

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
ENGENHARIA ELÉTRICA
TIAGO GUZI

**ESTUDO DA GERAÇÃO EÓLICA E ANÁLISE DO SEU POTENCIAL
NO RIO GRANDE DO SUL**

LAGES
2018

TIAGO GUZI

**ESTUDO DA GERAÇÃO EÓLICA E ANÁLISE DO SEU POTENCIAL
NO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Centro Universitário UNIFACVEST como parte
dos requisitos para obtenção do título em Bacharel
em Engenharia Elétrica.

Prof. Msc. Silvio Moraes de Oliveira

LAGES

2018

TIAGO GUZI

Monografia apresentada ao Centro Universitário Faevest – UNIFACVEST, como requisito necessário para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Tiago Guzi

NOME DO ALUNO

ESTUDO DA GERAÇÃO EÓLICA E ANÁLISE DO SEU POTENCIAL
NO RIO GRANDE DO SUL

TÍTULO DO TRABALHO

BANCA EXAMINADORA:

Moacir Silvio Moraes de Oliveira

Titulação e nome do Orientador(a)

Francieli Lima de Sá

Titulação e nome do Avaliador (a)

Mônica Maximiano da Silva

Titulação e nome do Avaliador (a)

Francieli Lima de Sá, Dra.

Coordenador (a) Prof. (a). Titulação e nome da Coordenador (a).

Lages, 11 de dezembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Quero primeiramente agradecer a Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades, meus pais e à minha família por todo o suporte financeiro, emocional, confiança, e pelo carinho incondicional. Sou grato também a todos meus amigos pelo incentivo, companhia e pela ajuda em todos os âmbitos.

Também agradeço a todos os integrantes da Republica W. e aos colegas da sala, por representar aqui minha segunda família e por terem me auxiliado nos momentos mais complicados nessa jornada acadêmica.

Por fim agradeço também ao Centro Universitário Unifacvest pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional, ao meu orientador Silvio Moraes de Oliveira, e também a coordenadora do curso Franciéli Lima de Sá, pela ajuda, dedicação, incentivo e confiança em me orientar.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Nos dias atuais a energia elétrica se tornou essencial para o ser humano, se manter e tornar mais confortável sua sobrevivência. Para suprir essa demanda energética sem causar grandes danos ambientais buscam-se fontes de energias renováveis aonde vem em grande crescimento a energia eólica. Atualmente a energia eólica é considerada limpa sem causar grandes impactos ambientais, porém necessita um estudo detalhado do local onde se pretende instalar uma central de usinas eólicas para que se tenha um bom aproveitamento energético sem alto custo de produção. Este trabalho tem como objetivo demonstrar o funcionamento e componentes de um aerogerador, analisar as regiões com potencial de geração de energia eólica no estado do Rio Grande Do Sul, bem com sua análise econômica e seus impactos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Energia. Eólica. Rio Grande Do Sul.

ABSTRACT

Nowadays, electrical energy has become essential for the human being, to maintain and to make his survival more comfortable. To meet this energy demand without causing major environmental damage, we are looking for sources of renewable energy, where wind energy is growing. Currently wind energy is considered clean without causing major environmental impacts, but requires a detailed study of the location where it is intended to install a wind power plant so that one can have a good energy use without high production costs. The objective of this work is to demonstrate the functioning and components of a wind turbine, to analyze regions with potential wind power generation in the state of Rio Grande do Sul, as well as its economic analysis and its environmental impacts.

KEYWORDS: Energy. Wind. Rio Grande do Sul.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL -	Agência Nacional de Energia Elétrica
SIN -	Sistema Interligado Nacional
GW -	Gigawatt
KW -	Kilowatt
MW -	Megawatt
MWh -	Megawatt-hora
TWh -	Terawatt-hora
FC -	Fator de Capacidade
RPM -	Rotações Por Minuto
Proinfa -	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
BNDS -	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
LFA -	Leilão de Fontes Alternativas
IDE -	Investimento Direto Estrangeiro
TJLP -	Taxa de Juros de Longo Prazo
MME -	Ministério de Minas e Energia
ICMS -	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
CONAMA -	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMI -	Interferência eletromagnética
CEPEL -	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
NOS -	Operador Nacional do Sistema Elétrico
RS -	Rio Grande Do Sul
SC -	Santa Catarina

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar.	16
Figura 2 Componentes de uma turbina eólica	21
Figura 3 Custo médio em equipamentos Usinas Eólicas.....	24
Figura 4 Evolução dos Preços da Energia Eólica Contratada nos Leilões	30
Figura 5 Estrutura de Regulação	31
Figura 6 Potencial eólico estimado para o vento médio anual	36
Figura 7 Matriz Energética Nacional.....	37
Figura 8 Gráfico da evolução da Energia Eólica	38
Figura 9 Potência instalada por estado Brasileiro.....	39
Figura 10 Potencial Eólico do Rio Grande do Sul.....	40
Figura 11 Regiões com grande potencial eólico do Rio Grande do Sul.....	42
Figura 12 Sistema Elétrico Gaúcho	43
Figura 13 Área a oeste da Lagoa da Mangueira	44
Figura 14 Área com potencial eólico no municio de Pedras Altas RS	45
Figura 15 Campos no município de Dom Pedrito com grande potencial eólico	46
Figura 16 Campos a oeste da cidade Pinheiros	47
Figura 17 Região de Santana de Livramento.....	48
Figura 18 Planalto no município de São Francisco de Paula.....	49
Figura 19 Região de São José Dos Ausentes.....	50
Figura 20 Campos das cidades de Arambaré e Lagoa dos Patos.....	51
Figura 21 Município de Arroio do sal no litoral norte do estado.	52
Figura 22 Planalto das missões.....	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
1.2	Justificativa	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Introdução e Histórico	14
2.2	Energia Eólica	14
2.3	Massa de Ar	15
2.4	Princípio de Funcionamento	16
2.5	Componentes	18
2.5.1	Considerações Gerais	18
2.5.2	Turbina eólica	18
2.5.3	Pás do Rotor	19
2.5.4	Anemômetro	19
2.5.5	Biruta	19
2.5.6	Rotor	19
2.5.7	Nacelle	19
2.5.8	Caixa de multiplicação	19
2.5.9	Gerador	20
2.5.10	Mecanismo de Controle	20
2.5.11	Freios	20
2.5.12	Torre	20
2.6	Rendimento do sistema Eólico	21
2.7	Classificação dos Sistemas Eólicos	22
3	ANÁLISE ECONÔMICA	23
3.1	Considerações Gerais	23
3.2	Análise Econômica de uma Usina Eólica	23
3.3	Custo de Investimento	23
3.4	Custo de Operação e Manutenção	24

3.5	Taxa da ANEEL	25
3.6	Retorno do investimento (<i>Payback</i>)	25
3.7	Principais Incentivos no Brasil	27
3.7.1	Considerações Gerais	27
3.7.2	Política de Estruturação de Mercado	27
3.7.3	Política Industrial.....	28
3.7.4	Financiamento	29
3.8	Valor da Energia em leilões.....	29
3.9	Regulação do setor elétrico.....	30
4	IMPACTOS DA GERAÇÃO EÓLICA.....	32
4.1	Considerações Gerais	32
4.2	Impacto Ambientais.....	32
4.3	Impacto visual	33
4.4	Poluição Sonora.....	33
4.5	Efeitos de interferência magnética	33
4.6	Uso do Solo	34
5	POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO	35
5.1	Considerações Gerais	35
5.2	Cenário Energético Nacional.....	37
5.3	Taxa de crescimento de mercado.....	37
6	POTENCIAL EÓLICO NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	39
6.1	Considerações Gerais	39
6.2	Regiões com Potencial Eólico no RS	41
6.3	Regiões com potencial eólico	41
6.4	Localização.....	54
6.5	Dificuldade para o aumento do potencial eólico	54
6.5.1	Considerações Gerais	54
6.5.2	Linhas de transmissão.....	54
6.6	Oportunidades do setor.....	55
7	CONCLUSÕES.....	56

8	REFERÊNCIAS	57
----------	--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações no mundo atualmente é geração de energia elétrica, pois se torna cada dia mais essencial para o ser humano se manter e tornar mais confortável sua sobrevivência. Porém juntamente com essa demanda vem a de gerar energia de forma limpa e renovável, visto que a maior parte de energia ainda é produzido de fontes energéticas não renováveis, ou de grande impacto ambiental. Por essa razão tem-se buscado cada vez novas alternativas para geração com a maior economia possível, além da preocupação com o meio ambiente, nessa perspectiva surgem as energias renováveis, entre elas, a energia eólica.

A energia eólica é hoje em dia vista como uma das mais promissoras fontes de energia renováveis, caracterizada por uma tecnologia madura, sendo uma tendência mundial por ser caracterizada como uma forma de energia com poucos impactos, que contribui para a preservação do meio ambiente. Não requer água para sua produção e nem gera gases de efeito estufa, por isso tem visto como a fonte de energia renovável promissora para a produção de energia elétrica, em curto prazo (VRIES et al., 2007)

Neste trabalho será apresentado regiões do Rio Grande do Sul onde se possui um enorme potencial para geração de energia eólica ainda não explorados onde segundo a (Aneel) por ter ventos constantes estas regiões são ideais para geração eólica

A análise será em apresentar, por meio de um estudo o potencial de produção de energia eólica em todo o estado de Rio Grande do Sul bem como uma análise de regiões para crescimento de seu potencial, além de demonstrar o funcionamento de uma turbina aerogeradora, aspectos importantes para implantação de parque eólicos, apresentando os conceitos relacionados ao processo de conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica bem como trazer a importância do aproveitamento da energia do vento para fins energéticos e da contribuição e o crescimento da produção de energia eólica pode representar para o desenvolvimento do Rio Grande do Sul.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Apresentar o funcionamento e componentes de um aerogerador, uma análise econômica, ambiental para sua implantação, e regiões do estado do Rio Grande do Sul com grande potencial eólico.

1.1.2 Objetivos Específicos

Mostrar o funcionamento da geração eólica e como se comporta sua eficiência.

Demonstrar a viabilidade de instalações de novos parques eólicos para aumentar o aproveitamento do potencial de geração no Rio Grande do Sul

Apresentar os principais impactos da geração eólica

Levantar dados de variação de potência em relação à velocidade do vento em diferentes locais do Rio Grande do Sul

Apresentar regiões no estado do Rio Grande do Sul com grande potencial eólico ainda não exploradas.

1.2 Justificativa

Atualmente a questão energética é considerada um fator determinante para o desenvolvimento econômico e social as ações humanas, e com o crescimento da economia surge a demanda de energia com a preocupação da sustentabilidade, ou seja, de forma limpa e renovável.

Nesse contexto a geração de energia eólica se torna uma opção devido as vantagens ambientais e econômica visto que após a implantação não necessita de grandes manutenções.

A escolha do estado do Rio Grande do Sul, se deu através do estado tem uma vegetação e muitas regiões que favorece a implantação de grandes parques eólicos visto que não prejudica o cultivo local, e possui grandes regiões de ventos constantes, sendo um estado com grande potencial para crescimento e desenvolvimento de geração eólica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Introdução e Histórico

Inicialmente a energia eólica foi utilizada pelos Persas, no Séc. V, sem a intenção de gerar a energia elétrica, mas com utilização do vento que, ao atingir uma hélice, impulsiona uma bomba de sucção da água, para um reservatório, e depois utilizada na irrigação de plantações, aproveitando-se a força da gravidade para a sua utilização. É o moinho de vento, cujo mecanismo não sofreu grandes modificações, no passar dos tempos. Os moinhos de vento foram desativados na Europa, por volta do Século XI, durante as Cruzadas. Muitos utilizados na Holanda, para a drenagem de terras alagadas, na criação de áreas de plantio, sua utilização teve um declínio no Século XIX, quando da Revolução Industrial, em que foram substituídos por máquinas movidas a vapor.

A utilização dessa energia para fins mecânicos, como impulsão de barcos a vela, rotação de moinhos, bombeamento e água ou moagem de grãos, é muito antiga. Em contrapartida, seu uso para obtenção de energia elétrica é bem mais recente, havendo relatos de estudo no século XIX, mas sendo consolidada apenas em 1970, onde se viu necessária devido à crise do petróleo (REIS, 2011).

Atualmente, além da utilização para bombeamento de água e processamento de grãos, os aerogeradores geram energia elétrica para grandes centros urbanos, através da conversão da energia cinética dos ventos em energia elétrica sendo uma das futuras fontes mais utilizadas na geração de energia.

2.2 Energia Eólica

A energia eólica é o aproveitamento da movimentação do ar, na forma de vento, abundante fonte de energia, renovável e com baixos impactos ambientais.

Ela é existente devido a movimentação dos ventos, ou seja, é a energia cinética contida nas massas de ar da atmosfera. Uma estimativa da energia total disponível dos ventos ao redor do planeta pode ser feita a partir da hipótese de que, aproximadamente, 2% da energia solar absorvida pela Terra é convertida em energia cinética dos ventos. Este percentual, embora pareça pequeno, representa uma centena de vezes a potência anual instalada nas centrais elétricas do mundo (CRESESB, 2014).

A realização do aproveitamento da energia eólica em energia elétrica consiste na conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também chamadas de aerogeradores, ou seja, uma massa de ar movimenta as pás das torres onde tornam possível o movimento do gerador transformando a massa de ar em energia elétrica.

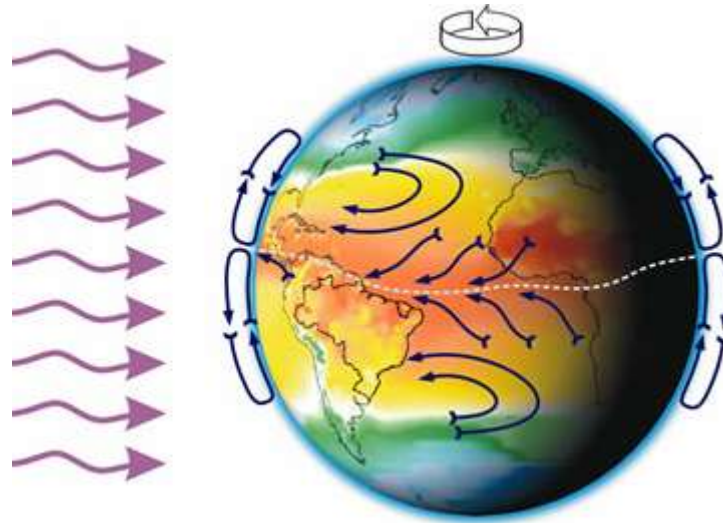
2.3 Massa de Ar

Elemento essencial para a geração da energia eólica é o movimento da massa de ar, fenômeno conhecido como vento.

O vento é uma massa de ar em movimento, e essa movimentação é gerada devido a dois principais motivos: O aquecimento diferenciado das camadas de ar pelo Sol (geração de diferentes densidades e gradientes de pressão) e através dos movimentos da Terra (REIS, 2011).

De maneira mais detalhada, sabe-se que o ar é um conjunto de gases, e por isso, está sujeito à todas as características físicas desses fluidos. Sendo assim, o ar quente se expande mais que o frio, tornando-se menos denso e tendendo a subir e sendo substituído pelo ar frio que é mais denso. Desta maneira, como o Sol transfere maior energia para aquelas regiões em que seus raios solares são perpendiculares ou próximos a esse ângulo, sabe-se que no trópico do Equador (local cujo ângulo de ataque solar é 90°), a temperatura é bem maior que nos polos. Portanto, o vento é principalmente gerado pelo maior aquecimento da superfície da Terra perto do Equador do que perto dos polos. Isto faz com que os ventos das superfícies frias circulem dos polos para o Equador para substituir o ar quente que sobe nos trópicos e se move pela atmosfera superior até os polos, fechando o ciclo. Conforme a Figura 1 (CRESESB, 2014).

Figura 1- Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar.



Fonte (CRESESB, 2014)

Devido à inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao Sol, ao longo da sua translação, a Terra se expõe de maneiras diferentes a ele, gerando assim as estações do ano (variações sazonais) (UFPR, 2009).

Assim, são geradas variações sazonais na intensidade e a geração dos ventos em qualquer local da superfície terrestre, gera o deslocamento das massas de ar continentais que compreendem as monções e as brisas. As monções são ventos periódicos que mudam de sentido a cada estação do ano e para a instalação da energia eólica necessita vários estudos sobre a velocidade e direção do deslocamento do vento.

A geração da energia eólica varia conforme as estações e as horas do dia. O relevo influencia na distribuição e frequência dos ventos, bem com sua velocidade em um determinado local, além disso, para o aproveitamento da energia eólica numa região, as características de desempenho, altura de operação e espaçamento horizontal dos sistemas de conversão deve ser estudada antes da implantação. A avaliação do potencial de vento de uma região é fundamental e primeiro passo de análise para a implantação do recurso eólico.

2.4 Princípio de Funcionamento

A energia eólica tem como fonte as movimentações das massas de ar causadas por um conjunto de eventos astronômicos e físicos como as mudanças de temperatura na atmosfera, os movimentos da terra e a radiação solar.

Através dos princípios da aerodinâmica se pode obter, mediante a massa de ar e da velocidade do vento, a quantidade de energia cinética contida no vento. Aplicando esse princípio as excentricidades do conjunto eólico, pode-se reescrever os princípios da energia cinética para adequá-la ao projeto eólico. Após se obtêm a potência disponível pelo vento, sendo este potencial proporcional à densidade do ar, à área de abrangência do aerogerador e ao cubo da velocidade do vento.

Sabe-se que a velocidade dos ventos é muito inconstante e projetar um conjunto eólico para trabalhar em função de uma única velocidade de vento significa perda de energia que poderia ser convertida. Para isso, os geradores eólicos devem funcionar com velocidade de rotação variável para manter o rendimento aerodinâmico em seu valor máximo independente da velocidade do vento.

2.5 Componentes

2.5.1 Considerações Gerais

A seguir a descrição de cada componente de uma turbina de eixo horizontal utilizado na geração de energia eólica.

2.5.2 Turbina eólica

As turbinas eólicas modernas podem ser classificadas quanto à orientação do rotor em relação ao solo (verticais ou horizontais). Os rotores de eixo horizontal do tipo hélice com três pás são os mais utilizados para o caso de geração de energia elétrica, pois possuem eficiências superiores aos demais modelos (REIS, 2011).

A variação da velocidade do vento faz com que a turbina eólica seja incapaz de transformar a energia do vento em energia mecânica mantendo a rotação do eixo constante. Dessa maneira, torna-se necessária a construção de um grupo gerador eólico-elétrico que seja capaz de gerar energia elétrica e entregar para a rede com frequência constante a baixo teremos a descrição dos componentes desse grupo.

2.5.3 Pás do Rotor

Pás responsáveis por captar a potência do vento e a transmitir para o eixo do rotor. Sabe-se que a velocidade angular do rotor é inversamente proporcional ao raio das pás (Uma fórmula prática para a avaliação da rotação nominal de operação de uma turbina é: $\text{rpm} = 1150/D$), sendo assim, a tendência é que sejam fabricadas pás com raios cada vez maiores. Os rotores no mercado atual variam entre 40 e 80m (CEPEL, 2001);

2.5.4 Anemômetro

Equipamento que mede a velocidade e a intensidade do vento. A medição normalmente é realizada a cada dez minutos, e esses dados são utilizados para controle (REIS, 2011);

2.5.5 Biruta

É um sensor de direção, também utilizada para fins de controle da direção do ar (RUNCOS et al., 2010);

2.5.6 Rotor

Compreende basicamente as pás - três por aerogerador (tipo comercial de grande porte mais comum) e o cubo onde são fixadas (RUNCOS et al., 2010);

2.5.7 Nacelle

É a carcaça montada sobre a torre, onde se situam o gerador, a caixa de engrenagens (quando utilizada), todo o sistema de controle, medição do vento e motores para rotação do sistema para o melhor posicionamento em relação ao vento (CRESESB, 2014);

2.5.8 Caixa de multiplicação

Responsável pelo aumento da velocidade de rotação do eixo de baixa velocidade. Esse dispositivo é necessário pois o rotor, gira a uma velocidade muito baixa (na faixa de 20 a 150 rpm), e os geradores (principalmente os geradores síncronos) trabalham em rotações muito mais elevadas (em geral, entre 1200 a 1800 rpm) (CRESESB, 2014);

2.5.9 Gerador

Realiza a conversão da energia mecânica em energia elétrica. O tipo de gerador utilizado varia de acordo com a aplicação, no caso da geração eólica, encontram-se algumas dificuldades devido à alta variabilidade do torque de entrada e a necessidade de manter a frequência e a tensão constantes além das dificuldades de instalação, operação e manutenção devido ao isolamento geográfico de tais sistemas. Porém, atualmente existem alternativas de conjuntos moto geradores, cada um com vantagens e desvantagens que devem ser analisadas de acordo com a situação. Alguns deles são: geradores de corrente contínua, geradores síncronos e geradores de comutador e corrente alternada (CRESESB, 2014);

2.5.10 Mecanismo de Controle

Responsável pela orientação do rotor, controle de velocidade, controle de carga, etc. Pela diversa gama de aplicação, os mecanismos de controle podem ser mecânicos (velocidade, passo, freio), aerodinâmico (posicionamento do rotor) ou eletrônico (controle de carga) (CRESESB, 2014);

2.5.11 Freios

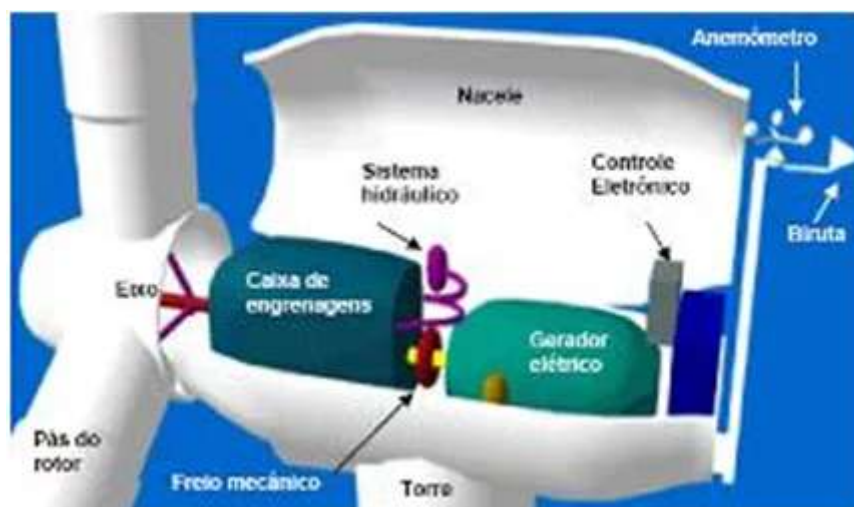
É utilizado como uma forma mecânica de reduzir a rotação das pás. O sistema de freios trabalha em sincronia com os mecanismos de controle eletrônico, sendo acionado quando a velocidade de rotação das pás atinge níveis potencialmente perigosos à estrutura (RUNCOS et al., 2010);

2.5.12 Torre

É a estrutura projetada para sustentar a turbina com todos os seus componentes. As torres podem ser de concreto, metálicas (de aço) ou híbridas (com uma parte de concreto e outra de aço), e podem ser de três tipos: treliçadas, tubulares estaiadas e tubulares livres (RUNCOS et al., 2010);

A Figura 2 apresenta todos os componentes mencionados anteriormente.

Figura 2 Componentes de uma turbina eólica



Fonte: PUCRS

2.6 Rendimento do sistema Eólico

O rendimento completo do sistema eólico relaciona a potência disponível do vento com a potência final que é entregue pelo sistema. Os rotores eólicos ao extraírem a energia do vento reduzem a sua velocidade; ou seja, a velocidade do vento frontal ao rotor (velocidade não perturbada) é maior do que a velocidade do vento atrás do rotor (na esteira do rotor). Uma redução muito grande da velocidade do vento faz com que o ar circule em volta do rotor, ao invés de passar através dele, 59,3% da energia contida no fluxo de ar pode ser teoricamente extraída por uma turbina eólica. (RUNCOS et al., 2010);

Entretanto na prática o rendimento aerodinâmico das pás reduz ainda mais este valor. Para um sistema eólico, existem ainda outras perdas, relacionadas com cada componente (rotor, transmissão, caixa multiplicadora e gerador). Além disso, o fato do rotor eólico funcionar em uma faixa limitada de velocidade de vento também irá contribuir para reduzir a energia por ele captada.

Qualquer sistema eólico começa a funcionar somente a partir de uma certa velocidade, chamada de velocidade de entrada, que é necessária para impulsionar as pás e começar a gerar energia. Quando o sistema atinge a chamada velocidade de corte, ou seja, numa tempestade onde se tenha um vendaval um mecanismo de proteção é acionado com a finalidade de não causar riscos ao rotor e à estrutura desligando o mesmo.

Nos sistemas eólicos, a velocidade de rotação ótima do rotor varia com a velocidade do vento. Um sistema eólico tem o seu desempenho máximo a uma dada velocidade do vento (chamada de velocidade de projeto ou velocidade nominal) que nada mais é do que a velocidade projetada para o aerogerador, essa velocidade for diferente deste seu desempenho não vai estar no máximo.

Projetar um sistema eólico, para um determinado tamanho de rotor e para uma carga pré-fixada, supõe trabalhar no intervalo ótimo de rendimento do sistema com relação a curva de potência disponível do vento local. Isto requer encontrar uma relação de multiplicação, de maneira que se tenha um bom acoplamento rotor/carga. É preciso também, ter mecanismos de controle apropriados para melhorar o rendimento em outras velocidades de vento e aumentar o intervalo de funcionamento do sistema eólico.

2.7 Classificação dos Sistemas Eólicos

Os sistemas eólicos podem ser classificados de acordo com as seguintes categorias:

Classificação por potência instalada (potência nominal): Relacionada ao tamanho da potência instalada conforme a tabela abaixo:

Tamanho	Potência Instalada (kW)
Pequeno	Até 80
Médio	de 81 a 500
Grande	> 500

Fonte: (REIS, 2011)

Classificação quanto as suas aplicações:

Sistemas Isolados ou Independentes - São sistemas isolados da rede elétrica, ou seja, não estão no Sistema Interligado Nacional (SIN), eles são de pequeno porte e possuem um maior custo, devido à necessidade de um sistema de armazenamento, exemplo banco de bateria.

Sistemas Híbridos - Nesse caso o sistema eólico trabalharia em paralelo com outros sistemas de geração, como geradores a diesel e painéis fotovoltaicos. Esse tipo de sistema pode possuir pequeno ou médio porte.

Sistemas Interligados a Rede Elétrica - São sistemas que podem ser diretamente ligados à rede de distribuição por meio dos geradores síncronos ou assíncronos ou ligados indiretamente à rede por meio de inversores acoplados ao gerador de corrente contínua.

3 ANÁLISE ECONÔMICA

3.1 Considerações Gerais

O custo de produção de energia eólica pode ser calculado de diversas maneiras, cada uma com sua característica, sendo voltadas para diferentes aplicações. Os custos podem ser extremamente detalhados, porém, neste trabalho foi decidido por uma análise mais superficial devido ao fato de ser mais abrangente, e ter menos variabilidade de região para região. Abaixo teremos descrito os critérios econômicos detalhadamente de um empreendimento econômico.

3.2 Análise Econômica de uma Usina Eólica

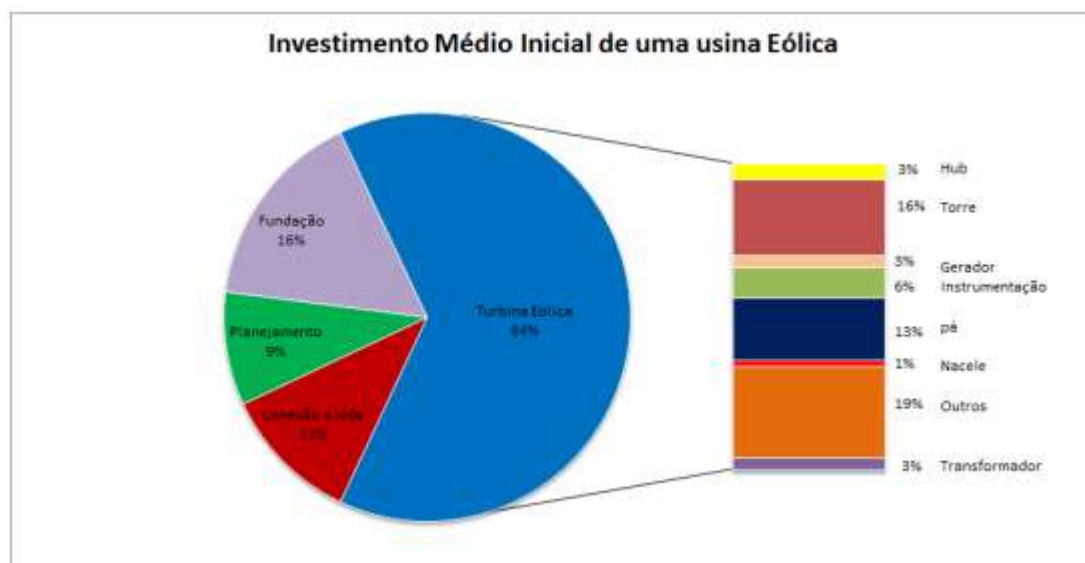
A determinação do custo capital de um sistema de energia eólico, é um dos assuntos mais desafiadores em energia eólica. O problema é complicado pois fabricantes de turbina eólica não estão abertos a compartilhar seus custos de produção. Assim como as empresas não disponibilizam os custos da potência (R\$/kW) instalada na construção de um parque eólico no Brasil. Esses dados são sigilosos grande parte por serem considerados estratégicos (CPFL; GESEL, 2015) (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2009).

3.3 Custo de Investimento

Segundo o fabricante (Wobben), o valor médio em equipamentos para usinas de médio e grande porte (acima de 30MW) é de R\$4.200.000,00 por MW instalado. Este valor inclui o aerogerador, fundação, instalação elétrica e conexão à rede como indicado na Figura 3. Entretanto, trata-se de uma consideração genérica, visto que os valores variam de acordo com o diâmetro do rotor, localização da instalação, altura da torre, velocidade do vento entre outros.

A Figura 3 apresenta o custo médio em equipamentos usinas eólicas

Figura 3 Custo médio em equipamentos Usinas Eólicas



Fonte: Adaptado de MANWELL, MCGOWAN e ROGERS (2009)

Dentre os 19% do custo corresponde a o termo outros, está o custo do transporte dos equipamentos, instalações das estações e a logística para instalação.

Conforme indicado em ABDI (2014), o Brasil apresenta sérios problemas em relação à logística. Como os produtos transportados são de tamanhos acima de limites dimensionais e de peso, não há malhas rodoviárias adequadas e caminhões especializados, e as estradas já existentes são de qualidade ruim. Sendo assim, além do tempo de entrega aumentar consideravelmente, o valor do frete encarece muito os materiais.

3.4 Custo de Operação e Manutenção

Após a pesquisa, projeto e a instalação das turbinas eólicas, o custo de Operação e Manutenção é a fonte de gasto mais importante. De acordo com Custódio (2010), o custo de operação e manutenção é baixo, na ordem de 2% do preço dos aerogeradores por ano.

No Brasil, os serviços de operação e manutenção são realizados pelos próprios fabricantes do aerogerador em parceria com empresas já consolidadas no setor elétrico com expertise em outros tipos de usinas (como hidrelétricas e termelétricas). Entretanto, com o vertiginoso crescimento da geração eólica nos últimos 6 anos, tem havido bastante dificuldade em relação aos serviços de operação e manutenção.

A falta de mão de obra especializada, conhecimentos específicos ainda pouco disseminados no setor e custos muitas vezes elevados são alguns dos desafios que investidores

estão enfrentando para garantir tal função dentro dos cronogramas previstos para os projetos e tendo em vista evitar paradas não programadas (ABDI, 2014), (SIMOES, 2015).

3.5 Taxa da ANEEL

Outro encargo correspondente aos parques eólicos é a taxa de fiscalização de serviços de Energia Elétrica paga à ANEEL. Corresponde a 0,5% da renda bruta obtida pela venda da energia. (Custódio, 2010)

3.6 Retorno do investimento (*Payback*)

O *Payback* é o tempo de retorno do investimento realizado na usina. Para analisá-lo, leva-se em consideração critérios como Fator de Capacidade, tempo de vida útil e o tempo de construção, que são descritos abaixo.

Fator de Capacidade - O FC de uma usina eólica tem aumentado bastante à medida que a tecnologia em materiais e altura das instalações avançam. Fatos que permitem um aproveitamento maior e mais eficiente do vento. Foi divulgado por MME (2016a) que dentre os países de maior geração eólica, o Brasil é o que tem o maior fator de capacidade (FC). Sendo esse fator médio de 43%, superando em 65% o dado médio global (TOMALSQUIN, 2016a).

Tempo de vida útil - É uma prática comum tornar o tempo de vida econômico igual ao tempo projetado de funcionamento nos parâmetros especificados pelo projetista de uma usina de energia eólica. Segundo Danish Wind Industry Association (2006), 20 anos é um compromisso econômico útil e rentável.

Tempo de Construção - Como indicado em Simis (2010), uma usina eólica demanda até 18 meses para sua construção. Analisando os leilões realizados para tais usinas, confirma-se que o tempo demandado é de fato baixo, visto que os projetos vencedores dos leilões, têm de 2 a 3 anos desde a realização do leilão até a entrada de operação das usinas. Para o cálculo de *Payback*, foi utilizado o método do período de análise simples de *Payback*, disponível no anexo, e considerada uma usina de 30MW.

Os dados para análise econômica e cálculo do *playback*, inclusive alguns deles foram os seguintes:

Custo de Investimento Segundo a fabricante (Wobben): 4.200.000 (R\$/MW)

Custo de Operação e manutenção Segundo Custódio (2010) é de 2% = 84.000(R\$/MW ano)

Fator de capacidade 43 %

Tempo de construção média de 2 anos.

Vida útil média de 20 anos

Na sua forma de cálculo mais simples (Período de análise simples), o *payback* é expresso pela equação da seguinte forma:

$$SP = Cc / EgPe \quad (A.1)$$

Onde:

SP- Período de *payback* simples;

Cc- Custo do capital de instalação

Eg – Produção anual de energia (KWh/ano)

Pe – Preço obtido pela eletricidade (R\$/kWh)

Sabe-se que a energia gerada ao ano é dada pela equação

$$Eg = P1 * FC * 8760h/ano \quad (A.2)$$

Onde

Eg – Energia anual gerada

P1 – Potência instalada

FC – Fator de capacidade

Desta maneira utilizamos os dados da tabela abaixo para uma torre de 30 MW:

Com isso sabe-se que

$$EG = 30MW * 0,43 * 876h/ano \quad (A.3)$$

Sendo assim a Energia Gerada tem o valor de 113.004 MWh ao ano. Com esse resultado calcula-se o *payback* segundo a Equação A.4

$$SP = 126.000.000 / 113.004 * 145,8 \quad (A.4)$$

Obtendo-se um SP de aproximadamente 8 anos.

Com o cálculo de *payback* foi concluído que o tempo para recuperar todo investimento é de 8 anos. Porém análises mais complexas que consideram parâmetros de financiamento como taxa de juros, duração da dívida, isenções fiscais e entre outros, foram realizados em Melek (2013) e Simis (2010) e foram encontrados valores de 11 e 15 anos respectivamente. Vale frisar que os parâmetros escolhidos são valores médios e estimados, utilizados apenas como base para

comparação com as outras formas de geração, visto que eles variam muito com a região e com a economia do país.

3.7 Principais Incentivos no Brasil

3.7.1 Considerações Gerais

A demanda para o crescimento da industrialização faz com que a utilização de qualquer fonte de energia na matriz energética de um país esteja muito ligada à adoção de políticas que fomentam tal desenvolvimento.

O Brasil tem várias políticas adotadas estímulo da utilização da fonte eólica na sua matriz energética. Apesar de haver um monte de políticas implícitas que afetam o desenvolvimento desta fonte no país, serão analisadas apenas as políticas que ajudam no desenvolvimento de novos parques eólicos.

3.7.2 Política de Estruturação de Mercado

- Proinfa - Criado em 2002, foi o primeiro modelo bem-sucedido do Brasil na inserção de fontes alternativas. Sua legislação introduziu um marco institucional específico para as fontes alternativas (até então inexistentes), meta de expansão para o uso de energia alternativa, que previa a implantação de 54 usinas eólicas, além de uma série de vantagens ao desenvolvimento de tais fontes, como a tarifa-prêmio, estabelecimento de cotas de contratação, contratos de venda de energia de longo prazo (inicialmente de 15 e depois estendidos para 20 anos) e condições favoráveis de financiamento pelo BNDES. Finalizado em dezembro de 2006, o Proinfa foi responsável por 41 projetos de energia eólica, com potência instalada de 964 MW (ELETROBRAS, 2010)

Proinfa não conseguiu atingir a meta estipulada mais ajudou a concluir grande partes dos projetos com alto custo de implantação.

- Modelo de leilões - Se caracterizou como um novo marco regulatório no setor de comercialização de energia no país. Criado em 2004, seu principal objetivo foi aumentar a competitividade entre os empreendedores a fim de minimizar o custo do sistema elétrico, fato que se opunha ao Proinfa, que tinha como principal incentivo a tarifa-prêmio que garantia aos empreendedores remuneração acima do custo de geração. Essa incompatibilidade gerou a

extinção do Proinfa ao final de 2006, e em 2007, foi criado um leilão de fontes alternativas (LFA).

As diferenças dos LFAs em relação aos demais tipos de leilão são que as fontes alternativas ficam livres da concorrência com as fontes convencionais e o preço inicial leva em consideração as características técnicas dos empreendimentos baseados em fontes alternativas. Devido ao alto custo de geração eólica no momento desse leilão, a mesma não foi contratada. Apenas a partir de 2009, quando o governo criou um leilão exclusivo para as fontes eólicas, que sua contratação foi significativa. Foram contratados 71 empreendimentos, totalizando 1.806 MW de potência. Os leilões conseguiram, apenas no ano de 2009, um maior número de contratação de energia eólica que em 4 anos de Proinfa. Após 2009, o número de contratações só aumentou e, conseqüentemente, o preço da geração eólica diminuiu. Com menor preço, aumenta-se competitividade, não sendo mais necessário o leilão exclusivo para tal geração (GABRIELA; PODCAMENI, 2014).

3.7.3 Política Industrial

Como a iniciativa da utilização de energia eólica no Brasil foi bem lenta, e teve com escolha uma estratégia de atração de investimento direto estrangeiro (IDE). Para estimular a instalação de indústrias estrangeiras no país, inicialmente o PROINFA exigia um índice de industrialização nacional de 60% das turbinas eólicas. Porém, haviam poucos fabricantes não sendo suficientes para suprir a demanda contratada pelo programa no prazo estipulado, gerando-se mais obstáculos para a expansão eólica. Com o fracasso dessa estratégia, o governo suspendeu esse critério para os leilões de energias renováveis. Com tudo, o BNDES dificulta o financiamento para projetos que não cumpram tal exigência. A partir de 2010, com o mercado internacional em crise, a valorização do real frente ao dólar, facilidades de financiamento para equipamentos nacionais pelo BNDES e o contínuo aumento da demanda por equipamentos, o fabricante tem sido cada vez mais atraído a se instalar no país e a aumentar sua capacidade de produção (GABRIELA; PODCAMENI, 2014) (SCHWINTECK; NEDDERMANN, 2012).

Desde 2012, o BNDES vem aumentando as exigências para financiamento, de modo que a industrialização se torne prioritariamente nacional e que novas tecnologias sejam desenvolvidas no Brasil atrasando ainda mais o desenvolvimento de parques eólicos visto que o país ainda apresenta pouco produtividade de produção de turbinas visto a grande demanda que está se tornando.

3.7.4 Financiamento

Um Projeto de Energia Eólica demanda um capital inicial muito alto. Por essa razão, os custos de pesquisa e instalação são majoritariamente financiados. No Brasil, o BNDES é uma das empresas mais importantes de financiamento nessa área.

Segundo Portal Brasil (2016) esse banco aprovou um financiamento de até 80% em Taxa de Juros a Longo Prazo (TJLP), com prazo de financiamento de 17 anos e carência de até 12 meses após a operação comercial. Além do financiamento, há no país alguns incentivos fiscais que também ajudam no investimento de tais usinas.

Esses incentivos estão citados abaixo e foram retirados de MME (2016b).

Isenção de ICMS: - Isenção, até 2021, do Imposto Sobre Circulação de Mercadorias (ICMS) para as operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica (Convênio Confaz 101/97 e aditivos);

Programa Mais Alimentos- Incluiu, desde 11/2015, os equipamentos para produção de energia solar e eólica, o que possibilita financiamentos a juros mais baixos.

3.8 Valor da Energia em leilões

O aumento de parques eólicos e de indústrias produtoras de turbina provoca uma redução no custo de investimento, refletindo também nos preços de energia negociados nos leilões. No PROINFA, a energia foi vendida a um preço médio de 366 R\$/MWh. No primeiro leilão, em 2009, o preço foi reduzido a 195 R\$/MWh. Ao longo dos leilões sub-sequentes esse preço foi diminuindo até atingir o menor patamar de 99 R\$/MWh em 2012. Mantendo-se entre 100 e 150 R\$/MWh até 2017.

O gráfico apresentado na Figura 4 ilustra o explicado anteriormente. De acordo com tais dados, o preço médio reduziu praticamente 73% de 2009 a 2012.

Figura 4 Evolução dos Preços da Energia Eólica Contratada nos Leilões



Fonte (MME, 2016b)

O fato do preço do leilão ter caído drasticamente e ter se mantido em um intervalo praticamente constante indica a queda dos custos pois os preços de venda de energia são baseados no custo de geração e investimento acrescidos de um valor tal que haja retorno econômico para o empreendedor. Dessa maneira, observa-se a alta competitividade dessa fonte no setor energético, assim como a tendência de se manter nessa posição ou até mesmo aumentar devido a sua base de ser sustentável.

3.9 Regulação do setor elétrico

No final do século passado o mundo passou por consideráveis transformações políticas e econômicas e um resultado importante dessas transformações foi a incapacidade de investimento do estado fazendo com que este passasse de Estado empreendedor para Estado regulador, delegando a condição de prestação da grande maioria dos serviços públicos para a iniciativa privada (SANCHES, 2002).

Neste novo cenário, o estado tem um papel muito importante de regular com um conjunto de regras aplicados no setor corrigir as imperfeições do mercado. Como podemos conferir na Figura 5.

Figura 5 Estrutura de Regulação



Fonte: ANEEL, 2004

4 IMPACTOS DA GERAÇÃO EÓLICA

4.1 Considerações Gerais

Como toda a fonte de geração de energia intervém nas características do ambiente, logo ela gera impactos, apesar de ser pequenos referentes a outras fontes de energia, com a geração de energia eólica não poderia ser diferente, e os principais impactos são a morte das aves que se chocam nas torres, a alteração da paisagem local, ruído causado pelo movimento das turbinas eólicas, entre outras.

4.2 Impacto Ambientais

Impacto ambiental de acordo com CONAMA (1986) significa qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por alguma forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas, que direta ou indiretamente afetam a sociedade.

O uso da energia eólica tem benefícios substanciais para o meio ambiente. Isso se deve ao fato desse tipo de geração não emitir quantidades significativas de gases poluentes, tanto na sua fabricação quanto no seu funcionamento. A redução da emissão de gases, significa uma melhor qualidade de vida e preza pela conservação do meio ambiente (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2009).

As turbinas eólicas provocam alguns impactos na vida das aves. Alguns deles como mortalidade por colisão, mudança de hábitos migratórios, alimentícios e de reprodução assim como a redução de habitats (COLSON, 1995). Existem espécies de pássaros muito sensíveis à mudança de habitat. Dessa maneira, exige-se um critério muito grande na escolha da localização de parques eólicos, assim como um contínuo monitoramento.

Além da correta escolha da localização, algumas medidas podem ser realizadas para a mitigação dos efeitos. Tais como a instalação de radares de modo a detectar bandos de aves se aproximando, exigindo a parada das turbinas (DERMOTT, 2009). A construção de menor quantidade de turbinas em maiores dimensões, reduzindo a velocidade de rotação e o número de estruturas. Construção de linhas de transmissão subterrâneas, evitando o eletrocutamento das aves. Mudança no design de torres, pois as treliçadas estão relacionadas ao maior número de mortes (COLSON, 1995).

4.3 Impacto visual

O fator estético também é motivo de preocupação dos engenheiros projetistas. Porém, esse é um critério difícil de ser quantificado, pois varia muito com o ponto de vista, com o local em que a usina será implantada e alguns outros fatores. Apesar de sua natureza subjetiva, os profissionais dessa área são treinados para fazer julgamentos sobre o impacto visual baseados nos seus conhecimentos da composição visual do local e identificando elementos como clareza visual, harmonia, equilíbrio, ordem e hierarquia (STANTON, 1996)

4.4 Poluição Sonora

O problema associado com o barulho das turbinas eólicas tem sido um dos impactos ambientais mais estudados na área de geração eólica. O nível de barulho pode ser medido, mas assim como outros problemas ambientais, a maneira como o público vai perceber esse barulho, é um critério subjetivo (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2009).

Em geral as usinas eólicas estão em locais ermos que possuem pouco barulho de fundo, evidenciando o som das turbinas. Sendo assim, uma maneira de mitigar o problema seria implantar as usinas em locais já barulhentos. Outras soluções para reduzir esse problema já estão sendo criadas, como a mudança do desenho da lâmina e modificações na turbina. Todavia, mesmo as turbinas muito bem desenvolvidas geram barulhos através da caixa de velocidade, freio, componentes hidráulicos ou mesmo os dispositivos eletrônicos (TOMALSQUIN, 2016^a)

4.5 Efeitos de interferência magnética

As interferências eletromagnéticas (EMI), são distúrbios eletromagnéticos que interrompem ou obstruem a performance de dispositivos eletrônicos e elétricos. As turbinas eólicas, se localizadas entre dispositivos emissores de ondas eletromagnéticas e o receptor do sinal, podem ter impactos negativos em vários sinais importantes para as atividades humanas, como televisão, rádio, sistemas de transmissão por micro-ondas, telefones celulares e radar (National Academy of Sciences, 2007).

Alguns fatores que mais interferem na EMI são o tipo de turbina, de eixo horizontal ou vertical, as suas dimensões, sua velocidade rotacional, material de construção da hélice sua angulação e geometria da torre. Não existe um modelo padrão que resolva todos os problemas de interferência, as soluções são específicas para cada tipo de sinal e para cada local. Dessa

forma já existem em alguns países grupos especializados em identificar potenciais problemas de EMI e em criar soluções adequadas (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2009).

4.6 Uso do Solo

As fazendas eólicas requerem maior utilização de terreno que a maioria das outras tecnologias. São cerca de 4 a 32 hectares de terra por megawatt de capacidade instalada. Essa grande ocupação justifica-se pela necessidade de um distanciamento mínimo entre as turbinas, para que a interferência sobre o vento em outra turbina seja mínima, maximizando a geração de energia (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2009).

Dessa maneira, apesar da grande quantidade de terra necessária, as turbinas eólicas ocupam fisicamente apenas uma parcela pequena desse terreno, sendo o restante inutilizável para os desenvolvedores da usina. No Brasil, por exemplo, uma usina eólica ocupa apenas 5% de todo terreno necessário, deixando os outros 95% para outros fins (NETO; VIEIRA, 2009).

Os desenvolvedores das usinas possuem duas opções em relação ao terreno: comprar ou arrendar. Comprar possui um custo maior e gera um desperdício de terra, visto que os desenvolvedores não usufruiriam das terras excedentes para outros fins. Em contrapartida, o arrendamento é economicamente mais viável, pois os pagamentos são distribuídos ao longo da vida do projeto e os proprietários além de possuírem uma fonte de renda diversificada, podem ainda se utilizar dos terrenos ociosos para agropecuária (NETO; VIEIRA, 2009).

No contrato de arrendamento de terreno devem ser incluídas cláusulas que mantenham a integridade do vento e das turbinas para os desenvolvedores, como o impedimento do plantio de árvores, ou prédios muito altos a uma mínima distância assim como a proibição de caça de animais e da queima de cana-de-açúcar, visto que podem danificar as turbinas. Condições também devem ser feitas para que se conserve o terreno, como a previsão de possíveis ocorrência de danos e consecutivo pagamento de compensações (NETO; VIEIRA, 2009).

5 POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO

5.1 Considerações Gerais

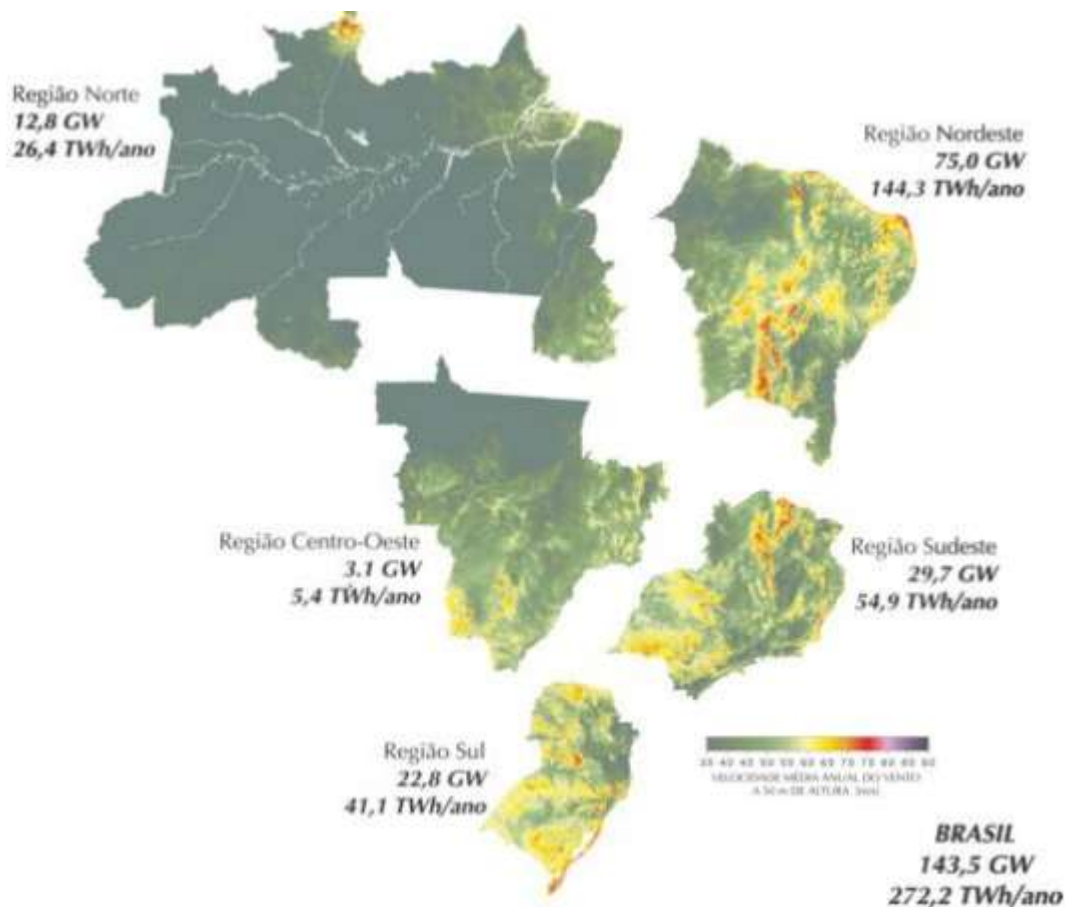
A medição exata de uma área extensa para a instalação de instrumentos é muito cara. Principalmente quando não se tem certeza se o potencial eólico do local, ou seja, velocidade dos ventos será suficiente ou não para a instalação de uma usina.

De maneira a reduzir o investimento, utilizam-se algumas fontes de dados que fornecem informações mais gerais, mas podem dar uma boa indicação do potencial eólico do local de interesse e indicar se é viável realizar medições mais precisas. Uma das formas de se identificar o potencial preliminar das áreas de interesse envolve a utilização de mapas ou atlas eólicos (FADIGAS, 2011).

Para a elaboração do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro disponível em CEPEL (2001), utilizou-se de um abrangente sistema de software de modelamento dos ventos de superfície denominado MesoMap. As simulações foram realizadas levando em consideração diversos fatores como relevo, rugosidade induzida por classes de vegetação e uso do solo, interações térmicas entre a superfície terrestre e a atmosfera.

A Figura 6 ilustra o potencial eólico-elétrico estimado das regiões brasileiras. Quanto mais próximas de violeta as cores são, maiores são as velocidades do vento naquela região. Nota-se que a região Nordeste e Sul são as regiões que possuem maiores potenciais, totalizando quase 70% do potencial total estimado do Brasil inteiro, que é de 143 GW.

Figura 6 Potencial eólico estimado para o vento médio anual



Fonte: (CEPEL, 2001)

Apesar do Atlas Brasileiro ser de grande confiabilidade e ser um bom material de estimativa do potencial eólico, uma das principais consultorias internacionais na área de energia eólica, o DEWI, estima que o potencial eólico em 2015 no Brasil é de 500 GW, considerando os últimos desenvolvimentos tecnológicos (excluindo-se o potencial offshore). (Portal Fator Brasil, 2015).

Compreende-se pela reportagem, que o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, estima de maneira correta a intensidade do vento, porém devido ao crescimento do setor eólico no país e aos avanços tecnológicos, hoje pode-se considerar que o potencial do país é de aproximadamente 4 vezes maior que o de 2001.

O grande potencial eólico brasileiro, apresenta um comportamento intermitente devido a variação da potência gerada ao longo do dia para noite por exemplo. Fato que dificulta a previsão, gerando preocupações do ponto de vista do Sistema Interligado Nacional (SIN) e do Órgão Nacional do Sistema (ONS), pois deve-se saber com certa antecedência quais usinas serão despachadas, além da obrigatoriedade de manutenção dos padrões de qualidade do

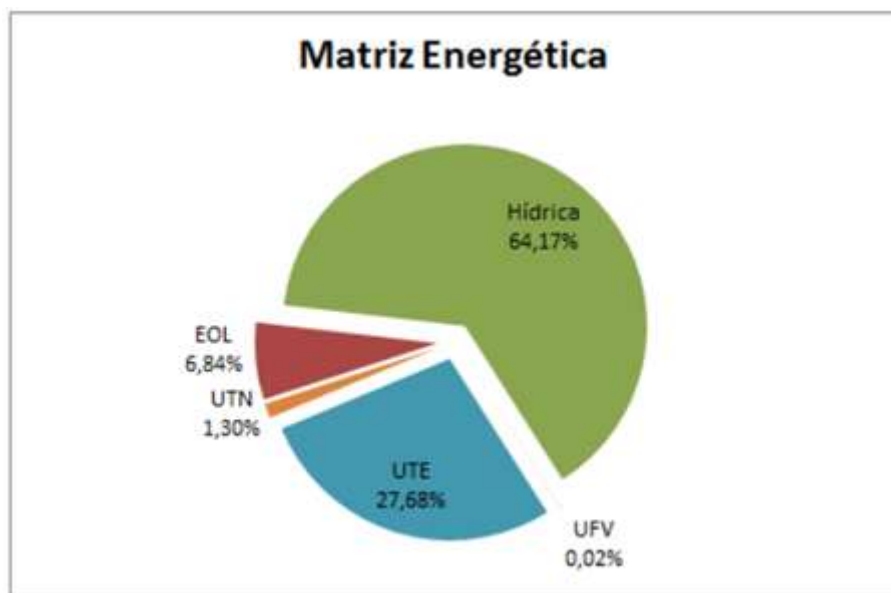
despacho da energia e da necessidade de usinas de reserva, caso haja período de seca e baixa geração eólica para não gerar uma falta ou excesso de energia na rede.

Apesar das usinas eólicas não operar sozinhas devido à sua mudança constante de geração, sua participação no SIN, reduz o e o esvaziamento das reservas de água das usinas hidrelétricas, diminuindo o acionamento das termelétricas.

5.2 Cenário Energético Nacional

Segundo ANEEL (2016), a capacidade instalada e em operação no país, incluindo a parcela de energia importada, totaliza cerca 151.529 MW em 2017, sendo a participação de cada fonte energética dividida de acordo com a Figura 7.

Figura 7 Matriz Energética Nacional



Fonte: (ANEEL, 2016)

A maior parte cerca de 64,17% de forma Hídrica através de usinas hidrelétricas, 27,68% através das UTE (Usinas Termelétricas) a base da queima de carvão e gás.

A energia eólica já representa 6,84% vista que teve o início da sua aplicação em 2002 seu potencial vem aumentando, e por último as UTN (Usinas Termonucleares) que representa 1,30% do potencial brasileiro.

5.3 Taxa de crescimento de mercado

Com a crise energética vivenciada no Brasil desde o início da década de 2000, quando uma grande seca diminuiu o nível de água nas barragens hidrelétricas no país, foi evidenciada

a necessidade da diversificação da matriz energética brasileira para o suprimento da atual demanda e de demandas futuras. Somando-se esse fato ao excelente potencial eólico do Brasil, aos incentivos criados para implantação dessa fonte de geração e a crise internacional de 2010, o mercado eólico tem se tornado cada vez mais atrativo e sua produção tem aumentado muito de um ano para outro.

Atualmente segundo a revista (Exame 2018) o Brasil conta com mais de 13 GW de capacidade instalada de energia eólica em mais de 520 parques eólicos, o que significa cerca de 6.600 aerogeradores em operação pelo País, 80% deles no Nordeste. Essa infraestrutura gerou, no ano passado, 40.46 TWh de energia, representando um crescimento de 26,2% em relação à geração do ano anterior e abastecendo, mensalmente, uma população de cerca de 67 milhões de pessoas (cerca de 22 milhões de residências).

Na Figura 8 podemos observar a evolução da energia eólica brasileira.

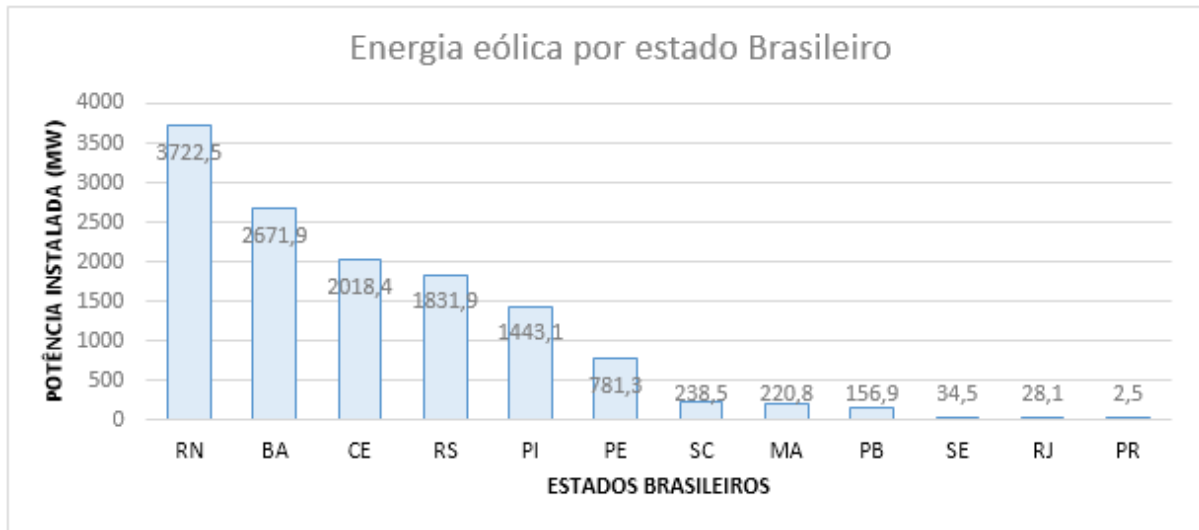
Figura 8 Gráfico da evolução da Energia Eólica



Fonte: Adaptado da revista Exame, (2018)

Atualmente há 524 parques eólicos já em operação e em implantação estão localizados principalmente nas regiões costeiras dos estados da Bahia, Rio Grande do Norte, Ceará, Rio Grande do Sul, Piauí, Pernambuco, Maranhão, Santa Catarina e Paraíba. A Figura 9 mostra a quantidade de potência instalada por estados onde há geração eólica no Brasil.

Figura 9 Potência instalada por estado Brasileiro



Fonte: Adaptado da revista Exame, (2018)

6 POTENCIAL EÓLICO NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

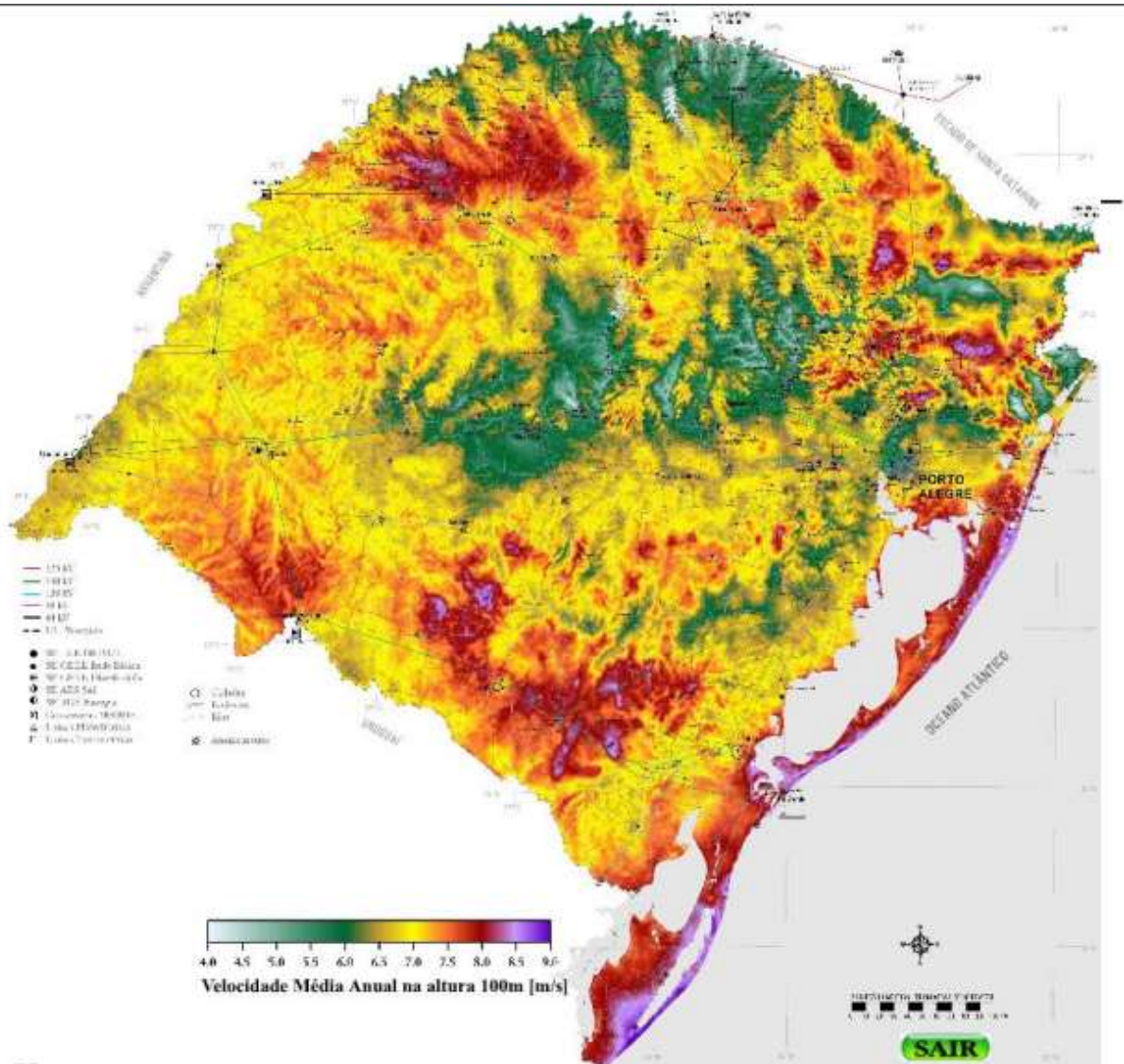
6.1 Considerações Gerais

O Rio Grande do Sul esteve à frente na implementação do 1º parque eólico, e atualmente é o 4º Estado no ranking nacional de capacidade de geração de energia elétrica a partir de ventos, conta com 1,82 GW instalados, distribuídos em 80 parques eólicos, e possui mais três parques em construção. É considerado como Estado com maior potencial de geração de energia eólica.

O mapa eólico do Rio Grande do Sul é muito importante para políticas públicas e para o incentivo ao investimento da energia eólica, uma vez que indica as regiões com maiores potenciais de vento e de produção de energia a partir dessa fonte. Nele contém informações detalhadas sobre os regimes de ventos no Rio Grande do Sul, obtidas a partir da mais rigorosa e atualizada metodologia, as quais tornam possível identificar os locais mais propícios para implantação de parques eólicos.

Na Figura 10 podemos observar que a região do estado do Rio Grande de Sul possui uma vasta área de ventos em alturas que variaram de 80 m a 120 m com velocidades média de 7 a 9 metros por segundo consideradas ideais para a instalação, garantido ser o estado com as melhores características para instalação de novos parques eólicos.

Figura 10 Potencial Eólico do Rio Grande do Sul



Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (2014).

Em 2014, foi lançado o Atlas de Energia Eólica do Rio Grande do Sul com medições de potencial eólico e regime de ventos relativas ao Estado e seus municípios, além de outras informações fundamentais para o planejamento e a tomada de decisão sobre novos investimentos. A partir destas medições, verificou-se que o Rio Grande do Sul é o Estado brasileiro que possui maior potencial eólico: São 103 GW em torres de 100 metros de altura e 245 GW em torres de 150 m. (Atlas Energia Eólica).

6.2 Regiões com Potencial Eólico no RS

Com aproximadamente 80 parques eólicos no Rio Grande do Sul, resultam no 4º Estado no ranking nacional de capacidade de geração de energia elétrica e possui 5 dos 8 maiores parques eólicos do Brasil, que são:

➤ Parque Eólico de Osório:

Localizado na cidade de Osório (RS) é o 2º maior complexo de parque fornecedor de energia eólica da América Latina e o quarto maior do mundo em operação, desde 2006. O parque é composto de 150 unidades geradoras com 98 metros de altura, atingindo com as pás dos aerogeradores 135 metros de altura tendo uma capacidade instalada de 300 MW potência suficiente para abastecer anualmente o consumo residencial de cerca de 650 mil pessoas (50% da população de Porto Alegre)

➤ Parque Eólico Giribatu:

Localizado no município de Santa Vitória do Palmar, no extremo Sul gaúcho, o parque possui 129 unidades geradoras com uma capacidade de 258 MW de potência instalada ocupando um terreno de 4,8 mil Hectares.

➤ Parque Eólico Elebrás Cidreira I:

Localizado em Tramandaí o parque eólico entrou em operação comercial em 2014. São 31 unidades geradoras com potência instalada de 70 MW. Energia limpa e renovável que abastece mais de 2.000 pessoas.

➤ Complexo eólico Cerro Chato:

Localizado em Santana do Livramento (RS), a 500 km de Porto Alegre, é uma obra da Eletrosul, é formado por três parques eólicos de 30 MW cada e 45 aerogeradores, com torres de 108 m de altura e diâmetro de 82 m. Foi o primeiro empreendimento do leilão exclusivo de energia eólica, realizado pelo governo federal em dezembro de 2009.

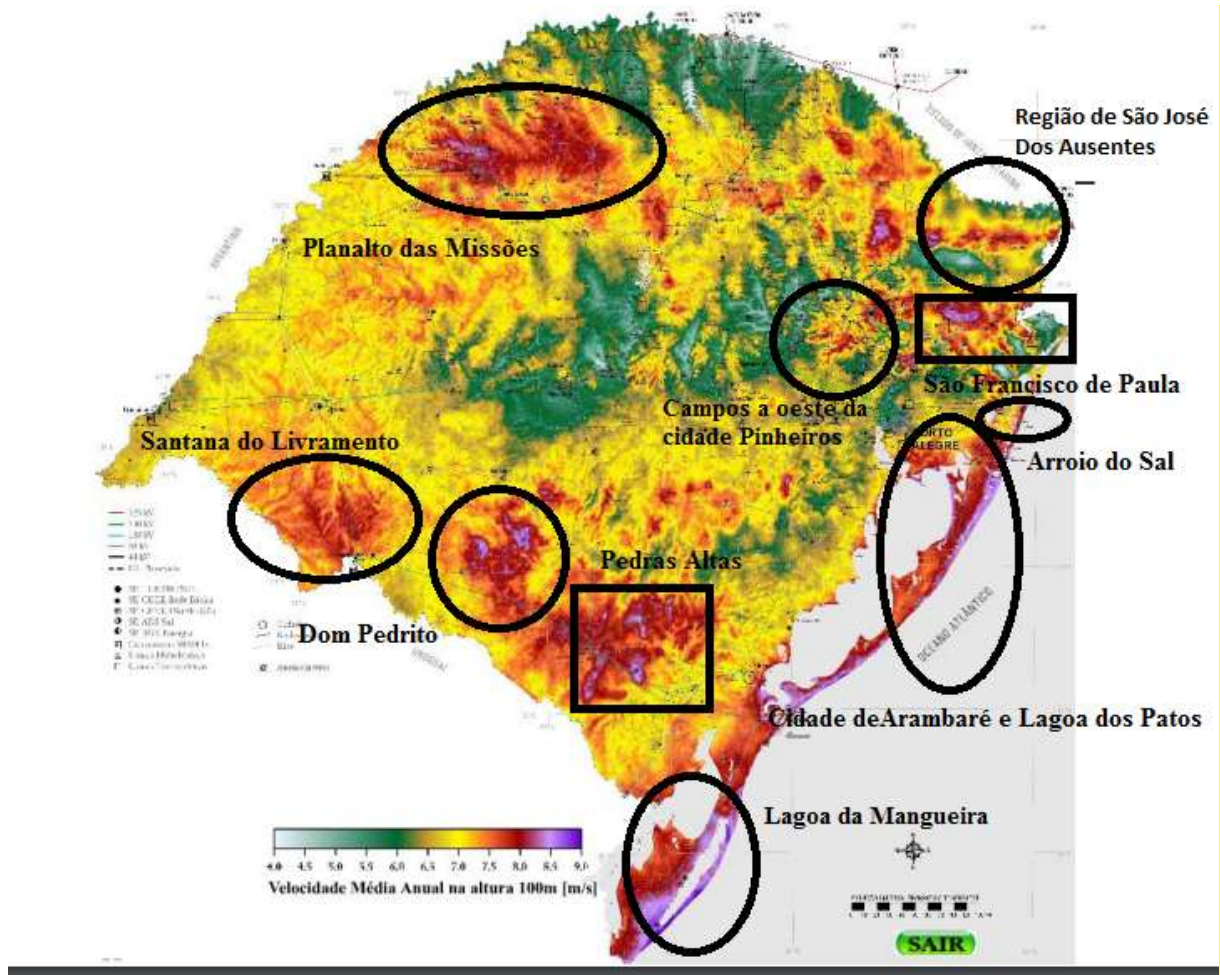
Apesar de contar com 80 parques eólicos o estado possui muita área consideradas ideias para a construção de novos parques eólicos como os grandes benefícios os quais veremos a seguir.

6.3 Regiões com potencial eólico

Rio Grande do Sul apresenta diversas áreas propicias a geração de energia eólica devido, a apresentar grandes serras ou até mesmo nas grandes planícies onde há o deslocamento de massa de ar é constante com uma boa velocidade média, sendo assim ideal para a geração eólica,

Na Figura 11 estão indicados alguns locais onde pode-se aumentar o potencial de geração de energia elétrica através da geração da energia Eólica.

Figura 11 Regiões com grande potencial eólico do Rio Grande do Sul.

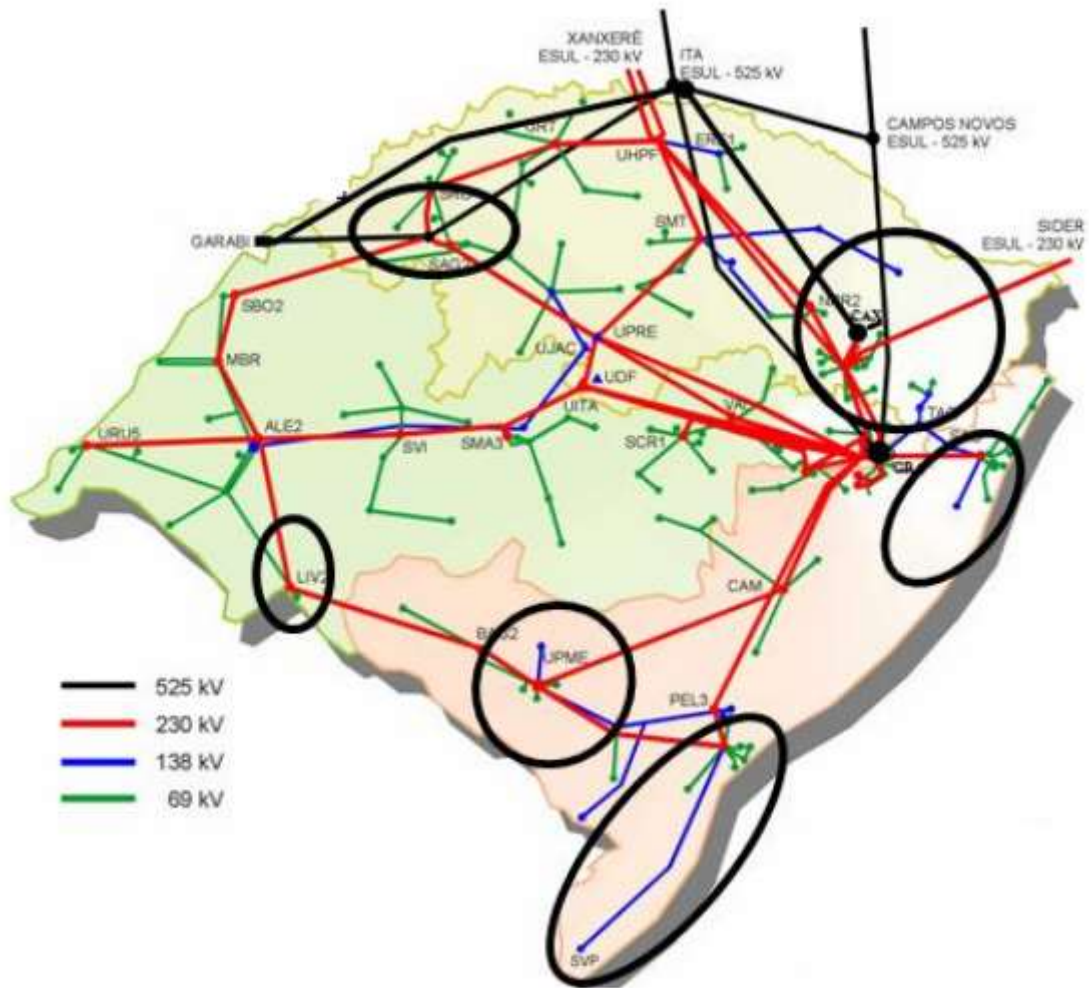


Fonte: Adaptado de Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (2014).

Há muitas regiões com ótimo potencial eólico no Rio Grande do Sul, favoráveis a instalação de novos parques Eólicos.

Na escolha dessas áreas foi levado em consideração o sistema elétrico gaúcho onde se encontra conexão elétrica favoráveis para o aumento do potencial de geração eólica com maior facilidade visto que a sua distribuição já está pronta, conforme a Figura 12

Figura 12 Sistema Elétrico Gaúcho



Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (2014).

Neste estudo faremos análise de 10 locais indicados na Figura 11 onde alguns ainda sem nenhum desenvolvimento e outros que já até tem o projeto iniciado de desenvolvimento de energia eólica, porém, ainda não foram desenvolvidos, que são:

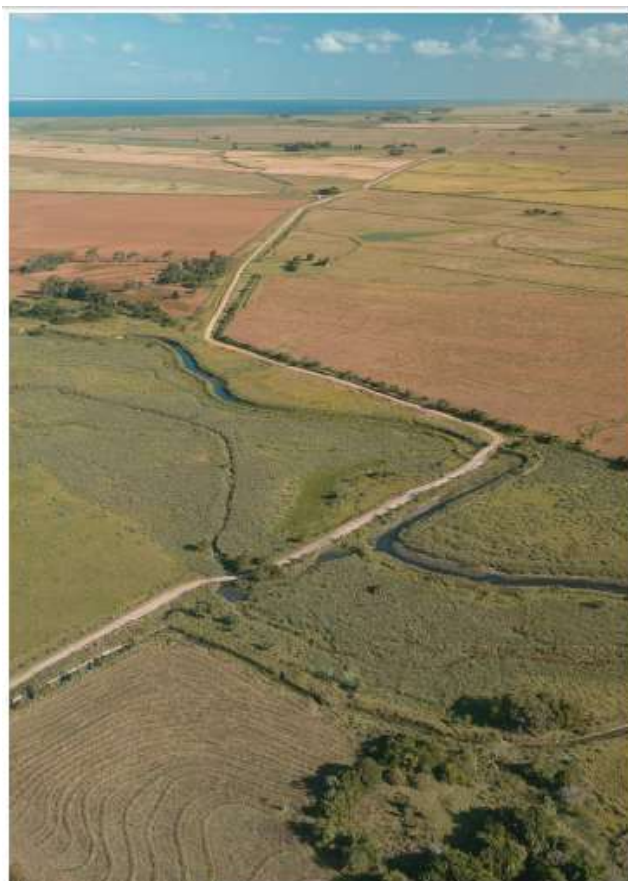
➤ Lagoa da Mangueira

Na figura 13 representa uma área a oeste da Lagoa da Mangueira com grande potencial eólico com uma velocidade média segundo o atlas eólico do Rio Grande do Sul de 9 metros por segundo a uma altura de 100 metros.

A Lagoa da Mangueira tem 123 quilômetros de extensão e uma área total de 800 quilômetros quadrados. Está situada no município de Santa Vitória do Palmar. Fica a mais de 500 quilômetros da capital gaúcha, Porto Alegre, quase na fronteira com o Uruguai, sem concentrações urbanas por perto.

Existe um projeto para a instalação do Complexo Eólico Aura Mangueira que na primeira parte do projeto conta a construção de 69 aerogeradores com 3 MW de potência nominal, divididos em 12 Centrais Geradoras Eólicas (CGEs), que totalizam uma capacidade de geração de 207 MW, considerado um local ideal para produção de energia eólica.

Figura 13 Área a oeste da Lagoa da Mangueira



Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, (2014).

➤ Pedras Altas

Com uma área com a vegetação predominante ser a de pampas, facilita a instalação dos parques eólicos devido a não gerar o desmatamento na construção, gerando baixos impactos ambientais devido a ser uma vegetação de pampas com relevo de ondulações favoráveis a instalação de parques eólicos na cidade de Pedras Altas.

Na Figura 14 ilustra uma área com grande potencial eólico que ainda não se tem projeto de construção de parques eólicos, mas de acordo com atlas Eólico do Rio Grande do Sul apresenta ventos com velocidade média que podem variar em determinados pontos de 7 a 9 metros por segundo a uma altura de 100 metros, considerado ideal para construção de um parque eólico.

Figura 14 Área com potencial eólico no municio de Pedras Altas RS



(Fonte Atlas Eólico do Rio Grande do Sul 2014)

➤ Dom Pedrito

Município de Dom Pedrito, localizado a 230 km da cidade de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, com uma área de 5.192,105 km² apresenta grande parte de seu território a vegetação de pampas, com uma média de vento de 7 a 8 metros por segundo, sendo uma cidade com grande potencial eólico.

A Figura 15 apresenta o local onde se tem um projeto para a construção do complexo eólico Dom Pedrito que até sua conclusão contará com 102 aerogeradores, responsáveis pela geração de cerca de 220 MW de potência instalada. O complexo será dividido em duas fases, a primeira com previsão para 100 MW de potência instalada e a segunda com capacidade para 120 MW. A energia gerada será suficiente para abastecer aproximadamente 550 mil residências e será um importante catalizador do desenvolvimento da região.

Figura 15 Campos no município de Dom Pedrito com grande potencial eólico



Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, (2014).

➤ Campos ao oeste da cidade de Pinheiros

Município de Pinheiros Machado, localizado a 350 km da cidade de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, com uma área de 2.227,897 km² apresenta um relevo, situado num planalto conhecido como Serras de Sudeste, apresenta-se bastante irregular, destacando-se a Serra do Passarinho, Serra do Veleda e Serra das Asperezas.

Devido ser uma região com altitude alta apresenta ventos médio de 7 metros por segundo numa altura de 75 metros, considerados ideal para a geração de energia eólica.

Na Figura 16 ilustra a região onde se tem um projeto de um futuro parque eólico Pinheiro Machado previsão de instalação de 195 turbinas geradoras em uma área de 25000 hectares, com uma geração de 259 MW. Porém ainda não a previsão da sua construção.

Figura 16 Campos a oeste da cidade Pinheiros



Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, (2014).

➤ Santana do Livramento

Município de Santana do Livramento localiza-se a uma distância de 498 km da capital Porto Alegre, a 500 km de Montevideu (capital do Uruguai), 634 km de Buenos Aires (capital da Argentina), uma latitude estando a uma altitude de 208 metros e devido a essa altitude apresenta diversas áreas com vento de velocidade medias de até 8 metros por segundos sendo considerado um ótimo local para implantação de parques eólicos.

Na figura 16 ilustra o local onde foi projetado o parque eólico chamados Cerro dos Trindade, da mesma companhia que já possui os parques de Cerro Chato 1,2 e 3 o projeto do novo parque vai possuir 27 torres com capacidade instalada de 54 megawatts (MW),

Figura 17 Região de Santana de Livramento



Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, (2014).

➤ São Francisco de Paula

Município de São Francisco de Paula é o mais meridional da região da Serra do Nordeste ou Serra Geral, tem 907 metros de altitude e ocupa uma área de 3.273,498 km² a uma distância de 112 Km da capital do estado, Porto Alegre.

Devido à sua região serrana apresenta uma média de ventos segundo o atlas eólico do Rio Grande do Sul de 8 metros por minutos a uma altura de 75 metros, sendo uma boa opção para construção de um parque eólico.

Devido a essas características São Francisco de Paula, já recebeu projetos de vários países inclusive os Estados Unidos e o grupo alemão Innovent este prometendo uma instalação de 500 torres, porem até o momento ainda não saiu do papel.

A Figura 18 ilustra o planalto no município de São Francisco de Paula com grande potencial eólico ainda não explorado.

Figura 18 Planalto no município de São Francisco de Paula



Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, (2014).

➤ Região de São Jose Dos Ausentes

O município de São Jose Dos Ausentes localiza-se a uma distância de 560 km da capital Rio Grande do Sul, situado na divisa com o estado de Santa Catarina, estando a uma altitude de 1.200 metros sobre o nível do mar. Sua latitude e altitude fazem com que o município seja um dos mais frios do país.

Possui uma área de 1175,4 km² e devido a sua altitude apresenta ventos com velocidade média de 8 metros por segundos, sendo uma ótima região para a produção de energia elétrica.

A Figura 19 ilustra o local onde existe um grande potencial para construção de parque eólicos, essa região de São Jose Dos Ausentes já abriu até um leilão de energia dos ventos pelo governo federal para a implantação dos 120 aerogeradores de energia eólica. As unidades seriam distribuídas em 39 propriedades, porém foi outro projeto que ainda não saiu do papel.

Figura 19 Região de São José Dos Ausentes.



Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, (2014).

➤ Cidades de Arambaré e Lagoa dos Patos

Sendo duas cidades vizinhas com características próximas junta somam uma área de aproximadamente de 10700 Km² distantes 160 km da capital Rio Grande do Sul.

A Figura 20 ilustra grandes campos propícios a instalação de parques de energia eólica devido a possuir ventos contantes numa média de que varia segundo o atlas eólico do Rio Grande do Sul de 7 a 10 metros por segundos vindos de correntes marítimas do oceano atlântico devido a sua localização no litoral do estado.

Apesar de ainda não se ter nenhum projeto no local são cidades que tem um grande potencial para geração de energia eólica.

Figura 20 Campos das cidades de Arambaré e Lagoa dos Patos



Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (2014).

➤ Arroio do Sal

A Figura 21 ilustra a grande região no litoral Norte do Estado Arroio do Sal está localizado junto ao Oceano Atlântico o balneário está aproximadamente na metade do litoral norte do estado, distando 175 km da capital Rio Grande do Sul. Possui 27 quilômetros de costa com o Oceano Atlântico região onde possui segundo atlas eólico do Rio Grande do Sul ventos constantes que chegam a uma média de 9 metros por segundos ideais para geração de energia eólica.

Ainda não possui nem um estudo específico para criação de parques eólicos, mas por possuir ventos constantes vindos de correntes marítimas do oceano atlântico é um ótimo local para a instalação de um parque eólico.

Figura 21 Município de Arroio do sal no litoral norte do estado.



Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (2014).

➤ Planalto das Missões

A Figura 22 ilustra os municípios que compõem o Planalto das Missões são Ijuí, Santo Ângelo e Palmeiras das missões estando a uma altitude de aproximadamente 639 metros.

Sobre essa região do planalto meridional do Rio Grande do Sul a cobertura do terreno contempla áreas de pastagens, fragmentos de florestas estacionais e áreas agrícolas, os ventos médios anuais segundo o atlas eólico do Rio Grande do Sul atingem 8 metros por segundos nas maiores elevações.

Destaca que já houve estudo nessa área e foi baseado em modelos, sem a validação de medições de vento no local. Mas devido a sua altitude é considerado um ponto ideal para a construção de um parque eólico.

Figura 22 Planalto das missões



Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (2014).

6.4 Localização

Além das várias região com alto potencial eólico outra vantagem relativa à indústria eólica no Rio Grande do Sul é a localização próxima aos mercados argentino e uruguaio, com sua matriz de renováveis em expansão, a existência de redes de pesquisa e de desenvolvimento de tecnologias nas universidades gaúchas, recursos humanos qualificados e setor organizado, com representações das universidades, dos setores público e privado, com empresas de desenvolvimento de projetos, de geração e distribuição e de fabricação de componentes.

6.5 Dificuldade para o aumento do potencial eólico

6.5.1 Considerações Gerais

Devido ao alto potencial para construção de parques eólicos na geração de energia elétrica o estado encontra dificuldades para o aumento desse potencial devido as linhas de transmissão estarem num estado precário como veremos no item a seguir.

6.5.2 Linhas de transmissão

Atualmente as linhas de transmissão do Rio Grande do Sul não fornecem a qualidade necessária para um aumento de potencial na geração, isso se deve, pelo atraso de obras de linhas de transmissão, que são de responsabilidade da Eletrosul. A avaliação do Ministério de Minas e Energia (MME) foi simples: não adianta o Rio Grande do Sul ter condições de gerar, senão puder transmitir, especialmente para fora das fronteiras gaúchas. Ter capacidade de escoamento de energia é um pré-requisito essencial para projeto de aumento de geração eólica.

O potencial gaúcho na geração de energia eólica é reconhecido pelo próprio Operador Nacional do Setor (ONS). Segundo o representante do ONS, Manoel Botello, a preocupação é porque a produção na região Sul do Estado não tem como ser escoada, o que compromete o sistema energético gaúcho. “Sem linhas de transmissão, o Rio Grande do Sul não tem margem de segurança. As maneiras atuais de ligação, poderiam provocar um colapso no sistema, em outras palavras, um apagão.

Em 2015, a Eletrosul conquistou esse pacote de obras, que integrou o leilão da Aneel do ano anterior. Ele previa a construção de sete subestações, 14 ampliações e de 18 linhas de transmissão, em um investimento de R\$ 3,2 bilhões. Concretizado, o projeto duplicaria o sistema elétrico do Estado, porém as obras ainda estão em andamentos e o segundo a Aneel o prazo de conclusão e para somente 1º semestre de 2019.

6.6 Oportunidades do setor

Atualmente há 118 projetos de parques eólicos com viabilidade econômica e ambiental monitorados pelo Governo do Estado, ideal para aumento do potencial em geração de energia elétrica, as características e o potencial gaúcho indicam demanda futura por aerogeradores, nacelles, pás e torres, além de serviços de manutenção e reposição de equipamentos.

A instalação de uma fábrica de pás atenderia aos parques localizados no estado e em mercados vizinhos, em crescimento, como o Uruguai e Argentina. A fabricação dos componentes eletrônicos que constituem as nacelles pode se beneficiar, no Rio Grande do Sul, de uma indústria consolidada, profissionais com expertise e uma rede de ensino e de pesquisa voltada ao desenvolvimento do setor. Gerando uma oportunidade de instalação de novas plantas e ou de conversão de plantas existentes do setor eletroeletrônicos, visando a fabricação de componentes para as nacelles.

Sendo uma grande oportunidade de crescimento para o estado, além da geração de empregos, a facilidade de conseguir peça e equipamentos para a geração de energia elétrica através da geração eólica, aumentando ainda mais o potencial de geração do estado do Rio Grande do Sul.

7 CONCLUSÕES

A partir desta análise preliminar, podemos obter conclusões que existe uma grande deficiência no processo de geração de energia no Brasil, sendo uma das alternativas o aumento de construções de parques eólicos visto que, é uma energia limpa e renovável sem grandes impactos ambientais.

A viabilidade econômica, também auxilia no seu crescimento visto que seu retorno de investimento é de 8 anos e seu custo de operação e manutenção é de apenas 2 % do preço dos aerogeradores por ano.

No Rio Grande do Sul tem uma grande viabilidade na construção de parques eólicos visto que apresenta diversas regiões onde a vegetação predominante de pampas, e altas serras com ventos constantes seja um perfeito local para as instalações de grandes parques eólicos, pois não gera grandes impactos ambientais.

Apesar de ter grande capacidade de instalação de parques eólicos a rede de distribuição possui muita defasagem, ou seja, não adianta eu ter a capacidade de gerar se não tiver como transmitir e distribuir a energia para o sistema.

A demanda crescente de energia elétrica e a diversificação da matriz energética impõem um cenário de grandes perspectivas para o setor eólico. Por outro lado, o descompasso entre o planejamento da expansão da produção e do sistema de transmissão de energia elétrica pode ter consequências catastróficas para o crescimento do Brasil, o que causa impedimento no crescimento da energia eólica no Estado do Rio Grande do Sul.

O crescimento do setor eólico traz a possibilidade de implantação de fábricas no estado do Rio Grande do Sul para alimentar a cadeia produtiva de energia eólica, tais como geradores, controladores, inversores, transformadores e nacelles, bem como para prestadores de serviços especializados (engenharia, logística, montagem e manutenção). Com isso, há oportunidade para geração de empregos qualificados, crescimento no setor econômico gaúcho e impacto positivo na agregação tecnológica, na geração de renda e poder de consumo da economia gaúcha. Aumento assim além do potencial econômico seu potencial eólico.

8 REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA (Aneel)

Disponível em; <www.aneel.gov.br> Acesso em 20 set. 2018

Amarante, O. A. C., Silva, F. J. L., Custódio, R.S., 2002. Atlas do Potencial Eólico: Rio Grande do Sul. Brasil.

ARAÚJO, M. Estudo comparativo de sistemas eólicos utilizando modelos probabilísticos de velocidade do vento. COPPE/UFRJ, 1989

BNDES. O setor elétrico. 2002. 121 p. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndespt/Institucional/Publicacoes/ConsultaExpressa/Tipo/Livro/2002127.html>

CEPEL. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. 1. ed. Brasília, DF, 2001. 44 p. Disponível em:http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolicoAtlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf

PINTO, M. Fundamentos de Energia Eólica. Rio de Janeiro: LTC, 2013

VRIES, B.J. M. de; VAN VUUREN, D. P.; HOOGWIJK, M. M. “Renewable energy sources: Their global potential for the first-half of the 21 st century at a global level: An integrated approach”. **Energy policy**, v. 35, n. 4, p 2590-2610, 2007.

CRESESB. Mecanismo de Geração dos Ventos. 2014. Acessado: 28-10-2018. Disponível:http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=211.

BNDES. BNDES divulga novas condições de financiamento a energia elétrica. 2016. Acessado: 10-10-2018. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home>.

MENDES, N. A. S. As usinas hidrelétricas e seus impactos: os aspectos socioambientais e econômicos do ressentamento rural de de rosana - Euclides da Cunha paulista. Unicamp, 2005.

MME. Energia Eólica no Brasil e Mundo. 2016. Acessado: 28-09-2018. Disponível em:[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3894319/Energia+E%C3%B3lica+-+ano+ref++2015+\(3\).pdf/f5ca897d-bc63-400c-9389-582cd4f00ea2](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3894319/Energia+E%C3%B3lica+-+ano+ref++2015+(3).pdf/f5ca897d-bc63-400c-9389-582cd4f00ea2)

MELEK, V. C. Estudo Comparativo de Viabilidade Econômica entre uma usina eólica e uma usina Híbrida. 2013

SCHWINTECK, P. C.; NEDDERMANN, B. O mercado brasileiro de energia eólica. DEWI, 2012. Acessado: 01-10-2018. Disponível em:
https://www.dewi.de/dewi_res/fileadmin/pdf/publications/Magazin_40/02.pdf

GABRIELA, M.; PODCAMENI, V. O. N. B. Sistemas de inovação e energia eólica: A experiência brasileira. 2014.

RODRIGUES, R., & GONÇALVES, J. (2017). Procedimentos de Metodologia Científica (8ª edição ed.). Lages, SC, Brasil: PAPERVEST.

SIMIS, A. Análise de viabilidade econômica de projetos de geração eólica no Brasil. 2010.