sem petróleo. **Revista Agrimotor: O agronegócio em destaque**, São Paulo, v. 78, n. 8, p.14-15, set. 2012. Mensal.

PICOLO, Ana Paula; BÜHLER, Alexandre J.; RAMPINELLI, Giuliano Arns. Uma abordagem sobre a energia eólica como alternativa de ensino de tópicos de física clássica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Araranguá, v. 36, n. 4, p.2-13, 26 jun. 2014. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/292623126_An_approach_to_the_wind_energy_as_an_alternative_for_teaching_topics_of_classical_physics>. Acesso em: 04 jan. 2017.

PINTO, M. **Fundamentos de Energia Eólica**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 392 p. ISBN 9788521621607.

PRADO, P. O. **Projeto de um parque eólico com utilização de sistema de informação geográfica**. 2009. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**. São Paulo: Manole, 2015.

RIBEIRO, Henrique César Melo; PIEROT, Roselane Moita; CORRÊA, Rosany. PROJETO DE MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO: UM ESTUDO DE CASO NA EMPRESA DE ENERGIA EÓLICA DO ESTADO DO PIAUÍ. **Reunir: Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, [s.l.], v. 2, n. 2, p.61-75, 10 ago. 2012. Reunir Revista de Administracao, Contabilidade e Sustentabilidade. <http://dx.doi.org/10.18696/reunir.v2i2.61>.

SANTOS, Djalma Lúcio Miranda dos; QUEIROZ, Mauro Henrique Brito de. **aplicação da ferramenta computacional de simulação Motor Systems Tool em projeto de eficiência energética**. 2013. 54 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Especialização em Eficiência Energética, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba - Pr, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3676/1/CT_CEEE_I_2013_15.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2016.

SANTOS, Ieda Maria Antunes dos; VENDITE, Laércio Luis. **Análise de Investimentos**. Disponível em: <http://vigo.ime.unicamp.br/Projeto/2009-2/MS777/ms777_ieda.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2016.

SANTOS, R. G. Avaliação do potencial eólico do campus da Faculdade Assis Gurgacz-FAG em Cascavel-Paraná. In: I Seminário Internacional de Ciência, Tecnologia e Ambiente, 2009, Cascavel.

SATO, Mireille. **Avaliação do potencial eólico em microescala de Cascavel e região**. 2015. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2015.

SCHULTZ, D.J.; DA ANUNCIAÇÃO, S.M; DE SOUZA, M. L.; MAROZINSKI, P.R, **Atlas do potencial eólico do Estado do Paraná**. Curitiba: Agência Nacional de Energia Elétrica- Copel, 2007.

SCHUMANN, Jó Henrique Palma. **Procedimento para avaliação do potencial eólico**: Estudo de caso: Região do entorno do reservatório da Usina Hidroelétrica de Estreito. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá – MG, 2014. Disponível em: <<http://saturno.unifei.edu.br/bim/0046332.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2016

SILVA, Juarez de Sousa e; AFONSO, Adriano Divino Lima; DONZELLES, Sérgio Maurício Lopes. **Secagem e Secadores**. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/alimentus1/terradearroz/processamento/pr_fluxo_secagem_pop_up.htm>. Acesso em: 24 maio 2016.

SILVA, Luís C. et al. A simulation toolset for modeling grain storage facilities. **Journal Of Stored Products Research**, [s.l.], v. 48, p.30-36, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2011.09.001>.

SILVA, Márcio Lopes da; FONTES, Alessandro Albino. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra (VET). **Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa, v. 29, n. 6, p.931-936, jun. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n6/a12v29n6.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2016.

SILVA, Patrícia de Castro; GUEDES, Vanessa Gonçalves; ARAÚJO, Maria Regina Pereira de. Otimização dos parâmetros da distribuição de Weibull. **XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica**, Águas de Lindóia, v. 1, n. 1, p.1-10, nov. 1999. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/artigo/aaciih.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2016.

SIMEPAR – Instituto Tecnológico. **Dados da estação meteorológica de Cascavel: 2015**. Cascavel, 2015. Arquivo digital.

SOUZA, Gustavo Henrique Silva de et al. Marketing Approach of Brazilian Wind Energy Sector. **Journal Of Technology Management & Innovation**, Santiago, v. 8, n. 4, p.46-58, jul. 2013.

SUNDERLAND, Keith M.; MILLS, Gerald; CONLON, Michael F.. Estimating the wind resource in an urban area: A case study of micro-wind generation potential in Dublin, Ireland. **Journal Of Wind Engineering And Industrial Aerodynamics**, Dublin, v. 118, n. 1, p.44-53, 22 maio 2013.

VIEIRA, Mariana; BATISTA JUNIOR, Cícero. **A engenharia das usinas eólicas**. 2015. Disponível em: <<https://blogdaengenhariacivil.wordpress.com/2015/07/11/a-engenharia-das-usinas-eolicas/>>. Acesso em: 18 maio 2016.

WATTS JUNIOR, John M.; CHAPMAN, Robert E.. **Engineering Economics**. 2003. Disponível em: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build02/PDF/b02155.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2015.

WAUSAUKEE COMPOSITES INC. (Europa). **Sintex - Wausaukee Composites**. 2015. Disponível em: <<http://www.wauscomp.com/wp-content/themes/wausaukee/pdf/WCI Case Study - WTG Nacelle NPI.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2016.

ANEXO A

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS MOTORES DA UNIDADE ARMAZENADORA E SECADORA DE GRÃOS

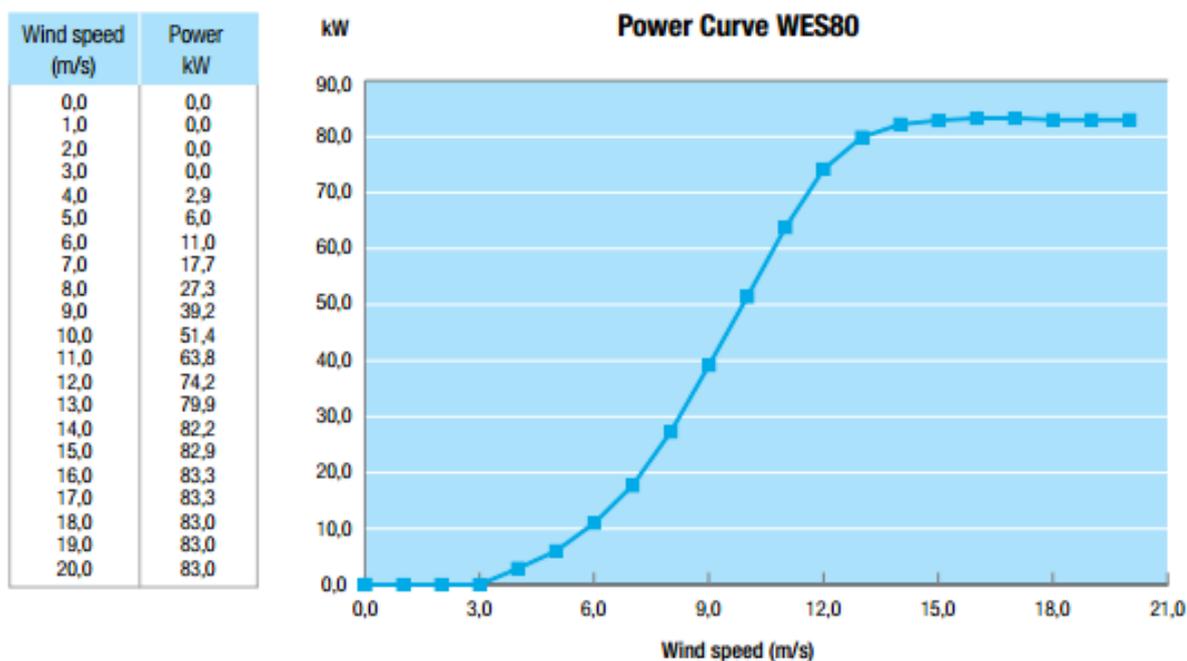
Quant.	Equipamentos	item	Modelo	Potência	Potência CV	Amperes	Observações	Cabo	Distância	Queda de tensão
1	Elevador	EI 1	EI15267	30Kw	40	57	Moega	4x16	55	
1	Elevador	EI 2	EI15267	30Kw	40	57	Moega	4x16	45	
1	Elevador	EI 3	EI15267	30Kw	40	57	Moega	4x16	45	
1	Elevador	EI 4	EI15267	37Kw	50	69	Secador	3x25(16)	70	
1	Elevador	EI 8	EI15267	37Kw	50	69	Secador	3x25(16)	85	
1	Elevador	EI 5	EI15267	30Kw	40	57	Pulmão	4x16	65	
1	Elevador	EI 7	EI15267	30Kw	40	57	Pulmão	4x16	80	
1	Elevador	EI 6	EI15267	22Kw	30	44	MI 1	4x10	60	
1	Elevador	EI 9	EI15267	22Kw	30	44	MI 2	4x10	75	
1	Elevador	EI 10	EI15267	22Kw	30	44	P/ CTS1/CTS2R	4x10	60	
1	Elevador	EI 11	EI15267	22Kw	30	44	P/ CTS1/CTS2R	4x10	60	
1	Elevador	EI 12	EI15267	37Kw	50	69	Silos ARMAZ	3x25(16)	155	3,85%
1	Elevador	EI 13	EI15267	37Kw	50	69	Silos ARMAZ	3x25(16)	155	3,85%
1	Elevador	EI 14	EI0854	7,5Kw	10	16	Quirera	4x2,5	45	
1	Elevador	EI 15	EI0854	7,5Kw	10	16	Residuo	4x4	80	
1	Elevador	EI 16	EI0854	7,5Kw	10	16	Residuo	4x4	80	
1	Correia transp. Sup.	CTS 1	CT24267	7,5Kw	10	16	--	4x2,5	55	
1	Correia transp. Sup.	CTS 2R	CT24267	7,5Kw	10	16	Reversivel	4x4	100	3,59%
1	Correia transp. Sup.	CTS3	CT24267	9,2Kw	12,5	19	--	4x10	220	3,75%
1	Correia transp. Sup.	CTS4	CT24267	9,2Kw	12,5	19	--	4x10	220	3,75%
1	Correia transp. Inf.	CTS15	CT24267	9,2Kw	12,5	19	--	4x6	130	3,69%
1	Correia transp. Inf.	CTS16	CT24267	9,2Kw	12,5	19	--	4x6	130	3,69%
1	Redler inf.	RDL1	RD4250267	11Kw	15	23	Moega	4x4	45	
1	Redler inf.	RDL2	RD4250267	11Kw	15	23	Moega	4x4	45	
1	Redler sup.	RDS3	RD4250267	5,5Kw	7,5	12	Tulha 01	4x2,5	40	
1	Redler sup.	RDS4	RD4250267	4Kw	5,5	10	Carga SP1	4x2,5	65	
1	Redler sup.	RDS7	RD4250267	4Kw	5,5	10	Carga SP2	4x2,5	80	
1	Redler inf.	RDL5	RD4250267	7,5Kw	10	16	Des SP1	4x2,5	45	
1	Redler inf.	RDL8	RD4250267	7,5Kw	10	16	Des SP2	4x2,5	60	
1	Redler inf.	RDL6	RD4250267	4Kw	5,5	10	Des Secador	4x2,5	45	
1	Redler inf.	RDL9	RD4250267	4Kw	5,5	10	Des Secador	4x2,5	60	
1	Redler inf.	RDL10	RD174060	3Kw	4	6,9	Residuo máquinas	4x2,5	60	
1	Redler inf.	RDL11	RD174060	3Kw	4	6,9	Residuo máquinas	4x2,5	60	
1	Redler inf.	RDL12	RD174060	3Kw	4	6,9	Residuo máquinas	4x2,5	30	
1	Redler sup.	RDS13	RD174060	2,2Kw	3	5,2	Carga Silo Residuos	4x2,5	65	
1	Redler inf.	RDL14	RD174060	3Kw	4	6,9	Desc Silo Residuos	4x2,5	100	
1	máquina pré limpeza 1	PI 1	MI 180	15cv	15	23		4x4	40	
1	máquina pré limpeza 1	PI 1	MI 180	4cv	4	6,9		4x2,5	35	
1	máquina pré limpeza 1	PI 1	MI 180	7,5cv	7,5	11		4x2,5	35	
1	máquina pré limpeza 1	PI 1	MI 180	0,75cv	0,75	1,75		4x2,5	35	
1	máquina pré limpeza 2	PI 2	MI 180	15cv	15	23		4x4	45	
1	máquina pré limpeza 2	PI 2	MI 180	4cv	4	6,9		4x2,5	40	
1	máquina pré limpeza 2	PI 2	MI 180	7,5cv	7,5	11		4x2,5	40	
1	máquina pré limpeza 2	PI 2	MI 180	0,75cv	0,75	1,75		4x2,5	40	
1	máquina limpeza 1	MI 1	MI 180	15cv	15	23		4x4	50	
1	máquina limpeza 1	MI 1	MI 180	4cv	4	6,9		4x2,5	45	
1	máquina limpeza 1	MI 1	MI 180	7,5cv	7,5	11		4x2,5	45	
1	máquina limpeza 1	MI 1	MI 180	0,75cv	0,75	1,75		4x2,5	45	

1	máquina limpeza 2	MI 2	MI 180	15cv	15	23		4x4	55	
1	máquina limpeza 2	MI 2	MI 180	4cv	4	6,9		4x2,5	50	
1	máquina limpeza 2	MI 2	MI 180	7,5cv	7,5	11		4x2,5	50	
1	máquina limpeza 2	MI 2	MI 180	0,75cv	0,75	1,75		4x2,5	50	
1	Secador 1	CM1	CM150DRCOL	25	25	36	--	4x10	75	
1	Secador 1	CM1	CM150DRCOL	25	25	36	--	4x10	80	
1	Secador 1	CM1	CM150DRCOL	25	25	36	--	4x10	85	
1	Secador 1	CM1	CM150DRCOL	25	25	36	--	4x10	90	
1	Secador 1	CM1	CM150DRCOL	1,5cv	1,5	29	--	4x2,5	75	
1	Secador 1	CM1	CM150DRCOL	0,37Kw	0,5	1,2	--	4x2,5	60	
1	Secador 2	CM2	CM150DRCOL	25	25	36	--	4x10	75	
1	Secador 2	CM2	CM150DRCOL	25	25	36	--	4x10	80	
1	Secador 2	CM2	CM150DRCOL	25	25	36	--	4x10	85	
1	Secador 2	CM2	CM150DRCOL	25	25	36	--	4x10	90	
1	Secador 2	CM2	CM150DRCOL	1,5cv	1,5	2,9	--	4x2,5	90	
1	Secador 2	CM2	CM150DRCOL	0,37Kw	0,5	1,2	--	4x2,5	75	
1	CAPT de partículas	CP1	CPCM150DRCOL	7,5cv	7,5	11	--	4x2,5	80	
1	CAPT de partículas	CP2	CPCM150DRCOL	7,5cv	7,5	11	--	4x2,5	80	
1	Silo Residuo 1	SR1	SL9,09/14A	40cv	40	57	--	4x16	70	
1	Silo Residuo 2	SR2	SL9,09/14A	40cv	40	57	--	4x16	85	
1	Silo Pulmão	SP1	SL10,91/18A	40cv	40	57	--	4x16	50	
1	Silo Pulmão	SP2	SL10,91/18A	40cv	40	57	--	4x16	75	
1	Silo ARMAZ	SA1.1	SL21,82/22A	40cv	40	57	c/ esc caracol e desc lat	4x16	40	
1	Silo ARMAZ	SA1.2	SL21,82/22A	40cv	40	57	c/ esc caracol e desc lat	4x16	60	
1	Silo ARMAZ	SA2.1	SL21,82/22A	40cv	40	57	c/ esc caracol e desc lat	4x16	40	
1	Silo ARMAZ	SA2.2	SL21,82/22A	40cv	40	57	c/ esc caracol e desc lat	4x16	60	
1	Silo ARMAZ	SA3.1	SL21,82/22A	40cv	40	57	c/ esc caracol e desc lat	4x16	65	
1	Silo ARMAZ	SA3.2	SL21,82/22A	40cv	40	57	c/ esc caracol e desc lat	4x16	85	
1	Silo ARMAZ	SA4.1	SL21,82/22A	40cv	40	57	c/ esc caracol e desc lat	4x16	65	
1	Silo ARMAZ	SA4.2	SL21,82/22A	40cv	40	57	c/ esc caracol e desc lat	4x16	85	
1	Silo ARMAZ	SA5.1	SL21,82/22A	40cv	40	57	c/ esc caracol e desc lat	4x16	90	
1	Silo ARMAZ	SA5.2	SL21,82/22A	40cv	40	57	c/ esc caracol e desc lat	4x16	110	3,50%
1	Silo ARMAZ	SA6.1	SL21,82/22A	40cv	40	57	c/ esc caracol e desc lat	4x16	90	
1	Silo ARMAZ	SA6.2	SL21,82/22A	40cv	40	57	c/ esc caracol e desc lat	4x16	110	3,50%
1	Rosca varredora	RV1	RVSL90,9	2,2Kw	3	5,2	-	4x2,5	90	
1	Rosca varredora	RV2	RVSL90,9	2,2Kw	3	5,2	-	4x2,5	105	
1	Rosca varredora	RV3.1	RVSL10,91	0,5cv	0,5	1,2	Deslocamento mot.	4x2,5	70	
1	Rosca varredora	RV3.2	RVSL10,91	5cv	5	8,5	Deslocamento mot.	4x2,5	70	
1	Rosca varredora	RV4.1	RVSL10,91	0,5cv	0,5	1,2	Deslocamento mot.	4x2,5	105	
1	Rosca varredora	RV4.2	RVSL10,91	5cv	5	8,5	Deslocamento mot.	4x2,5	105	
1	Rosca varredora	RV5.1	RVSL21,82	0,5cv	0,5	1,2	Deslocamento mot.	4x2,5	85	
1	Rosca varredora	RV5.2	RVSL21,82	15cv	15	23	Deslocamento mot.	4x6	85	
1	Rosca varredora	RV6.1	RVSL21,82	0,5cv	0,5	1,2	Deslocamento mot.	4x2,5	85	
1	Rosca varredora	RV6.2	RVSL21,82	15cv	15	23	Deslocamento mot.	4x6	85	
1	Rosca varredora	RV7.1	RVSL21,82	0,5cv	0,5	1,2	Deslocamento	4x2,5	110	

	varredora						mot.			
1	Rosca varredora	RV7.2	RVSL21,82	15cv	15	23	Deslocamento mot.	4x6	110	
1	Rosca varredora	RV8.1	RVSL21,82	0,5cv	0,5	1,2	Deslocamento mot.	4x2,5	110	
1	Rosca varredora	RV8.2	RVSL21,82	15cv	15	23	Deslocamento mot.	4x6	110	
1	Rosca varredora	RV9.1	RVSL21,82	0,5cv	0,5	1,2	Deslocamento mot.	4x2,5	135	
1	Rosca varredora	RV9.2	RVSL21,82	15cv	15	23	Deslocamento mot.	4x10	135	
1	Rosca varredora	RV10.1	RVSL21,82	0,5cv	0,5	1,2	Deslocamento mot.	4x2,5	135	
1	Rosca varredora	RV10.2	RVSL21,82	15cv	15	23	Deslocamento mot.	4x10	135	
1	Filtro de manga	FP1	FP100	15cv	15	23	--	4x4	25	
1	Filtro de manga	FP2	FP100	15cv	15	23	--	4x4	25	
1	Filtro de manga	FP3	FP100	15cv	15	23	--	4x4	70	
1	Filtro de manga	FP4	FP100	15cv	15	23	--	4x4	75	3,86%
1	Tombador			--	50		--			
1	Compressor			--	10		--			
1	Filtro de manga			--	10		--			

ANEXO B

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO AEROGERADOR WES80 HOMOLOGADO PELA CONCESSIONÁRIA LOCAL



GENERAL

Life expectancy:	Minimum 20 years
Rated power:	80 kW
Cut in Wind speed:	< 3 m/s (6.7mph)
Cut out Wind speed:	25 m/s (56mph)
Rated wind speed:	13 m/s (28mph)
Survival wind speed:	60 m/s (134mph)
Wind class:	II
Yawing:	Active
Passive power regulation:	Blade-angle adjustment
Active power regulation:	Fully variable back-to-back IGBT system
Towers heights :	18 m, 24 m, 30 m, 39 m (31 m lattice)
Number of blades:	2
Rotor diameter:	18 m
Noise emission at 8 m/s :	45 dB(a) at 100 m
Operating temperatures:	from -20°C up to + 40°C

ELECTRICAL

Power: 83 kW
 Voltage: 400V/50Hz 3 phase + neutral or
 400V/60Hz 3 phase + neutral
 Connection: grid connected / Hybrid
 Converter: back-to-back inverter (IGBT)

MATERIAL SPECIFICATIONS

Blades: carbon and glass fibre
 reinforced epoxy
 Nacelle: steel
 Cover: polyester
 Tower: steel (hot dip galvanized)
 Foundation: concrete block with anchor

WEIGHTS

Blade assembly: 110 kg per blade
 Rotor: 900 kg
 Nacelle incl. Rotor and blades: 3.300 kg

KEY COMPONENTS

Generator: ABB
 Gearbox: Siemens
 Converter: Control Techniques
 (Emerson)



APPLIED STANDARDS

Degree of protection: IP55
 Complies with standards: NEN1010 (electrical), EN50308 (safety), EN6096 (wind turbines)
 UI1741, G59/2 (anti Islanding), IEC61346-2000 (Cabinet)
 CE-mark: yes

APÊNDICE A

TRATAMENTO DOS DADOS DE VELOCIDADE DO VENTO PARA 30 METROS DE ALTURA

ANO	MÊS	V. MÉD	V. MÁX	V. MÍN	DESVPAD	CV (%)
2011	1	2,943	7,900	0,150	1,269	43,12
	2	3,414	6,900	0,300	1,283	37,58
	3	4,324	9,325	0,400	1,538	35,58
	4	3,790	11,825	0,325	1,646	43,44
	5	3,556	8,450	0,225	1,523	42,83
	6	4,531	9,925	0,875	1,665	36,74
	7	4,443	10,450	0,400	1,850	41,65
	8	5,221	10,775	0,175	1,969	37,72
	9	4,663	10,900	0,375	2,112	45,28
	10	4,588	11,375	0,450	2,048	44,64
	11	4,416	10,700	0,525	1,863	42,19
	12	3,491	9,750	0,075	1,710	48,98
TOTAL		4,118	11,825	0,075	1,841	44,699

ANO	MÊS	V. MÉD	V. MÁX	V. MÍN	DESVPAD	CV (%)
2012	1	3,836	7,900	0,450	1,598	41,663
	2	3,723	9,575	0,400	1,371	36,816
	3	3,330	7,650	0,525	1,350	40,528
	4	3,472	12,700	0,050	1,606	46,249
	5	4,215	9,950	0,525	1,571	37,277
	6	3,858	8,100	0,325	1,541	39,940
	7	4,165	9,975	0,675	1,741	41,802
	8	5,333	11,975	0,450	2,056	38,549
	9	4,864	10,950	0,500	2,060	42,343
	10	4,841	12,550	0,400	2,367	48,901
	11	3,950	11,150	0,600	1,760	44,559
	12	3,910	11,325	0,325	1,564	40,004
TOTAL		4,128	12,700	0,050	1,833	44,418

ANO	MÊS	V. MÉD	V. MÁX	V. MÍN	DESVPAD	CV (%)
2013	1	3,993	9,175	0,575	1,522	38,119
	2	4,056	9,025	0,725	1,520	37,489
	3	4,019	8,575	0,650	1,639	40,777
	4	3,901	11,275	0,600	1,640	42,044
	5	4,140	10,575	0,200	1,855	44,807
	6	3,871	10,975	0,325	1,870	48,318
	7	4,091	10,925	0,000	1,911	46,706
	8	4,761	10,075	0,375	1,809	37,989
	9	4,632	11,225	0,475	1,763	38,065
	10	4,412	13,000	0,525	2,036	46,143
	11	5,191	12,975	0,325	2,129	41,001
	12	3,944	10,675	0,025	1,727	43,788
TOTAL		4,251	13,000	0,000	1,837	43,221

ANO	MÊS	V. MÉD	V. MÁX	V. MÍN	DESVPAD	CV (%)
2014	1	3,770	9,700	0,400	1,513	40,130
	2	4,143	10,375	0,550	1,805	43,574
	3	3,888	8,400	0,425	1,567	40,301
	4	4,012	10,725	0,200	1,820	45,363
	5	4,162	9,800	0,000	1,949	46,839
	6	4,593	11,800	0,000	2,148	46,767
	7	4,790	10,500	0,000	1,920	40,092
	8	4,646	9,975	0,525	1,735	37,346
	9	5,436	13,175	0,525	2,041	37,540
	10	4,706	11,100	0,050	2,169	46,100
	11	4,060	9,275	0,000	1,746	42,998
	12	4,119	10,425	0,000	1,793	43,531
TOTAL		4,360	13,175	0,000	1,915	43,919

ANO	MÊS	V. MÉD	V. MÁX	V. MÍN	DESVPAD	CV (%)
2015	1	3,892	12,400	0,025	1,658	42,607
	2	3,409	9,250	0,000	1,402	41,142
	3	3,396	8,300	0,125	1,464	43,108
	4	3,553	9,200	0,250	1,646	46,341
	5	3,917	9,525	0,250	1,674	42,748
	6	4,650	10,800	0,275	1,684	36,214
	7	4,473	10,900	0,025	2,125	47,519
	8	5,056	10,350	0,775	1,809	35,788
	9	4,324	12,350	0,000	2,135	49,370
	10	4,483	12,000	0,325	2,145	47,850
	11	3,750	9,375	0,050	1,669	44,493
	12	3,613	9,300	0,100	1,577	43,648
TOTAL		4,048	12,400	0,000	1,842	45,499

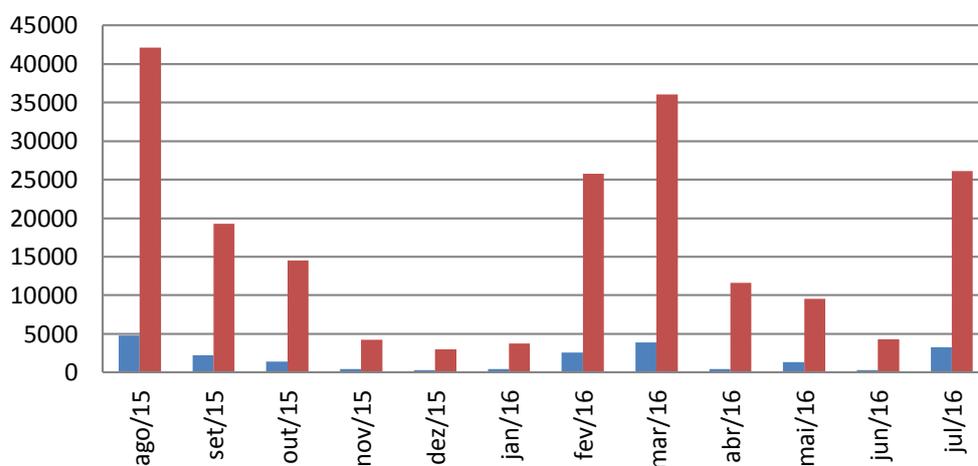
ANO	MÊS	V. MÉD	V. MÁX	V. MÍN	DESVPAD	CV (%)
2016	1	3,368	7,675	0,175	1,486	44,113
	2	3,184	7,750	0,125	1,475	46,315
	3	3,230	8,025	0,100	1,421	43,998
	4	4,045	9,675	0,025	1,598	39,499
	5	3,335	10,875	0,000	1,816	54,446
	6	3,435	8,625	0,000	1,911	55,614
	7	4,532	12,725	0,100	1,864	41,129
	8	4,343	10,450	0,175	1,752	40,339
	9	4,009	12,575	0,150	1,760	43,890
	10					
	11					
	12					
TOTAL		3,712	12,725	0,000	1,746	47,047

APÊNDICE B

HISTÓRICO DE CONSUMO ENERGÉTICO DO ÚLTIMO ANO DE FUNCIONAMENTO DA UNIDADE

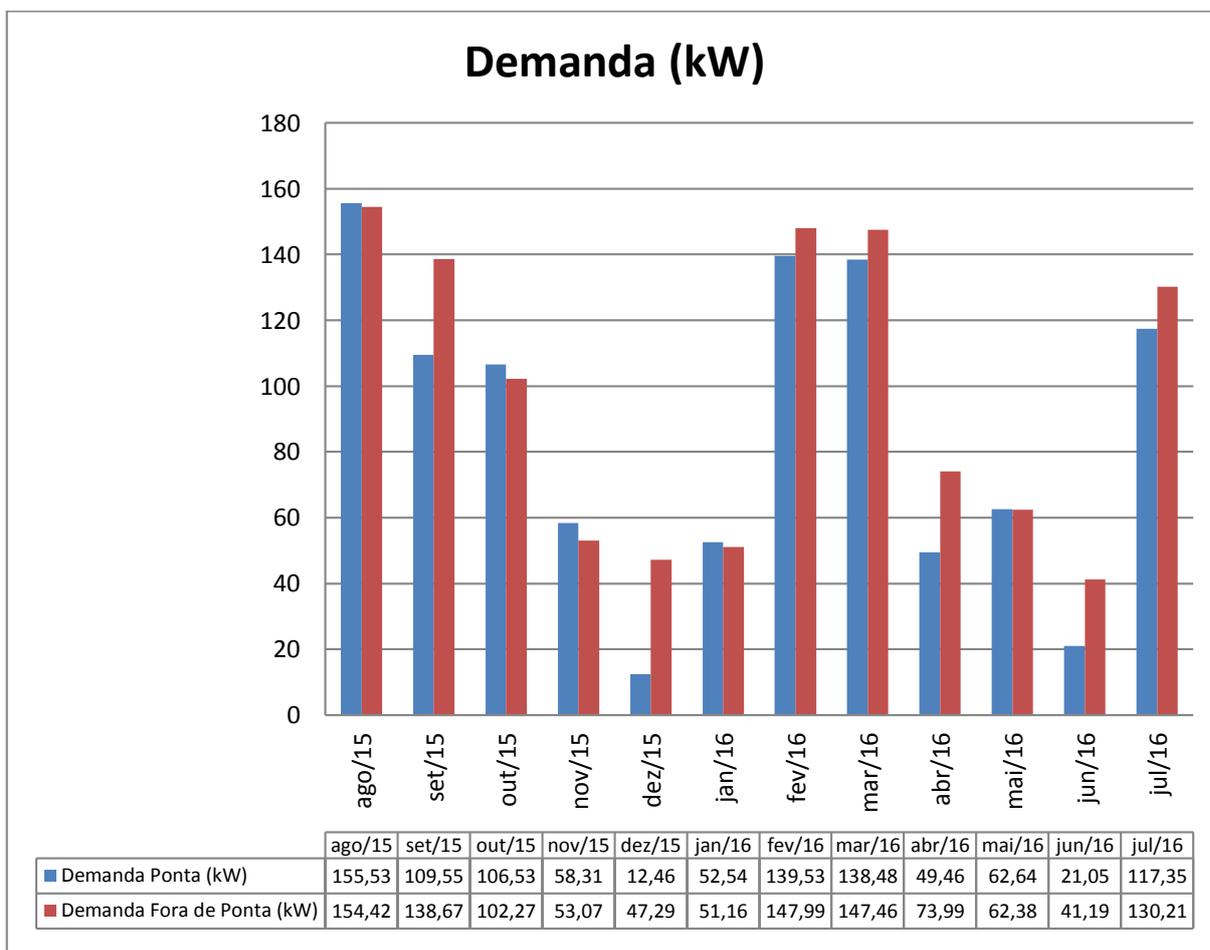
Mês/Ano	Valor Fatura (R\$)	Consumo Ponta (kWh)	Consumo Fora Ponta (kWh)	Cons. Total (kWh)
ago/15	R\$ 37.150,23	4773	42124	46897
set/15	R\$ 17.852,32	2212	19254	21466
out/15	R\$ 12.681,38	1406	14492	15898
nov/15	R\$ 4.215,55	431	4220	4651
dez/15	R\$ 3.286,39	287	2978	3265
jan/16	R\$ 4.086,50	450	3730	4180
fev/16	R\$ 23.324,82	2589	25780	28369
mar/16	R\$ 32.112,51	3901	36012	39913
abr/16	R\$ 8.432,27	475	11639	12114
mai/16	R\$ 8.585,60	1314	9534	10848
jun/16	R\$ 4.122,00	319	4298	4617
jul/16	R\$ 24.400,25	3273	26104	29377
Σ	R\$ 180.249,82	21430	200165	221595

Consumo (kWh)



	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15	jan/16	fev/16	mar/16	abr/16	mai/16	jun/16	jul/16
■ Consumo Ponta (kWh)	4773	2212	1406	431	287	450	2589	3901	475	1314	319	3273
■ Consumo Fora Ponta (kWh)	42124	19254	14492	4220	2978	3730	25780	36012	11639	9534	4298	26104

Mês/Ano	Demanda Ponta (kW)	Demanda Fora de Ponta (kW)	Dem. Cont. Ponta (kW)	Dem. Cont. Fora de Ponta (kW)	Dem. Total Ponta (kW)	Dem. Total Fora de Ponta (kW)
ago/15	155,53	154,42	0	80	0	84
set/15	109,55	138,67	0	80	0	84
out/15	106,53	102,27	0	80	0	84
nov/15	58,31	53,07	0	80	0	84
dez/15	12,46	47,29	0	80	0	84
jan/16	52,54	51,16	0	80	0	84
fev/16	139,53	147,99	0	80	0	84
mar/16	138,48	147,46	0	80	0	84
abr/16	49,46	73,99	0	80	0	84
mai/16	62,64	62,38	0	80	0	84
jun/16	21,05	41,19	0	80	0	84
jul/16	117,35	130,21	0	80	0	84
Σ	1023,43	1150,1	0	960	0	1008



APÊNDICE C

PLANILHA DE CÁLCULO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA O SISTEMA EÓLICO

Período	Investimentos	Retorno	Fluxo de Caixa	F. C. Desc.	F. C. D. Acum.
0	-R\$ 6.150.000,00	R\$ 0,00	-R\$ 6.150.000,00	-R\$ 6.150.000,00	-R\$ 6.150.000,00
1	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 74.560,56	-R\$ 6.075.439,44
2	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 67.782,32	-R\$ 6.007.657,12
3	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 61.620,29	-R\$ 5.946.036,82
4	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 56.018,45	-R\$ 5.890.018,37
5	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 50.925,86	-R\$ 5.839.092,51
6	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 46.296,24	-R\$ 5.792.796,27
7	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 42.087,49	-R\$ 5.750.708,78
8	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 38.261,35	-R\$ 5.712.447,43
9	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 34.783,05	-R\$ 5.677.664,38
10	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 31.620,95	-R\$ 5.646.043,42
11	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 28.746,32	-R\$ 5.617.297,10
12	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 26.133,02	-R\$ 5.591.164,08
13	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 23.757,29	-R\$ 5.567.406,79
14	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 21.597,54	-R\$ 5.545.809,25
15	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 19.634,12	-R\$ 5.526.175,13
16	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 17.849,20	-R\$ 5.508.325,92
17	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 16.226,55	-R\$ 5.492.099,37
18	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 14.751,41	-R\$ 5.477.347,96
19	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 13.410,37	-R\$ 5.463.937,59
20	-R\$ 61.500,00	R\$ 143.516,61	R\$ 82.016,61	R\$ 12.191,25	-R\$ 5.451.746,34

Consumo anual (kW)	221595,00
Gasto anual energia	R\$ 180.249,82
Investimento Inicial	-R\$ 6.150.000,00
Operação e Manutenção	-R\$ 61.500,00
Produção energia (kW)	176436,04
Percentual economia	79,62%
Economia	R\$ 143.516,61

VPL	-R\$ 5.405.531,93	< 0	Não Viável
TIR	-7,12%	< TMA	Não Viável
PBD	Inexistente	> Vida útil	Não Viável

APÊNDICE D

SIMULAÇÃO DE CENÁRIO DE INVESTIMENTO NO BRASIL COM TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE DE 10% a.a.

Período	Investimentos	Retorno	Fluxo de Caixa	F. C. Desc.	F. C. D. Acum.
0	-R\$ 1.125.000,00	R\$ 0,00	-R\$ 1.125.000,00	-R\$ 1.125.000,00	-R\$ 1.125.000,00
1	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 120.242,37	-R\$ 1.004.757,63
2	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 109.311,25	-R\$ 895.446,38
3	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 99.373,86	-R\$ 796.072,51
4	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 90.339,88	-R\$ 705.732,64
5	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 82.127,16	-R\$ 623.605,48
6	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 74.661,05	-R\$ 548.944,42
7	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 67.873,69	-R\$ 481.070,74
8	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 61.703,35	-R\$ 419.367,38
9	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 56.093,96	-R\$ 363.273,43
10	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 50.994,50	-R\$ 312.278,92
11	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 46.358,64	-R\$ 265.920,28
12	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 42.144,22	-R\$ 223.776,06
13	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 38.312,93	-R\$ 185.463,14
14	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 34.829,93	-R\$ 150.633,21
15	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 31.663,58	-R\$ 118.969,63
16	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 28.785,07	-R\$ 90.184,56
17	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 26.168,24	-R\$ 64.016,32
18	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 23.789,31	-R\$ 40.227,00
19	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 21.626,65	-R\$ 18.600,36
20	-R\$ 11.250,00	R\$ 143.516,61	R\$ 132.266,61	R\$ 19.660,59	R\$ 1.060,23