

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA-CAMPUS ARARANGUÁ

JOANA EMILIE DA SILVA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

ARARANGUÁ

2015

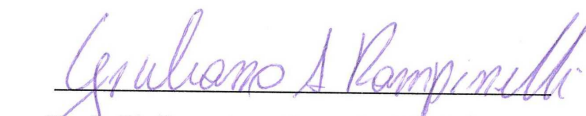
JOANA EMILIE DA SILVA

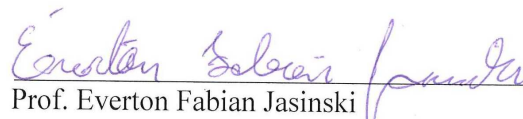
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA**

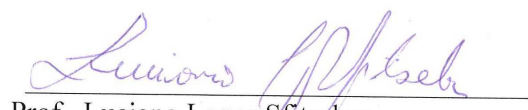
Trabalho de conclusão de curso na modalidade de artigo científico para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina-Campus Araranguá

Aprovado em: 2/12/15

Banca examinadora:


Prof. Giuliano Arns Rampinelli (Orientador)


Prof. Everton Fabian Jasinski


Prof. Luciano Lopes Sfitscher

ANÁLISE DO RECURSO E POTENCIAL EÓLICO DA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA E ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA UMA PLANTA EÓLICA NA CIDADE DE LAGUNA – SC

Joana Emilie da Silva *

RESUMO

O Brasil é considerado um país dotado de diversos fatores favoráveis no que se refere ao recurso eólico, sendo sua grande extensão territorial e altos valores de velocidade do vento, elementos que vem resultando em um aumento no número de empreendimentos na área de energia eólica. Uma das etapas iniciais no estudo de viabilidade de uma usina eólica compreende a análise do recurso eólico da região no qual o empreendimento será localizado. Tal análise se baseia principalmente no parâmetro de velocidade do vento, previsão de potência e o padrão de distribuição no qual os dados ocorrem. Devido tal importância, o presente trabalho tem por objetivo realizar a análise do recurso eólico da região sul catarinense e o estudo de viabilidade de um empreendimento na área de geração de energia eólica na região com os melhores resultados obtidos. Desse modo foram contemplados os municípios localizados no entorno da região de Santa Catarina, sendo eles Araranguá, Laguna, Sombrio, Urussanga e Torres – RS e a capital do estado, Florianópolis. As redes INMET e SONDA foram utilizadas no processo de obtenção dos dados de velocidade do vento e o Software *RETscreen* empregado na análise de viabilidade de econômica de um parque eólico na cidade de Laguna - SC.

Palavras-Chave: Recurso eólico. Sistemas eólicos. Programa de Simulação.

1 INTRODUÇÃO

Uma das fontes de energia renovável que mais vem se destacando nos últimos anos é a energia eólica. Tal fonte se baseia na energia cinética contida em uma massa de ar, comumente chamado como o vento. Desse modo a velocidade do vento (m/s) é o parâmetro

* Graduanda do Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP 88900-000. E-mail: joana_400@hotmail.com

mais visado para caracterizar o vento e conseqüentemente o recurso eólico proveniente do mesmo.

Dentre as diversas localidades consideradas favoráveis para geração de energia eólica no Brasil, o estado de Santa Catarina apresenta pontos onde os valores de velocidade do vento se destacam dos demais. Na região Sul de Santa Catarina os ventos mais fortes se encontram nos entornos do município de Laguna. Em vista disso, parques eólicos já estão em fase de implantação nessa região e análises do recurso eólico de cidades próximas já vem sendo realizadas (DALMAZ, 2007).

Os estudos de análise do recurso do vento tendem a caracterizar o vento de acordo com a sua velocidade média (m/s), direção, distribuição dos dados, através de análises estatísticas, e previsão da potência gerada. A coleta dos dados representa a fase inicial do estudo, sendo necessário no mínimo um período de um ano para que se tenha uma estimativa do recurso eólico e potencial da região.

Dada a notoriedade que vem sendo atribuída a região sul de Santa Catarina no seu aspecto de potencial propício para geração de energia eólica, o presente trabalho visa realizar uma análise dos dados referentes a magnitude da velocidade do vento de seis municípios enquadrados na região de interesse, a partir das redes INMET e SONDA. A partir da obtenção de um valor médio de velocidade do vento é possível fazer uma previsão do parâmetro de densidade de potência, a qual pode ser ainda extrapolada a uma altura de 100 metros. Uma análise estatística deverá ser incluída no estudo de modo a caracterizar o comportamento de distribuição desses dados.

Afim de analisar a viabilidade de um empreendimento eólico na região com valores de velocidade média mais acentuado, o estudo anterior irá fomentar dados para o Software *RETscreen* o qual irá obter índices da análise financeira para o estudo de caso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir estão descritos os principais pressupostos teóricos relacionados à energia eólica e o seu aproveitamento para geração de energia elétrica.

2.1 Energia eólica e tecnologias

O conceito de energia eólica abrange, em geral, o aproveitamento da energia cinética dos ventos em energia elétrica. O vento é resultante de um gradiente de pressão, o qual é

derivado do aquecimento diferencial da superfície terrestre. A radiação solar é responsável pelo aquecimento não uniforme do ar, de modo que as regiões próximas da linha do Equador têm maior incidência de radiação. Assim há um fluxo de ar, fazendo com que as massas de ar mais quentes se elevem na atmosfera, ocasionando centros de baixa pressão próximos a superfície terrestre (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2007).

Pelo fato do recurso eólico ser resultado de uma dinâmica constante do planeta Terra, o mesmo é considerado uma fonte renovável de energia. A utilização desse tipo de energia pode ocorrer em forma de sistemas isolados de pequeno porte, sistemas híbridos e sistemas conectados à rede (MELEK, 2013).

Os sistemas isolados consistem no abastecimento de cargas através do armazenamento de energia em baterias ou outros dispositivos, e são comumente utilizados em sistemas onde não há linhas de transmissão de energia. Os sistemas híbridos se referem a combinação da energia eólica com outra fonte de energia como motores a diesel ou módulos fotovoltaicos. A alternativa mais comum envolvendo energia eólica é a inserção da mesma diretamente na rede elétrica através de grandes parques eólicos. Tais parques podem ser instalados em terra (*onshore*) ou ainda no mar (*offshore*) (Figura 1) (MORELLI, 2012).



Figura 1 - Exemplo de uma usina eólica *offshore*. Fonte: DONG ENERGY, 2015.

Os parques eólicos *offshore* apresentam a vantagem de aproveitar o vento em condições mais favoráveis, sendo mais constantes e com velocidades maiores. Tal alternativa vem sendo bastante explorada nos países Europeus os quais esgotaram as suas áreas de potencial eólico. Entretanto os custos envolvendo energia eólica *offshore* se elevam devido às estruturas de fundamentação e as diferentes condições de suporte das torres, manutenção,

operação e transmissão da energia que tal tecnologia exige (MORELLI, 2012).

Em ambas as tecnologias de produção de energia eólica, *onshore* e *offshore*, o principal dispositivo é o aerogerador. O mecanismo de funcionamento de um aerogerador se baseia na captação da energia cinética do vento através de pás. A Figura 2 apresenta os dois principais tipos de aerogeradores, os de eixo vertical e os de eixo horizontal.



Figura 2 - Aerogerador eixo vertical e eixo horizontal, respectivamente. Fonte: CASCÃO, 2007.

Os aerogeradores de eixo vertical permitem aproveitar o vento ascendente e possuem como vantagem menor custo e início da atividade de geração em valores menores de velocidade do vento. Os aerogeradores de eixo horizontal são os mais comuns em parques eólicos e são predominantemente movidos pela força de sustentação do vento, sendo que possuem mecanismos capazes de permitir que o disco varrido pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento. Tal tecnologia possui maior eficiência e confiabilidade, o que acaba por compensar o maior custo quando comparados aos de eixo vertical (MELEK, 2013)

Desse modo, atualmente consolidou-se a utilização de aerogeradores de eixo horizontal com três pás em grandes parques eólicos. Uma parcela da energia cinética de translação de vento é transmitida às pás em forma de energia cinética rotacional e consequentemente o eixo do aerogerador também gira. Assim o eixo transfere energia de rotação para o aerogerador que, por sua vez, a converte em energia elétrica. Tais componentes ficam abrigados no nacele e podem ser observados na Figura 3 (MELEK, 2013).

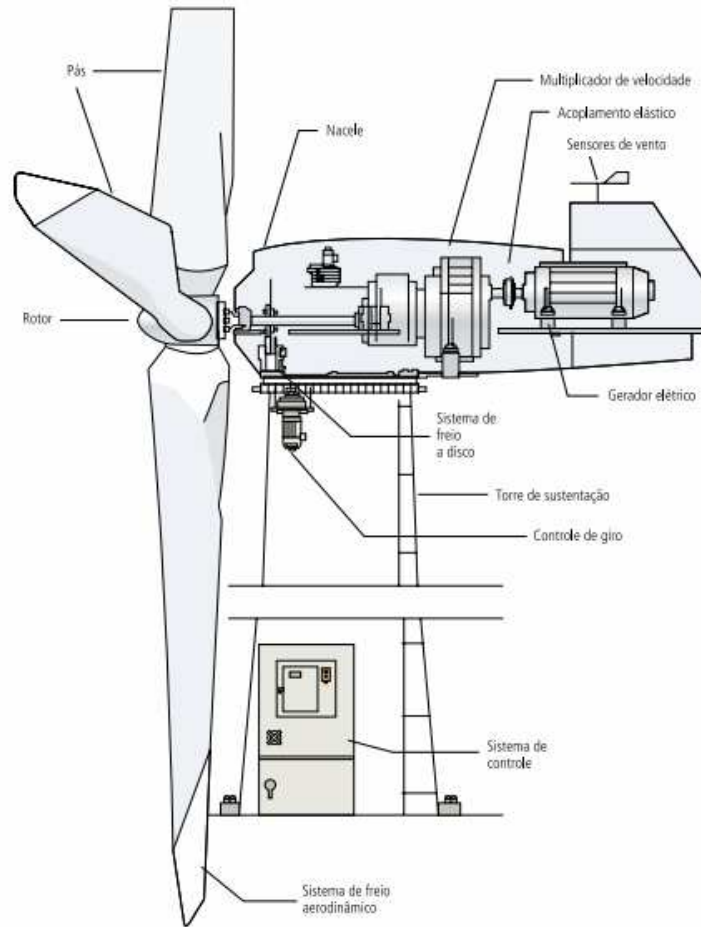


Figura 3 - Esquema de um aerogerador atual e os seus componentes. Fonte: ANEEL, 2005.

Além dos elementos já citados, o aerogerador possui outros importantes dispositivos, tais como os descritos a seguir:

- Sistema de controle – Realiza o monitoramento do sistema;
- Sistema de freio a disco – Freia a rotação do eixo;
- Sensores de vento – Alinha o rotor de acordo com a direção do vento;
- Torre de sustentação – Sustenta o conjunto superior do aerogerador e garante uma altura para rotação das pás longe da superfície;

Muitos modelos de aerogeradores já apresentam um inversor acoplado com a finalidade de converter a corrente elétrica em Corrente Contínua para Corrente Alternada. A potência de um aerogerador é diretamente proporcional ao diâmetro de um rotor e pode ser classificada em pequeno porte – menor que 500 kW, médio porte – 500 a 1.000 kW e grande porte – maior que 1.000 kW. O aerogerador mais utilizado atualmente *onshore* corresponde a potência de 2MW e nos parques *offshore* já são encontradas potências de até 7 MW.

A relação que representa a energia cinética das deslocamentos das massas de ar é apresentada na Equação 1, a qual relaciona uma massa de ar “m” em movimento a uma

velocidade “v” (RAMPINELLI, 2015).

$$dE = \frac{dmv^2}{2} \quad (1)$$

Sendo a massa equivalente ao produto do volume v e densidade ρ , pode-se considerar a relação $\rho = \frac{dm}{dV}$ de modo a se obter a Equação 2 (EPALANGA, 2013).

$$dE = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot dV \cdot v^2 \quad (2)$$

Considerando a expressão $A = \frac{dV}{dx}$, os termos da Equação anterior podem ser descritos através da Equação 3.

$$dE = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot dx \cdot v^2 \quad (3)$$

Ainda pode ser inserido a relação da derivada da posição x em relação ao tempo t , $v = \frac{dx}{dt}$, e dessa maneira a Equação 4 é obtida.

$$dE = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot v^2 \cdot dt = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot dt \quad (4)$$

Sendo a potência a derivada da energia E em relação ao tempo t , a Equação 5 é utilizada para representar a Potência extraída do vento.

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (5)$$

Entretanto não há como extrair toda a energia do vento, pois a natureza de um aerogerador é, de certo modo, incapaz de converter toda a energia cinética do vento. Para efeitos de captação de toda a massa de ar seria necessária uma área circular de modo a barrar todo o vento, e desse modo a velocidade seria nula o que impossibilitaria de se extrair energia.

Por outro lado, se o ar não sofresse nenhum impedimento também não haveria aproveitamento da sua energia cinética. A variável que define a magnitude de aproveitamento de um aerogerador é conhecido atualmente como o limite de Betz C_p , e tem o valor de 59,3%. Sendo assim, a Equação 6 é apresentada como a Potência Máxima Aproveitada Teórica, a qual inclui o limite de Betz (SANTOS; RAMOS; SANTOS, 2006).

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 \quad (6)$$

Ainda assim há perdas no processo de conversão da energia mecânica para energia elétrica e esse parâmetro é representado pela eficiência da máquina eólica η . Assim a Potência Máxima Aproveitada Real é dada pela Equação 7.

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \eta \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 \quad (7)$$

Desse modo é possível ter uma previsão da potência (W) gerada por um determinado aerogerador, com suas dimensões especificadas e um valor constante de velocidade do vento (m/s).

2.2 Cenário mundial da energia eólica

A energia elétrica é um insumo indispensável ao ser humano e ao desenvolvimento socioeconômico de países e nações. O cenário atual de crescimento populacional acelerado e consequente aumento da demanda de energia em países emergentes, eleva a atenção para o setor elétrico e aponta a inserção de novas fontes de energia, como a energia eólica, na matriz elétrica dos países.

A força dos ventos é aproveitada, desde a antiguidade, em aplicações que variam desde o bombeamento de água à embarcações e moagem de grãos. Já a conversão de energia eólica em eletricidade ganhou destaque a partir da década de 80, sendo a Dinamarca o país propulsor na produção de aerogeradores. Nesse período, os Estados Unidos também iniciaram investimentos em pequenos aerogeradores a fim de fornecer energia elétrica para fazendas e residências rurais isoladas (GARCÍA, 2004; MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2007).

A partir de 1990 é evidente a evolução na capacidade instalada de geração de energia eólica mundial e nos últimos anos tal ascendência continua notória. Vários países

desenvolvidos como os Estados Unidos, China e Dinamarca têm investido amplamente na instalação de um número cada vez maior de parques eólicos de modo que tal fonte já representa uma parcela significativa na sua matriz elétrica. A Dinamarca, devido a fortes políticas internas de favorecimento a energia eólica apresenta atualmente a maior participação dessa fonte em sua matriz elétrica, cerca de 32,5%. Quanto a atribuição de geração eólica mundial a maior parcela é atribuída aos Estados Unidos, que correspondem cerca de 27% (CÚSTODIO, 2002; MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2007; MME, 2015).

Com potências cada vez maiores e novas tecnologias aplicadas no desempenho e na confiabilidade do sistema, as turbinas eólicas têm conquistado importantes espaços na matriz energética mundial. Entretanto, principalmente nos países europeus, a falta de áreas disponíveis para a implantação de usinas eólicas, são fatores negativos para o crescimento da participação da energia eólica *onshore* em sua matriz elétrica (CÚSTODIO, 2002).

2.3 Panorama da energia eólica no Brasil

A segurança no suprimento de energia elétrica, impactos ambientais decorrentes de empreendimentos de geração de energia e crises econômicas que desequilibram o mercado de combustíveis fósseis, como o petróleo, são as principais preocupações levantadas no setor elétrico brasileiro.

O setor elétrico brasileiro sempre foi bastante marcado pela sua extensa dimensão continental e matriz elétrica centralizada na fonte hidráulica. Como pode ser observado na Figura 1 as Usinas Hidrelétricas (UHE) correspondem a maior parcela de potência instalada da matriz elétrica nacional, sendo este valor próximo de 61,40%. Embora a hidroeletricidade seja uma fonte de energia limpa e renovável, a mesma apresenta altos investimentos em infraestrutura, instabilidades na geração em épocas de estiagem e grandes impactos ambientais associados tanto nas fases de implantação quanto operação do empreendimento (ANEEL, 2015).

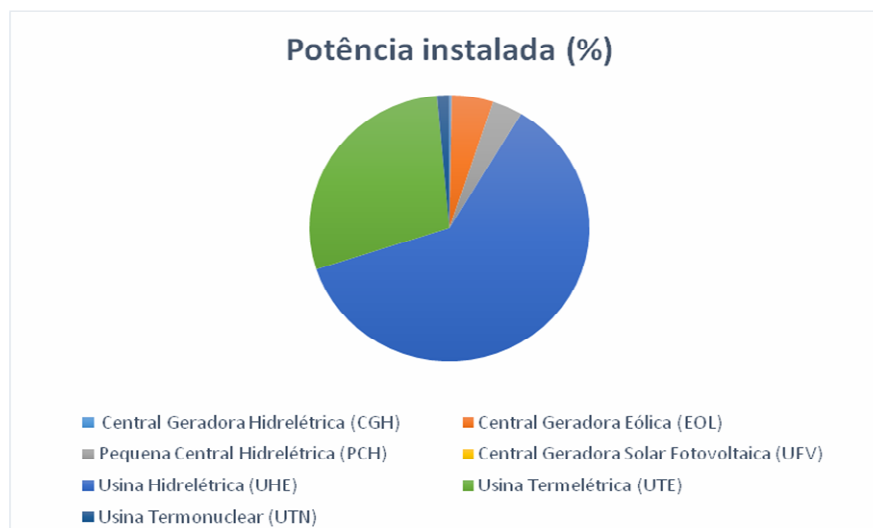


Figura 4 - Percentual da potência instalada das diferentes fontes de energia inseridas na matriz elétrica nacional.
Fonte: ANEEL, 2015.

Nesse contexto a participação das energias renováveis na matriz elétrica brasileira vem, ao longo dos últimos anos, ganhando significativos avanços e percentuais maiores. A água como recurso ainda pode ser aproveitada no modo de Central geradora Hidrelétrica e em Pequenas Centrais Elétricas. No que se refere ao uso de fontes alternativas a energia eólica, vem se destacando na matriz elétrica brasileira, representando uma participação de 4,8% (ANEEL, 2015).

Projeções futuras realizadas pela empresa de pesquisa energética do Brasil (EPE) apontam uma participação de 12% de energia eólica na matriz elétrica brasileira em 2023. Tal avanço pode ser evidenciado pelo grande número de empreendimentos relativos a essa fonte que estão em fase de construção ou ainda serão construídos nos próximos anos (Tabelas 1 e 2) (EPE, 2014; ANEEL, 2015).

Tabela 1 - Quantidade de empreendimentos no setor de geração de eletricidade em construção no Brasil.

Tipo	Quantidade	Potência (kW)
CGH	1	848
EOL	157	3.796.580
PCH	34	417.680
UHE	10	13.449.342
UTE	19	1.434.639
UTN	1	1.350.000
TOTAL	222	20.449.009

Fonte: ANEEL, 2015.

Tabela 2 - Quantidade de empreendimentos no setor de geração de eletricidade previstos para serem construídos nos próximos anos no Brasil.

Tipo	Quantidade	Potência (kW)
CGH	40	27.599
*CGU	1	50
EOL	303	7.127.454
PCH	133	1.905.429
UFV	40	1.142.976
UHE	5	479.000
UTE	150	8.453.822
TOTAL	672	19.136.329

Fonte: ANEEL, 2015.

Desse modo é visível o quadro favorável que a energia eólica se encontra no Brasil. Tal avanço está diretamente ligado ao desenvolvimento das tecnologias, redução de custos nos seus sistemas de produção, incentivos governamentais e a forte relação com a sustentabilidade ambiental. Além de tais atrativos, os principais fatores que viabilizam a produção da energia eólica são decorrentes do excelente recurso eólico brasileiro e sua grande extensão territorial (CÚSTODIO, 2002).

O grande potencial eólico brasileiro ainda pode ser observado pelo fator de capacidade, o qual representa a relação entre a energia gerada e a energia que seria gerada se a usina operasse continuamente na potência nominal. No Brasil, o valor médio anual do fator de capacidade é de aproximadamente 35%, estando acima de países como a China, em que essa tecnologia já se encontra de maneira mais consolidada (CCEE, 2014).

De acordo com o boletim mensal de geração eólica informado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) elétrico. Dentre as regiões brasileiras que mais contribuem para a inserção de energia eólica no Sistema Interligado Nacional (SIN) podem ser citadas o litoral do Nordeste, a Bahia e o Rio Grande do Sul (DALMAZ, 2007; CCEE, 2014).

O estado de Santa Catarina, por sua vez, também vem sendo bastante visado no que se refere ao potencial de gerar energia através da força dos ventos. Dois municípios, identificados com recurso eólico favorável, já contemplam usinas eólicas, sendo eles Água Doce, região oeste de Santa Catarina, e Bom Jardim da Serra, localizado na Serra catarinense. Apesar da geração de energia eólica do estado estar concentrado nesses dois polos, estudos apontam que os ventos mais fortes se encontram na região sul de Santa Catarina, mais

especificadamente em Laguna. Em vista disso, parques eólicos já estão em fase de implantação nessa região e análises do recurso eólico de cidades próximas já vem sendo executadas (DALMAZ, 2007).

2.4 Estudos de análise do potencial eólico

O movimento do ar tem fatores que influenciam na sua magnitude e distribuição, tal como as estações do ano, as horas do dia, a rugosidade dos terrestres e o relevo. Sendo o recurso eólico variável, concretiza-se a importância da análise de magnitude e comportamento do vento, a qual as variáveis compreendidas são a velocidade média do vento (m/s), direção, distribuição dos dados, através de análises estatísticas, e previsão da potência gerada.

A coleta dos dados representa a fase inicial do estudo e sua principal maneira de análise é dada através de uma base de dados com medições locais. No que se refere a medição da velocidade do vento têm-se como premissa a utilização do instrumento de medição chamado Anemômetro, e a sua escolha deve ser feita tendo por objetivo uma obtenção de dados confiáveis de modo que o padrão de variabilidade do vento seja conhecida a longo prazo. Entretanto há algumas fontes de erro já ocorrentes em coletas de dados que podem estar atribuídas ao tipo de calibração do anemômetro, sua resposta a um regime turbulento e condições climáticas fora dos limites do sensor (MELEK, 2013).

O parâmetro analisado para previsão do potencial eólico a partir da coleta dos dados é a velocidade do vento (m/s). Como observado na equação 1 a potência elétrica obtida por um aerogerador é proporcional a terceira potência da velocidade, e desse modo até mesmo erros de pequena magnitude nos dados de velocidade do vento podem acarretar em consideráveis desvios na previsão de potência eólica disponível. A fins de análise do potencial eólico a variável de densidade de potência pode ser utilizada [W/m^2] através da equação 1 com a introdução do coeficiente de Weibull.

A distribuição de Weibull é muito utilizada em análise estatística para descrever o comportamento de dados com grandes variações. Nos estudos de análise do recurso eólico, a distribuição de Weibull é designada para descrever a variação da velocidade do vento (m/s), sendo a equação 8 a função que representa a sua curva característica (CALDAS, 2010).

$$F(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right] \quad (8)$$

Tal função depende dos parâmetros de fator de forma (k) fator de escala (c), e velocidade do vento (v) e representa a probabilidade de uma determinada velocidade de vento ocorrer num dado período de tempo. Exemplos da sua curva de distribuição característica para diferentes médias de velocidade de vento podem ser observados na Figura 5, no qual o fator de forma k é igual a 2 (DALMAZ, 2007).

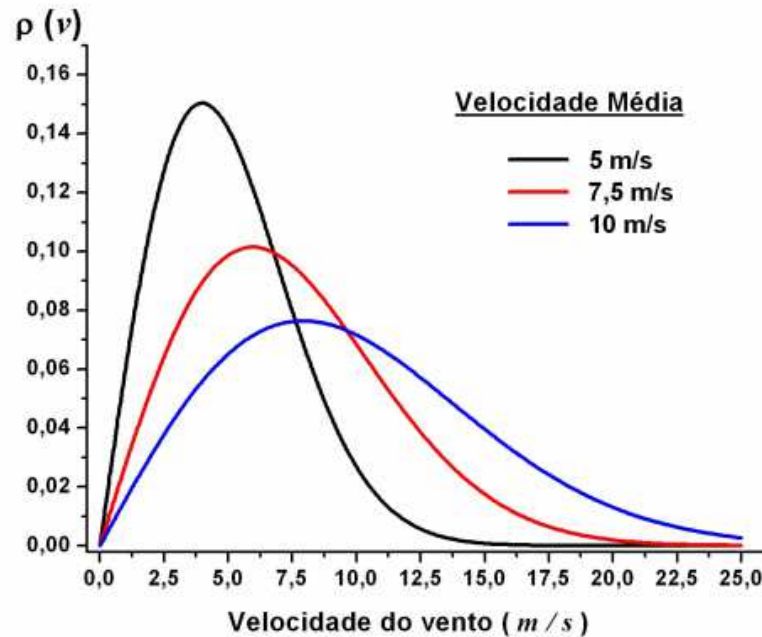


Figura 5 - Distribuição de Weibull para diferentes médias de velocidades de vento (m/s) e $k=2$. Fonte: CARNEIRO, 2013.

O fator de forma k geralmente compreende um intervalo de valores de 1,5 a 3,0 de modo que um valor pequeno representa uma distribuição de velocidade do vento consideravelmente larga em torno da velocidade média e um fator de forma mais alto indica uma concentração de dados em torno da velocidade média. A Figura 6 mostra os valores médios anuais de k para as diferentes regiões do Brasil (AMARANTE et al., 2001; CARNEIRO, 2013).

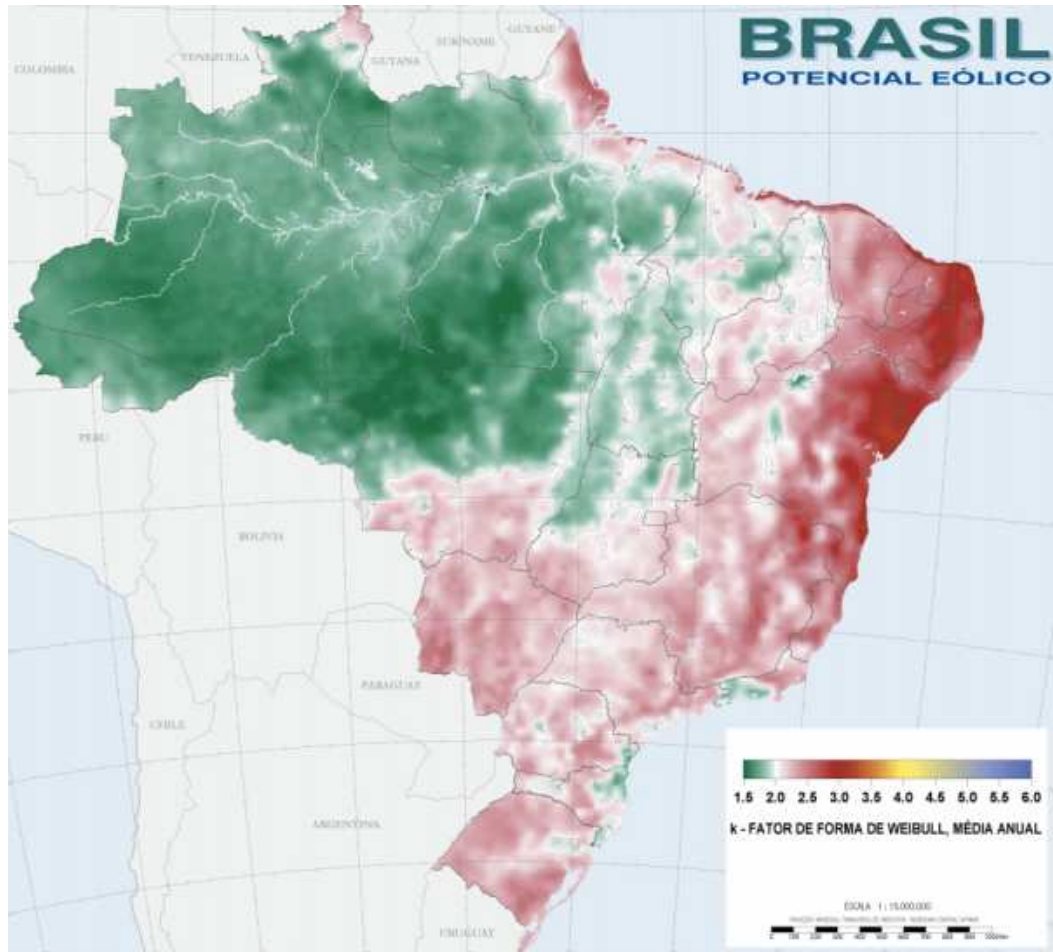


Figura 6 – Fator de forma de Weibull - média anual. Fonte: AMARANTE et al., 2001.

Outra alternativa para analisar estatisticamente um conjunto de dados de velocidade do vento é a partir de diagramas *Boxplot*. Tal ferramenta ilustra os principais aspectos da distribuição, no qual é definido pelo valor mínimo, primeiro quartil, mediana, terceiro quartil e valor máximo dos dados. O quartil 1 apresenta 25 % das observações abaixo e 75% das observações acima do valor da mediana. Já o quartil 3 deixa 75% das observações abaixo e 25% acima da mediana. A amplitude interquartil, diferença entre o terceiro e primeiro quartil, atribui um valor de dispersão para o conjunto de dados, que diferente do desvio padrão não é influenciado por valores discrepantes (FARIAS, 2014).

Através de tal análise é possível identificar os locais que apresentam melhores condições de geração de energia eólica e assim fomentar os dados para o desenvolvimento de empreendimentos de geração de energia eólica e sua posterior avaliação da viabilidade econômica.

2.5 Viabilidade econômica de projetos de parques eólicos

Os projetos envolvendo energia eólica no Brasil requerem uma gama de etapas que compreendem desde os estudos de análise do recurso eólico, estudos do mercado, impactos ambientais, custos envolvidos, entres outros. O levantamento da participação de cada custo envolvido é de total importância para o estudo da viabilidade econômica do projeto. De modo geral, tem-se como premissa para um projeto de parque eólico as etapas dispostas na Figura 7.

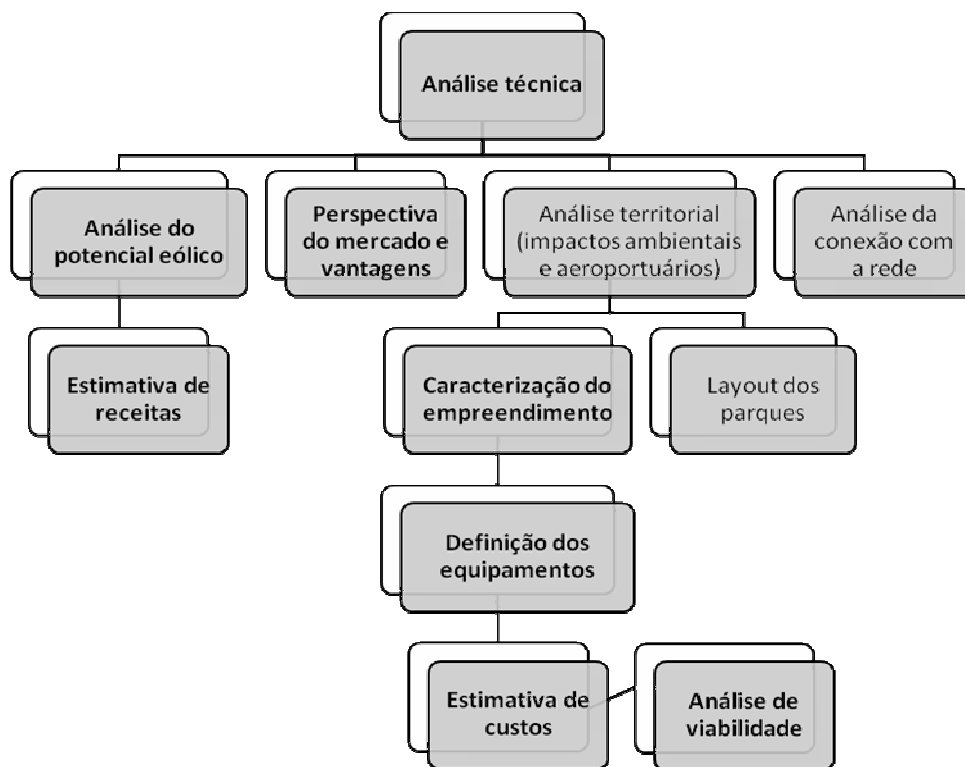


Figura 7 - Fluxograma com as principais etapas de um projeto eólico. Fonte: do autor.

As etapas iniciais de um projeto eólico compreendem primeiramente a análise técnica do parque eólico, em que é necessário a análise das características do vento, estudo do mercado, do território a ser implantado o empreendimento e seus impactos ambientais e portuários associados e sua conexão com a rede.

A partir do conhecimento do potencial eólico local pode ser feita uma estimativa da produção anual de energia. Juntamente com o estudo do mercado, que fornece o preço unitário e as vantagens competitivas da energia eólica, este parâmetro auxilia diretamente na obtenção da receita do empreendimento.

A viabilidade técnica de uma usina eólica pode ser quantificada pelo parâmetro determinado como fator de capacidade (Equação 9), o qual é definido pela razão entre a

energia real produzida e a energia que seria gerada caso a usina operasse na sua potência nominal 100% do tempo. De um modo geral, é considerado bons valores fatores de capacidade maiores que 0,3 (MARTÍNEZ, 2003).

$$FC = \frac{E}{P_n \cdot T} \quad (9)$$

Onde:

FC = Fator de capacidade

E = Energia produzida

P_n = Potência nominal instalada

T = Período de tempo

Tendo o parâmetro de energia produzida, pode-se tomar por base o preço pelo qual a energia eólica é vendida nos leilões, no qual a energia é vendida em Ambiente de Contratação Regulada (ACL). No leilão renova A-3 realizado no dia 21/08/2015, num total de 29 empreendimentos contratados, 19 foram usinas eólicas, as quais totalizaram uma potência instalada de 538 MW e o preço médio ficou em torno de R\$ 180 por MWh produzidos (EPE, 2014).

Quanto à escolha do território, a mesma envolve a análise das características topográficas e orográficas, pois as mesmas possuem grande influência no comportamento do vento. A velocidade do vento é diretamente proporcional à altura e dependente da rugosidade do terreno, de modo que terrenos planos – com baixa rugosidade – tem poucas oscilações no escoamento do vento, já áreas com relevo acentuado e com prédios – com alta rugosidade – modificam o comportamento do escoamento do vento (EPALANGA, 2013).

Na determinação do terreno também deve ser levado em consideração a sua forma de aquisição e os estudos dos impactos ambientais e aeroportuários locais. Dada a disponibilidade do terreno, a conexão com a rede é realizada através de linhas de transmissão de alta tensão. Sendo assim, geralmente há a necessidade da construção de uma subestação no próprio parque eólico, a qual será composta principalmente por transformadores, que elevarão a tensão de saída dos aerogeradores para a tensão da rede das linhas de transmissão. Ainda é necessário o *Bay* de entrada que às conecta com a subestação de distribuição (CASCÃO, 2007).

Com a caracterização do terreno é possível caracterizar o projeto de acordo com a localização, tamanho e capacidade de produção, de modo que o espaço disponível é um fator

que pode limitar o seu tamanho. O *layout* dos parques eólicos é projetado a fim de que os aerogeradores não interfiram no escoamento do vento uns dos outros. Assim, para que o efeito esteira que gera turbulência do vento se dissipe é necessária uma distância mínima de 5 diâmetros do aerogerador na direção transversal e 10 diâmetros do aerogerador na direção do vento, como pode ser visto na Figura 8 (EPALANGA, 2013).

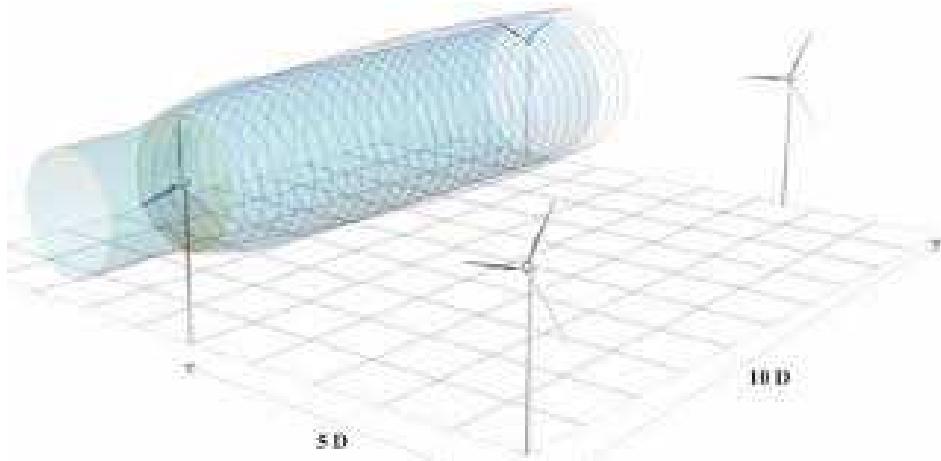


Figura 8 - Espaçamento ideal entre aerogeradores. Fonte: AMARANTE et al., 2001.

A definição dos equipamentos é uma etapa que influencia no custo total do investimento. Dentre esses custos, o valor do aerogerador é o que mais contribui e o mesmo se torna cada vez mais significativo à medida que o porte do parque aumenta. Por outro lado os custos também estão agregados as outras etapas do projeto, Tabela 3, compreendendo o estudo de viabilidade, projetos de engenharia, contratos, instalação e infraestrutura, mão de obra, custos referentes ao uso da terra, subestações e linhas de transmissão, dentre outros (DUTRA; TOLMASQUIM, 2002).

Tabela 3 - Disposição dos custos iniciais de projetos em energia eólica.

Custos iniciais do projeto	Médio/Grande porte (%)	Pequeno porte (%)
Estudo de viabilidade	Menos de 2	1-7
Negociações de desenvolvimento	1-8	4-10
Projetos de engenharia	1-8	1-5
Equipamentos	67-80	47-71
Instalação e infra-estrutura	17-26	13-22
Diversos	1-4	2-15

Fonte: RETSCREEN, 2015.

Com o levantamento dos custos e estimativa da receita, é possível realizar uma análise da viabilidade econômica a partir da determinação das variáveis do Valor Presente Líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback* – período de retorno do investimento. O VPL é definido como a soma dos fluxos de caixa descontados no instante inicial do empreendimento a uma taxa de juros apropriada. A TIR é considerada a taxa de atualização do projeto que resulta em um fluxo de caixa descontado igual ao valor do investimento. Em geral se o VPL resultante for positivo e a TIR for maior que a taxa de juros aplicada, o projeto é visto como viável.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivos gerais

Analisar o recurso e potencial eólico da região sul de Santa Catarina, através de duas redes de banco de dados, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a rede Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA) e realizar a simulação e estudo de viabilidade econômica de um parque eólico no município que apresenta os resultados mais favoráveis.

3.2 Objetivos específicos

- Analisar os parâmetros de velocidade média do vento (m/s) e densidade de potência (W/m^2) dos municípios compreendidos na região de interesse e com estações da rede INMET e SONDA;

- Realizar a análise estatística dos dados de velocidade do vento através de diagramas *Box Plot* e histogramas de frequência;

- Entrada dos dados de velocidade do vento, do município que apresentou resultados mais favoráveis a geração de energia eólica, no Software *RETscreen* para simulação de um parque eólico e o estudo de sua viabilidade econômica.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado de modo a contemplar etapas fundamentais em um estudo de viabilidade de um empreendimento eólico. Tais etapas compreendem a análise do

recurso eólico da região sul de Santa Catarina, que foi realizada a partir da coleta de dados das redes SONDA e INMET, e o estudo de viabilidade financeiro de um empreendimento na região com resultados mais favoráveis, através do software *Retscreen*.

4.1 Análise do recurso eólico

A fim de contemplar a região Sul de Santa Catarina, foram analisados dados das redes INMET e SONDA. Na análise corresponde a rede INMET foram retirados dados de cinco estações meteorológicas dispostas nos municípios de Florianópolis-SC, Araranguá-SC, Laguna/Santa Marta-SC, Urussanga-SC e Torres-RS. A rede INMET, disponibiliza dados horários dos últimos 90 dias, logo se procurou dividir o trabalho de avaliação do recurso eólico, das cidades anteriormente citadas, em quatro períodos de modo que cada período contemple 90 dias e assim no final se tenha a análise de um ano inteiro. Tais dados são obtidos através de sensores e demais instrumentos que são fixados em um mastro metálico de 10 metros de altura aterrado eletricamente.

Já a análise do recurso eólico dos dados de velocidade do vento da rede SONDA foi realizada em dois municípios catarinenses, Florianópolis e Sombrio. Esses dados são distribuídos por mês, sendo que nessa análise se procurou trabalhar os últimos meses, incluindo alguns meses do ano 2013 até o mês de novembro de 2014. Os dados de velocidade do vento estão disponibilizados em intervalos de 1 minuto e na altura padrão de 10 metros. Para uma análise criteriosa dos dados e informações disponibilizadas pelas redes de medição compreendidas no estudo, os dados passaram por um processo de tratamento e filtragem.

O pós processamento dos dados das estações permitiu a determinação do parâmetro de velocidade média de vento e padrão de comportamento estatístico. A partir dessas variáveis o potencial eólico pode ser estimado, sendo o mesmo também relacionado com a densidade do ar e o fator de forma k_E , como mostram a Equação 10.

$$\bar{P} = \frac{P}{A} = \frac{\rho k_E \overline{v^3}}{2} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (10)$$

Onde:

P = Potência [W]

A = Área [m²]

ρ = Densidade do ar [kg/m³]

k_e = Fator de forma de Weibull

v = Velocidade média do vento [m/s]

O fator de forma de Weibull, representado pela variável k_e , que define o perfil de distribuição a qual os dados de velocidade do vento ocorrem, pode ser determinado pela Equação 11. Tal parâmetro é bastante utilizado nos trabalhos de avaliação de potencial eólico, pois representa com considerável aproximação a distribuição de frequência de ocorrência dos valores de velocidade do vento.

$$K_E = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^3}{n}}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}\right)^3} \quad (11)$$

Onde:

k_e = Fator de forma de Weibull

V_i = Velocidade média do vento (m/s)

n = Número de dados da amostra

O procedimento de análise do recurso eólico foi primeiramente realizado para a altura as quais se encontram os aparelhos de medições anemométricas, 10 metros. Tendo em vista que o aumento da altura resulta em um aumento da velocidade do vento, as Equações 12 e 13 foram utilizadas afim de extrapolar a velocidade do vento para uma altura de 100 metros, a qual a maioria das torres dos parques eólicos atuais se encontram.

$$V_{2(z)} = V_1 \cdot \left[\frac{z_2}{z_1} \right]^\alpha \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{(0,37 - 0,088 \ln V_1)}{1 - 0,088 \ln \left(\frac{z_1}{10} \right)} \quad (13)$$

$$0,1 \leq \alpha \leq 0,3$$

Onde:

V_2 = Velocidade média do vento à 100 metros de altura [m/s]

V_1 = Velocidade média do vento à 10 metros de altura [m/s]

Z_2 = Altura final [m]

Z_1 = Altura inicial [m]

A análise estatística dos dados de velocidade do vento será realizada por meio de histogramas de frequência relativa com a indicação do fator de Weibull, determinado pela Equação 11. O padrão de distribuição dos dados de velocidade do vento também é analisado por meio de diagramas *Box Plot*. Através da altura dos retângulos, representados nos gráficos, dados pela diferença entre o terceiro e o primeiro quartil, é possível ter uma estimativa da dispersão dos dados.

4.2 Análise de viabilidade de um parque eólico na cidade de Laguna

O *RETscreen* é um software disponibilizado pelo governo do Canadá e bastante utilizado em estudos de caso no setor de energia renovável. Nesse estudo o software foi utilizado na simulação de um parque eólico na cidade de Laguna-SC e os dados de entrada de velocidade do vento foram alteradas para os obtidos nos resultados desse estudo. De modo a contemplar o requerimento da entrada de dados mensal, os períodos foram desmembrados em meses.

Para prosseguir com o modelo energético, um aerogerador será escolhido e um fator de utilização determinado para então se obter a energia elétrica produzida. Em seguida a análise de custos será embasada por referências bibliográficas e por meio de contato com fornecedores. Os custos iniciais do projeto, vão desde os estudos de viabilidade, engenharia, equipamentos, logística, os custos anuais e os custos periódicos.

Outra ferramenta utilizada é o cálculo do crédito de carbono, o qual pode ser negociado, no Brasil via leilões, de modo que a redução dos gases causadores do efeito estufa possam ser convertidos em carbono equivalente.

Por fim, com a inserção de alguns parâmetros financeiros tais, taxa de desconto, vida útil do projeto, a análise financeira pode ser realizada determinando assim os indicadores VPL, TIR, e *Payback*. Como na análise financeira pode-se quantificar um benefício social, os créditos de carbono, o estudo seguirá sendo nominado como análise de viabilidade econômica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da análise do recurso eólico da região Sul de Santa Catarina estarão dispostos de acordo com os valores médios de velocidade do vento (m/s) e densidade de potência (W/m^2) das cidades estudadas. Na segunda etapa será exposto a análise estatística através de diagramas *Boxplot*, para os dados do SONDA, e os histogramas de frequência para o município de Laguna/Santa Marta, que apresenta os resultados de maior magnitude. Tal procedimento será realizado para os dados da rede INMET e SONDA, respectivamente.

A seguir será apresentado os resultados da simulação de um parque eólico na cidade de Laguna/Santa Marta, obtidos a partir do software *RETscreen*. Por fim, o valor de energia anual gerada dará base aos cálculos de viabilidade econômica e financeira e os indicativos de VPL, TIR e *Paypack* serão apresentados.

5.1 Análise do recurso eólico dos dados da rede INMET

Os valores médios de velocidade do vento (m/s) e densidade de potência (W/m^2) para os cinco municípios avaliados, foram inicialmente coletados no período de 27/06/2014 à 24/09/2014, aqui também citado como período 1. Posteriormente serão mostrados os dados dos intervalos de 25/09/2014 à 22/12/2014, período 2, 23/12/2014 à 22/03/2015, período 3, e por fim o período 4 compreendido entre os dias 23/03/2015 à 20/06/2015. Desse modo é realizada a análise do recurso no período de um ano, considerando assim as mudanças sazonais do comportamento da velocidade do vento.

5.1.1 Velocidade média do vento (m/s)

O parâmetro de velocidade média do vento (m/s) podem ser analisados nas alturas de 10 e 100 metros. A Tabela 4 dispõe os quatro períodos anteriormente determinados para o município de Florianópolis. Com a análise dos dados de velocidade média foi possível obter um valor anual de 2,92 m/s, para a altura de 10 metros e de 5,51 m/s, para a altura de 100 metros.

Tabela 4 - Dados de velocidade média para Florianópolis.

Velocidade média do vento (m/s)	10 metros	100 metros
Período 1	2,96	5,57
Período 2	3,03	5,67
Período 3	2,85	5,40
Período 4	2,85	5,41

Fonte: do autor.

A Tabela 5 apresenta os dados de velocidade para Laguna/Santa Marta, a qual é a cidade que apresentou os maiores valores, sendo a média anual de 5,54 m/s para a altura de 10 metros e 9,1 m/s para a altura de 100 metros. Entretanto é possível perceber que no período 2, foi encontrado valores menores o que pode ser justificado pelo processo de filtragem a qual os dados passam. Tal processo consiste em considerar apenas dados maiores ou iguais a 1 m/s na análise, e seguindo essa metodologia resultaram apenas 23 dados, no período 1, e 11 dados, no período 2, de um total de 2160 dados. Sendo assim, os dados referentes aos períodos 1 e 2 não estavam disponíveis, sugerindo assim um possível problema nos aparelhos anemométricos.

Tabela 5 - Dados de velocidade média para Santa Marta.

Velocidade média do vento (m/s)	10 metros	100 metros
Período 1	7,01	11,08
Período 2	2,82	5,35
Período 3	6,08	9,89
Período 4	6,23	10,08

Fonte: do autor.

Os valores de velocidade média para Urussanga estão dispostos na Tabela 6, em que é possível observar valores menores nos períodos 3 e 4. A cidade de Urussanga apresentou os menores valores de velocidade de vento, sendo a média anual de 1,88 e 3,88 m/s para as alturas de 10 e 100 metros, respectivamente.

Tabela 6 - Dados de velocidade média para Urussanga.

Velocidade média do vento (m/s)	10 metros	100 metros
Período 1	2,00	4,07
Período 2	2,07	4,19
Período 3	1,77	3,69
Período 4	1,67	3,56

Fonte: do autor.

A Tabela 7 apresenta a análise de dados para a cidade de Araranguá, a qual resultou em um valor de velocidade média de 2,88 e 5,45 m/s para as alturas de 10 e 100 metros, respectivamente.

Tabela 7 - Dados de velocidade média para Araranguá.

Velocidade média do vento (m/s)	10 metros	100 metros
Período 1	2,97	5,59
Período 2	3,37	6,20
Período 3	2,68	5,15
Período 4	2,49	4,85

Fonte: do autor.

Por fim, a Tabela 8 demonstra os dados obtidos para a cidade de Torres-RS. Os valores médios obtidos foram de 3,14 e 5,92 m/s para as alturas de 10 e 100 metros, respectivamente.

Tabela 8 - Dados de velocidade média para Torres.

Velocidade média do vento (m/s)	10 metros	100 metros
Período 1	2,96	5,57
Período 2	3,84	6,54
Período 3	2,94	5,51
Período 4	2,84	6,06

Fonte: do autor.

Por fim, a cidade de Torres apresentou valores médios de 3,14 e 5,92 m/s para as alturas de 10 e 100 metros, respectivamente.

É possível observar através da Figura 9, o comportamento da velocidade média para o

período ao longo do ano analisado. Com exceção do município de Laguna/Santa Marta, o qual os períodos 1 e 2, tiveram a sua análise baseada em um número muito restrito de dados, a análise indica, para as cidades restantes, um valor de velocidade média maior no período 2 que compreende a estação do verão.

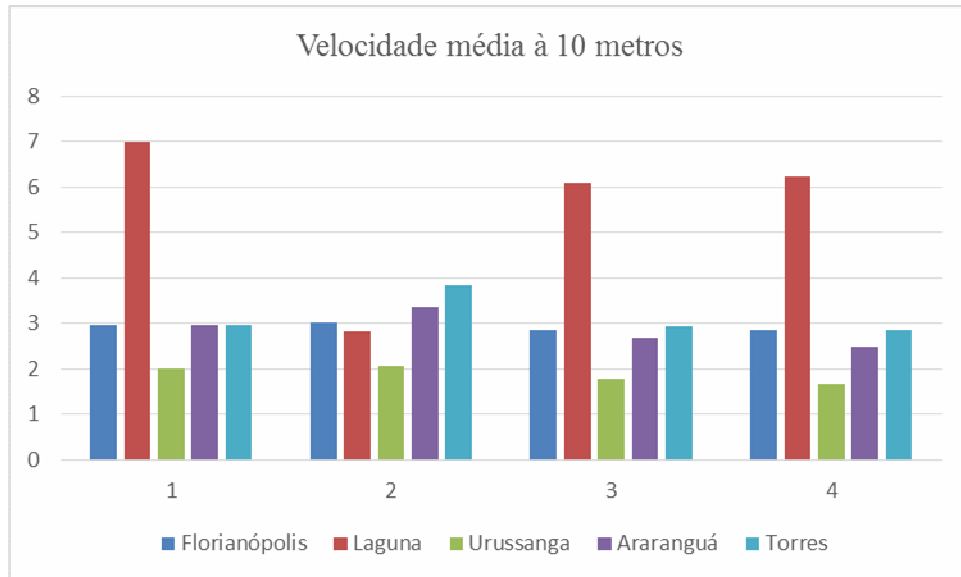


Figura 9 - Gráfico da velocidade média na altura de 10 metros para as cidades de Florianópolis, Santa Marta, Urussanga, Araranguá e Torres. Fonte: do autor.

Para a altura de 100 metros o mesmo padrão é observado na Figura 10, sendo alcançados valores médios máximos de 11,01 m/s para Laguna/Santa Marta no período 1. Já o valor mínimo foi de 3,56 m/s para Urussanga no último período de análise.

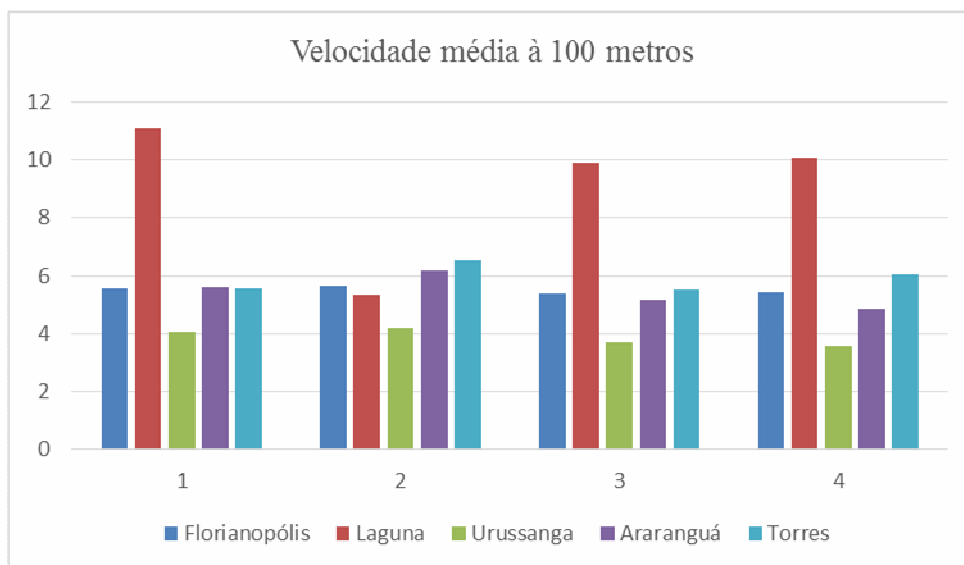


Figura 10 - Gráfico da velocidade média na altura de 100 metros para as cidades de Florianópolis, Santa Marta, Urussanga, Araranguá e Torres. Fonte: do autor.

5.1.2 Densidade de potência (W/m^2)

Referente à análise da densidade de potência os valores, a 10 e 100 metros, podem ser visualizados nas tabelas a seguir para os cinco municípios analisados. Como é observado na Tabela 9 a cidade de Florianópolis apresentou o maior valor de densidade de potência no período 2, sendo o seu valor médio de $33,88 W/m^2$ para a altura de 10 metros e $178,5 W/m^2$ para a altura de 100 metros.

Tabela 9 - Dados de densidade de potência para Florianópolis.

Densidade de Potência (W/m^2)	10 metros	100 metros
Período 1	27,43	182,6
Período 2	30,51	200,4
Período 3	22,72	154,9
Período 4	25,85	176,1

Fonte: do autor.

Para a cidade de Laguna/Santa Marta é possível observar, através da Tabela 10, o mesmo padrão de decaimento nos valores do período 2 que foi notado na análise de velocidade do vento. Entretanto a média de densidade de potência de $292,145$ e $1216,975 W/m^2$ à 10 e 100 metros, respectivamente, é bastante alta quando comparada as outras cidades.

Tabela 10 - Dados de densidade de potência para Santa Marta.

Densidade de Potência (W/m^2)	10 metros	100 metros
Período 1	512,62	2021,20
Período 2	17,66	111,7
Período 3	297,60	1289,00
Período 4	340,70	1446,00

Fonte: do autor.

A cidade de Urussanga apresentou os menores valores de densidade de potência, expostos na Tabela 11, sendo a média dos quatro períodos de $6,5775$ e $60,0725 W/m^2$, nas alturas de 10 e 100 metros, respectivamente.

Tabela 11 - Dados de densidade de potência para Urussanga.

Densidade de Potência (W/m²)	10 metros	100 metros
Período 1	7,80	66,01
Período 2	8,40	69,55
Período 3	5,84	64,65
Período 4	4,27	40,08

Fonte: do autor.

A Tabela 12 aponta os dados de densidade de potência para a cidade de Araranguá, em que as médias anuais obtidas foram de 31,53 W/m² para 10 metros e 210,02 W/m² para 100 metros.

Tabela 12 - Dados de densidade de potência para Araranguá.

Densidade de Potência (W/m²)	10 metros	100 metros
Período 1	32,30	214,38
Período 2	48,02	295,34
Período 3	25,74	181,96
Período 4	20,06	148,41

Fonte: do autor.

Por fim, a cidade de Torres apresentou resultados semelhantes à Araranguá, como pode ser visto na Tabela 13, sendo 39,57 W/m² a média de densidade de potência para a altura de 10 metros e 265,245 W/m² para 100 metros.

Tabela 13 - Dados de densidade de potência para Torres.

Densidade de Potência (W/m²)	10 metros	100 metros
Período 1	33,28	221,60
Período 2	68,25	336,03
Período 3	26,77	213,88
Período 4	29,97	289,47

Fonte: do autor.

Através da Figura 11 é possível observar que na altura de 10 metros, a densidade de potência é muito superior no município de Laguna/Santa Marta, tendo um significativo

decréscimo no período 2. Também é notório que nas outras cidades o período 2 apresenta o maior valor de densidade de potência com a seguida estabilização nos períodos 3 e 4.

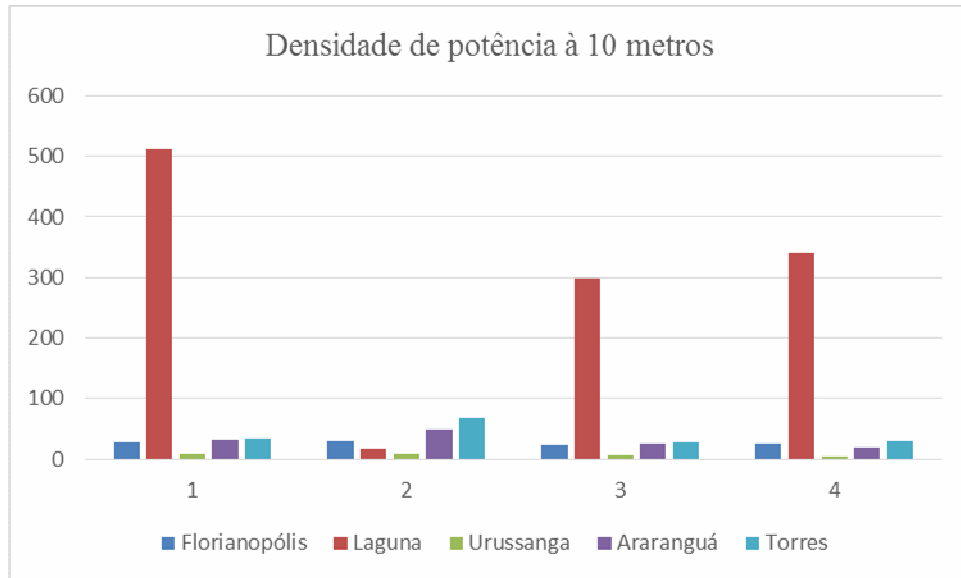


Figura 11 - Gráfico da densidade de potência na altura de 10 metros para as cidades de Florianópolis, Santa Marta, Urussanga, Araranguá e Torres. Fonte: do autor.

Para a altura de 100 metros o mesmo padrão é observado na Figura 12. Para a cidade de Laguna/Santa Marta, valores de até 1289 e 1446 W/m^2 foram obtidos nos períodos 3 e 4, os quais o processo de filtragem não resultou em um número de amostras muito pequena.

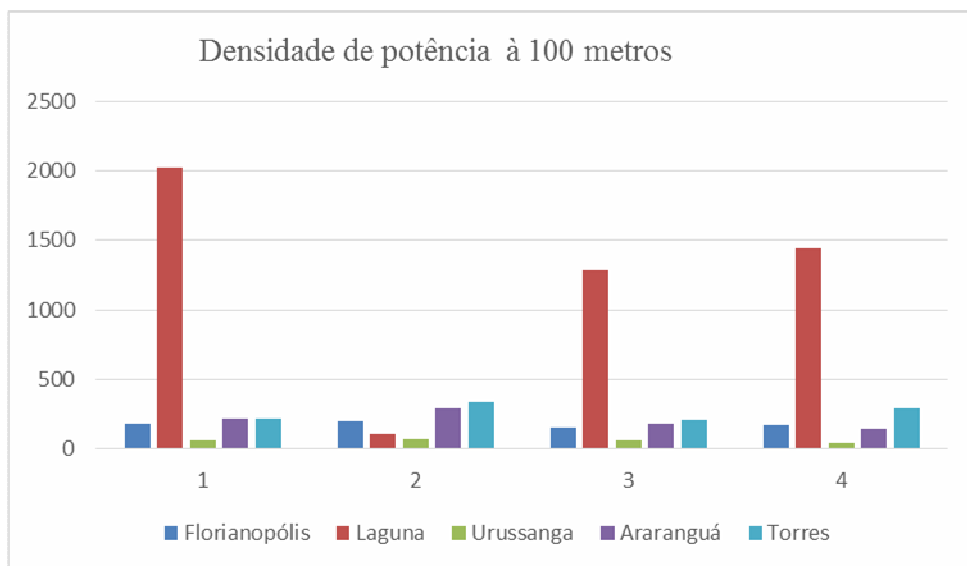


Figura 12 - Gráfico da densidade de potência na altura de 100 metros para as cidades de Florianópolis, Santa Marta, Urussanga, Araranguá e Torres. Fonte: do autor.

5.1.3 Análise estatística dos dados de Velocidade do vento (m/s)

O padrão de comportamento dos dados de velocidade do vento (m/s) provenientes da rede INMET será apresentada através de histogramas de frequência relativa. Com a finalidade de analisar a semelhança dos dados de velocidade do vento com a distribuição de Weibull, histogramas de frequência relativa serão apresentados compreendendo a faixa de dados no período de um ano para os cinco municípios analisados.

As Figuras 13 e 14 demonstram a distribuição dos dados de velocidade do vento para Florianópolis nas alturas de 10 e 100 metros respectivamente. Na altura de 10 metros o maior número de dados, cerca de 29,39%, é encontrado na faixa de dados de 1,1 à 2 m/s enquanto que na altura de 100 metros, a maior porcentagem, 16,67% é observada nos dados de 2,1 a 3 m/s. O fator de Weibull anual resultante, através da equação 9, para as duas alturas foi de 1,72, entretanto a altura de 100 metros compreende um intervalo maior de velocidade do vento o que justifica as porcentagens serem mais distribuídas.

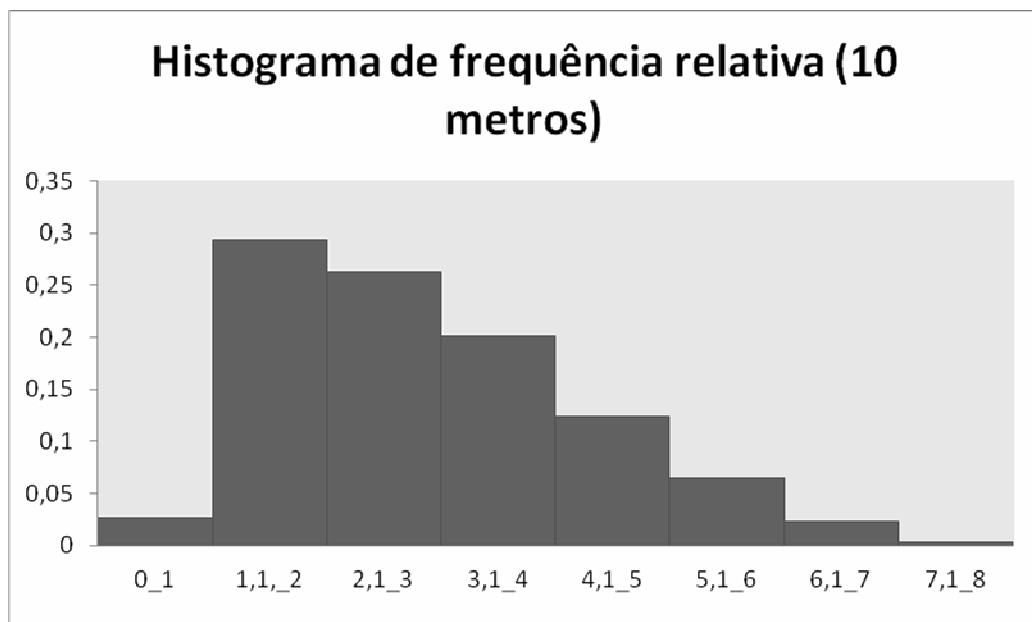


Figura 13 - Histograma de frequência relativa para o município de Florianópolis-SC na altura de 10 metros.
Fonte: do autor.

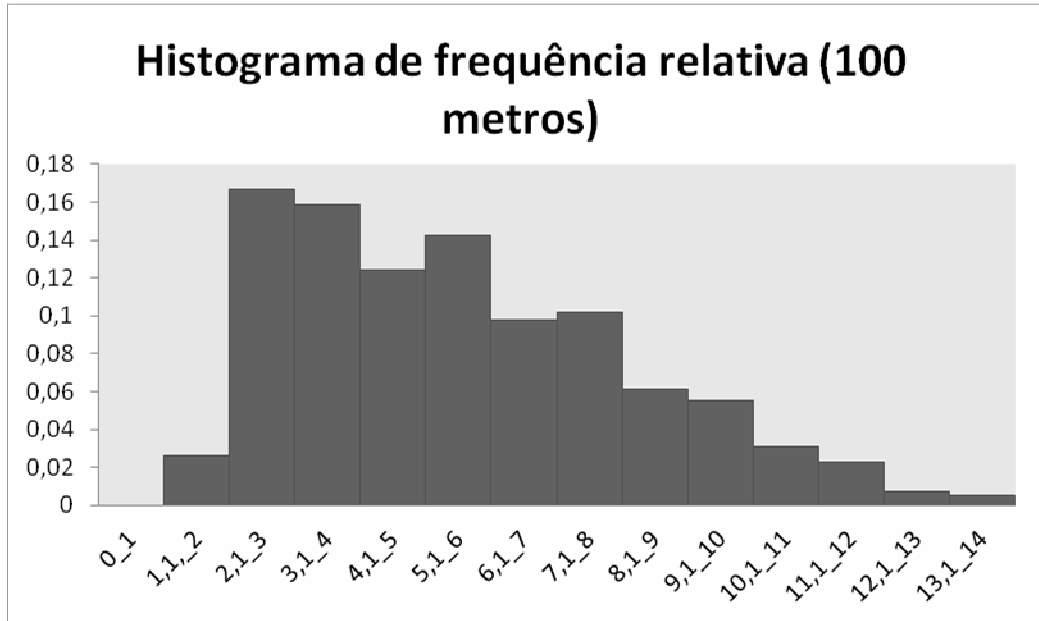


Figura 14 - Histograma de frequência relativa para o município de Florianópolis-SC na altura de 10 metros.
Fonte: do autor.

As Figuras 15 e 16 apresentam a variação do vento para Laguna/Santa Marta nas alturas de 10 e 100 metros, respectivamente. Devido à incerteza dos dados de velocidade do vento do período 1 e 2, a análise para Laguna/Santa Marta, considerou apenas os dados referentes aos períodos 3 e 4, pois O maior número de dados, cerca de 14,66%, se encontra na faixa de velocidade do vento de 2,1 a 3 m/s e a esquerda do valor médio de velocidade do vento de 6,15 m/s (período 3 e 4). De modo semelhante, os dados de velocidade do vento à 100 metros também se encontraram na maior parte à esquerda do valor médio de velocidade do vento, 9,98 m/s, dos períodos 3 e 4. A média anual do fator de Weibull encontrada foi de 2,04 e indica uma maior variação dos dados em relação a velocidade média, quando comparado à análise de Florianópolis. Também é possível observar nas Figuras 15 e 16 que a distribuição da velocidade do vento se assemelha bastante com a distribuição de Weibull.

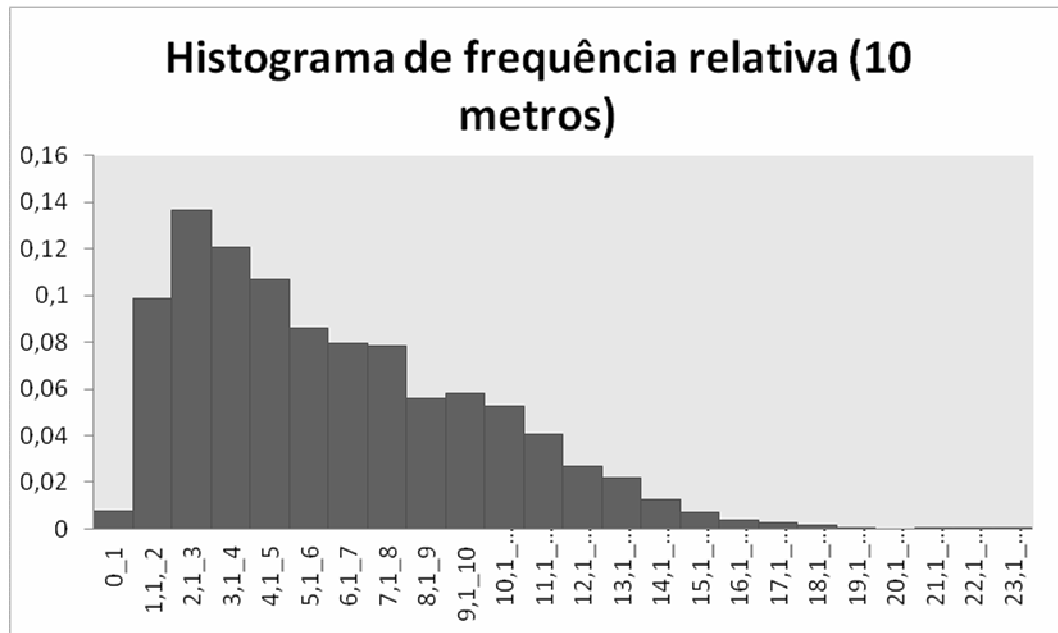


Figura 15 - Histograma de frequência relativa para o município de Laguna-SC na altura de 10 metros. Fonte: do autor.

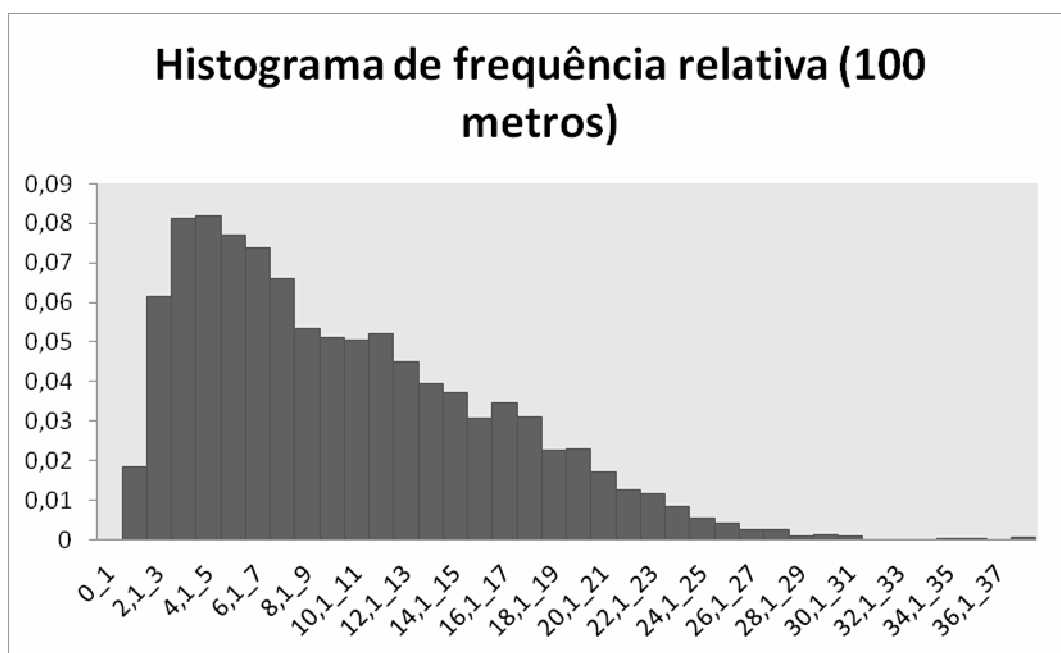


Figura 16 - Histograma de frequência relativa para o município de Laguna-SC na altura de 100 metros. Fonte: do autor.

A análise de distribuição de velocidade de vento para Urussanga para as alturas de 10 e 100 metros é demonstrada nas Figuras 17 e 18. O histograma de frequência relativa para a altura de 10 metros indica que uma grande parcela dos dados, 61,47%, está na faixa de 1,1 a 2 m/s a qual compreende o valor de velocidade média de 1,88 m/s. Para a altura de 100 metros a maior parte dos dados se encontram no intervalo de 2,1 à 3 m/s e à esquerda do valor médio de velocidade de 3,88 m/s. A média anual do fator de Weibull de 2,18 indica que os dados

tem variações significativas.

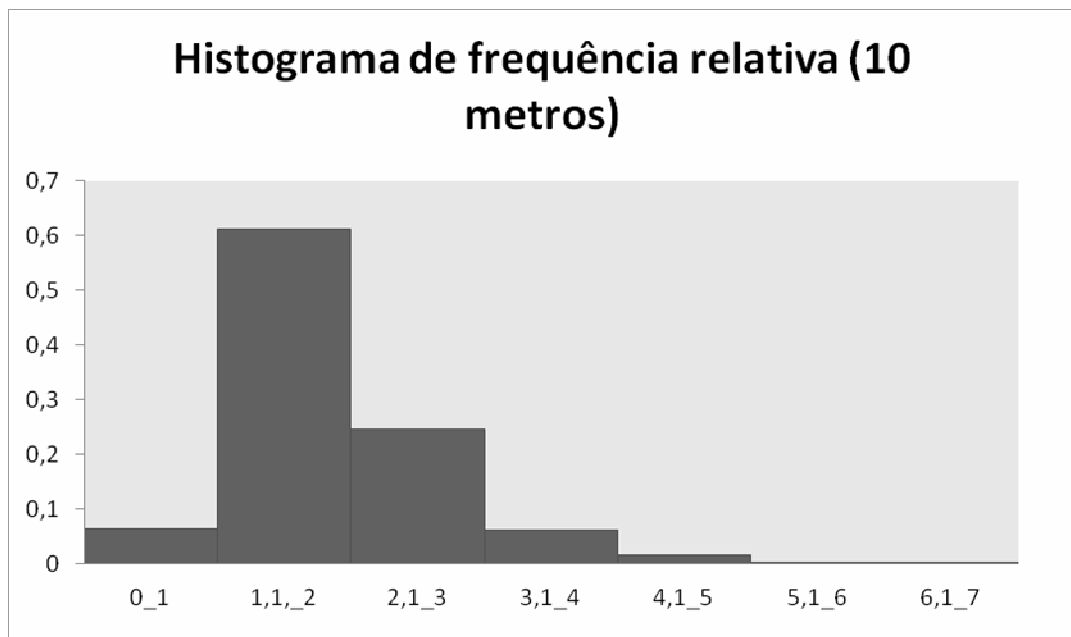


Figura 17 - Histograma de frequência relativa para o município de Urussanga-SC na altura de 10 metros. Fonte: do autor.

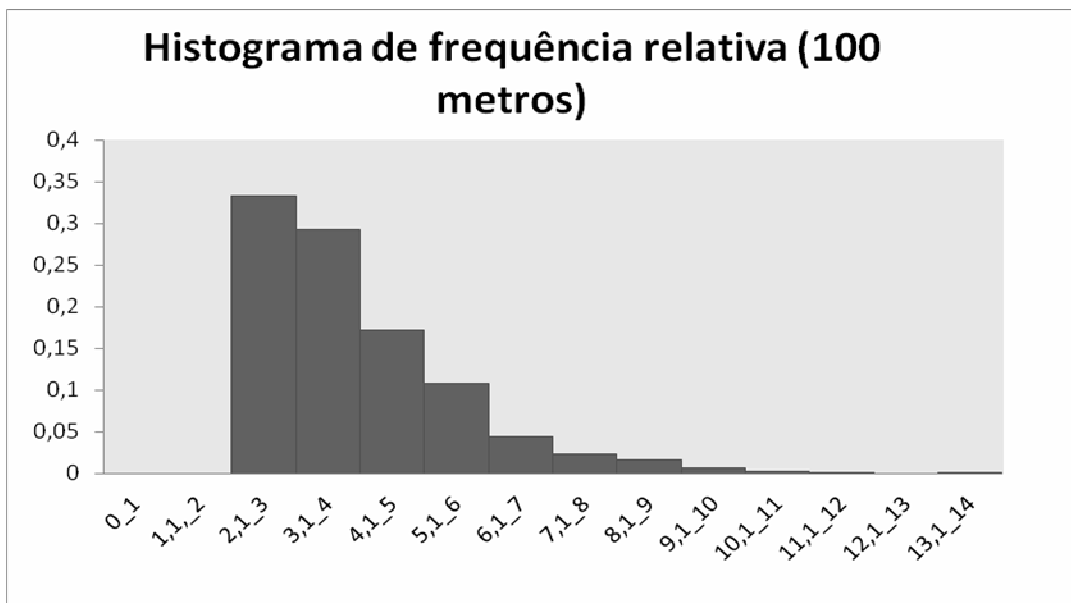


Figura 18 - Histograma de frequência relativa para o município de Urussanga-SC na altura de 100 metros. Fonte: do autor.

As Figuras 19 e 20 apresentam a variação do vento para Araranguá nas alturas de 10 e 100 metros, respectivamente. Para a altura de 10 metros a maior parcela de dados, 37,82 % foi encontrada nas velocidades de 1,1 à 2 m/s e a esquerda do valor médio de velocidade de 2,88 m/s. Já na análise realizada para a altura de 100 metros a maior parte dos dados, cerca de

22,02 %, se encontram no intervalo de 2,1 à 3 m/s e à esquerda do valor médio de velocidade de 5,45 m/s. Quanto a média anual do fator de Weibull o valor encontrado foi de 2,08.

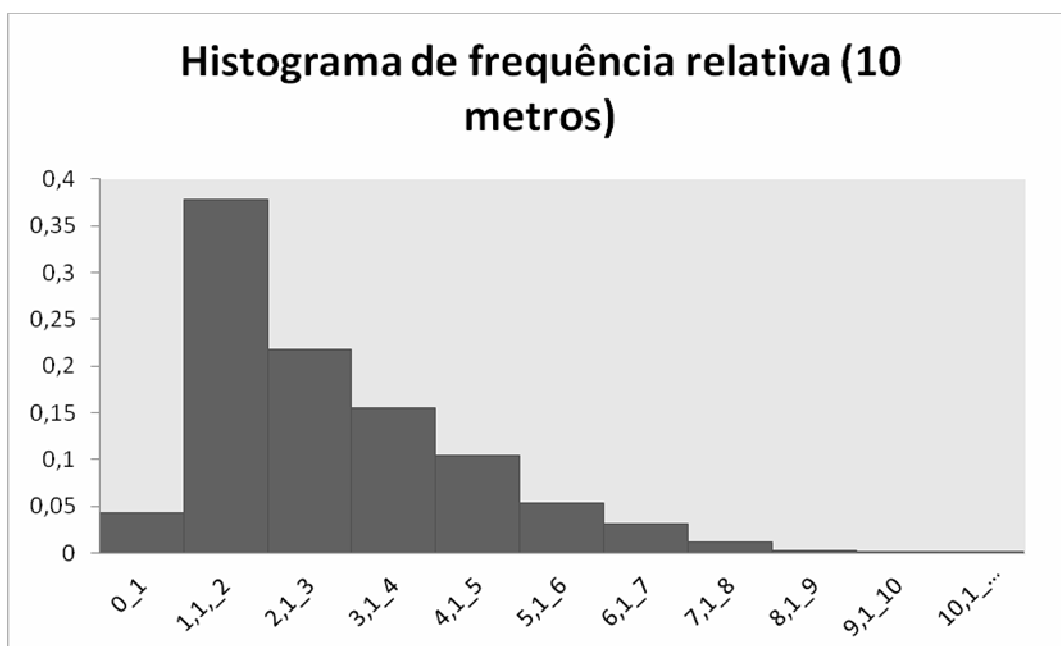


Figura 19 - Histograma de frequência relativa para o município de Araranguá-SC na altura de 10 metros. Fonte: do autor.

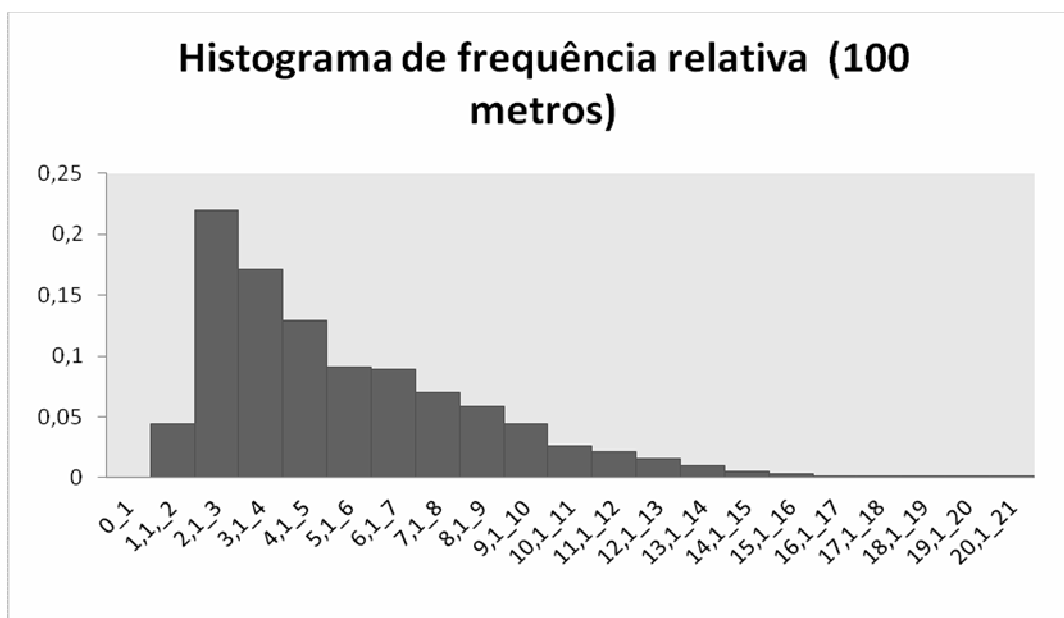


Figura 20 - Histograma de frequência relativa para o município de Araranguá-SC na altura de 100 metros. Fonte: do autor.

Quanto a cidade de Torres-RS, os histogramas de frequência relativa dos dados de velocidade do vento à 10 e 100 metros podem ser observados nas Figuras 21 e 22. O histograma de frequência relativa para a altura de 10 metros aponta uma parcela de dados de

33,58% na faixa de 1,1 a 2 m/s, sendo que a maior parte dos dados estão dispostos do lado esquerdo do valor de velocidade média de 3,14 m/s. Para a altura de 100 metros a maior parte dos dados, aproximadamente 19,40%, se encontram no intervalo de 3,1 à 4 m/s e à esquerda do valor médio de velocidade de 5,92 m/s. A média anual do fator de Weibull de 1,97 e desse modo se assemelha a variação dos dados das cidades de Araranguá e Laguna/Santa Marta.

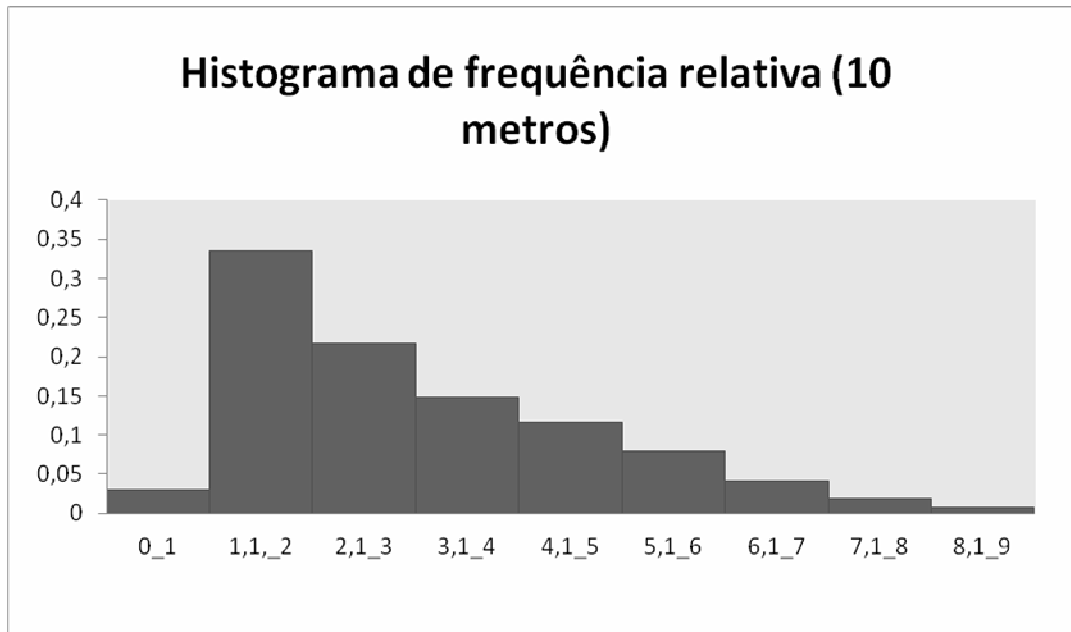


Figura 21 - Histograma de frequência relativa para o município de Torres-RS na altura de 10 metros. Fonte: do autor.

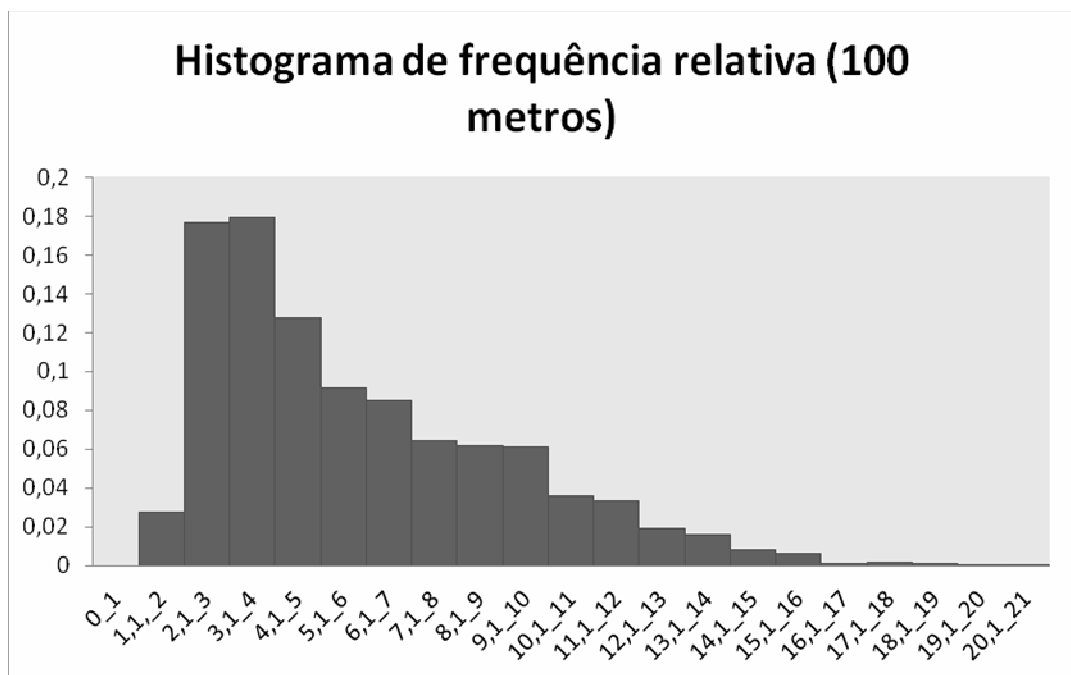


Figura 22 - Histograma de frequência relativa para o município de Torres-RS na altura de 100 metros. Fonte: do autor.

Na análise estatística dos dados a partir dos diagramas *Boxplot*, é possível observar o padrão de dispersão dos dados de velocidades médias do vento obtidos no período de um ano. Através da altura do retângulo, o qual é obtido pela diferença do quartil 1 e quartil 3 é possível representar a dispersão de um intervalo contendo cerca de 50% dos dados. Outro parâmetro importante é o valor da mediana, que indica o centro da distribuição e é visualizado no diagrama *Boxplot* por uma linha que secciona o retângulo. Para a cidade de Florianópolis, Figura 23, percebe-se que para a altura de 10 metros há uma dispersão de 2,10 m/s e o valor da mediana se encontra em 2,70 m/s. Para a altura de 100 metros os valores obtidos são de aproximadamente 3,92 m/s para a dispersão e 5,12 m/s para a mediana. Ainda é possível, através das hastes verticais, observar que os valores máximos ficam em torno de 7,7 m/s, altura de 10 metros, e 14,03 m/s, altura de 100 metros.

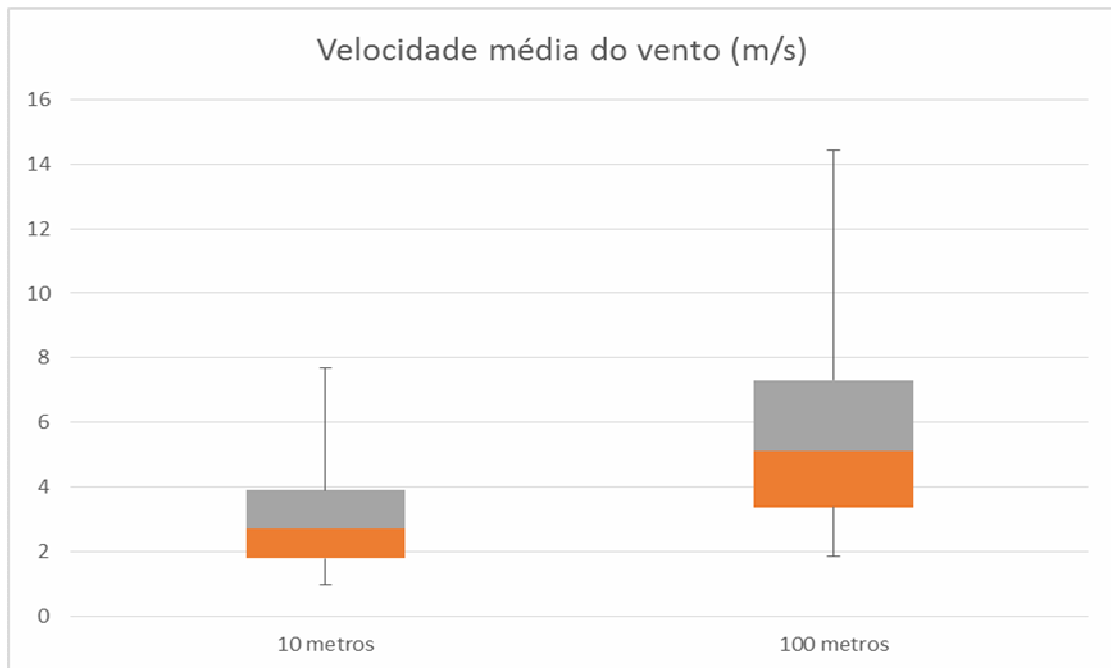


Figura 23 - Diagrama *Boxplot* para o município de Florianópolis. Fonte: do autor.

A Figura 24 apresenta para a região de Santa Marta em Laguna-SC o diagrama *Boxplot* sendo assim possível analisar os valores máximos e mínimos, através da haste vertical, e a dispersão do conjunto de dados. Para a altura de 10 metros há uma dispersão de 5,5 m/s e o valor da mediana se encontra em 5,3 m/s. Para a altura de 100 metros os valores são de 8,94 m/s para a dispersão e 8,62 m/s para a mediana. A análise para Laguna indicou os maiores valores de velocidade do vento, tendo picos de 23,3 m/s, para 10 metros, e 37,70 m/s para a altura de 100 metros, como pode ser visto na Figura 24.

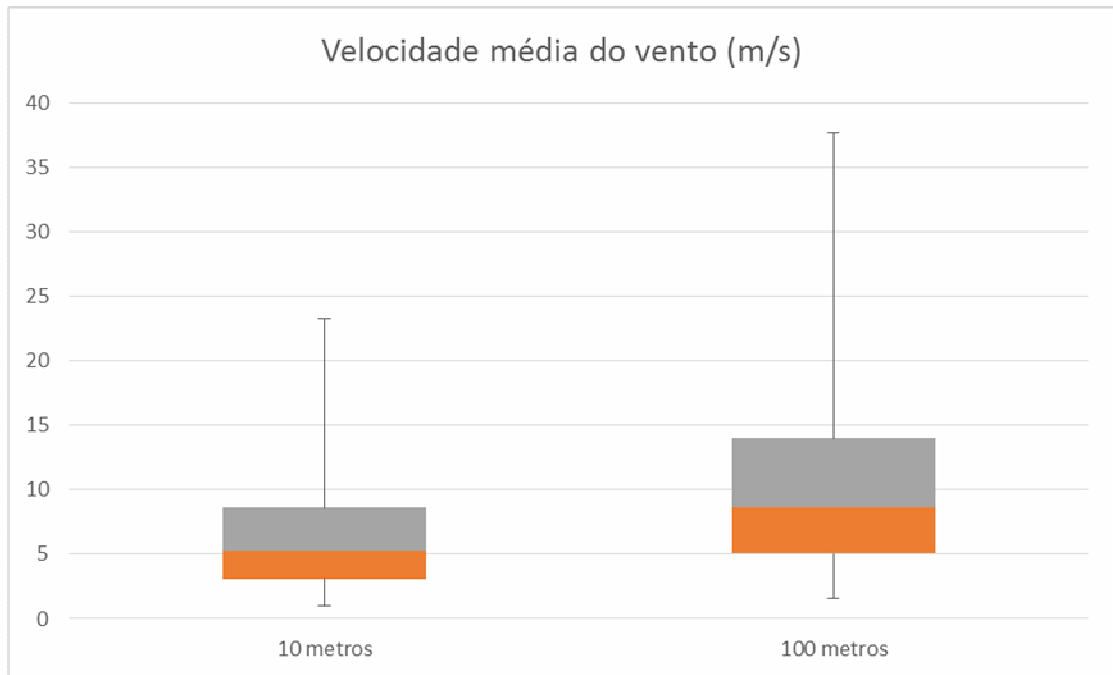


Figura 24 - Diagrama *Boxplot* para o município de Laguna. Fonte: do autor.

Para a cidade de Urussanga (Figura 25), foram obtidos os valores de dispersão de 1 m/s e mediana de 1,7 m/s para 10 metros. Para a altura de 100 metros os valores indicam uma dispersão de 1,94 m/s e mediana de 3,46 m/s. Os valores máximos de velocidade do vento encontrados foram de 6,50 e 13,57 m/s, para as alturas de 10 e 100 metros, respectivamente.

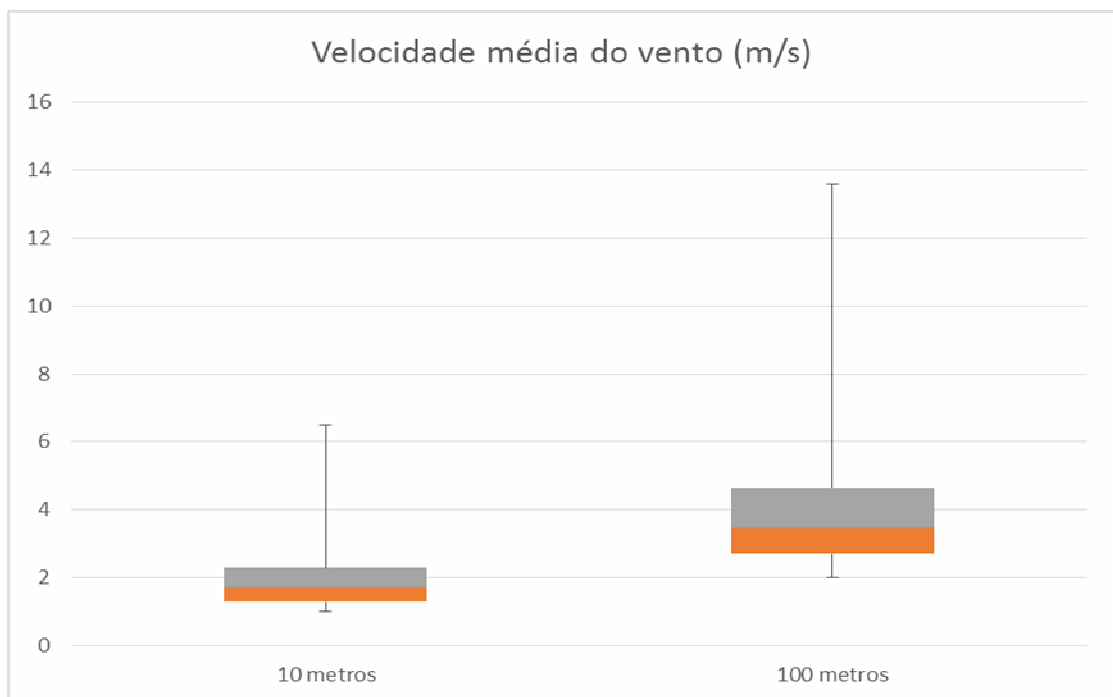


Figura 25 - Diagrama *Boxplot* para o município de Urussanga. Fonte: do autor.

Através da Figura 26 é possível analisar a dispersão dos dados para Araranguá. Para a altura de 10 metros há uma dispersão de 2,20 m/s e mediana de 2,30 m/s. Quanto à altura de 100 metros os valores obtidos são de aproximadamente 4,23 m/s para a dispersão e 4,48 m/s para a mediana. A partir das hastes verticais, observa-se os valores máximos de 11,10 m/s, altura de 10 metros, e 20,34 m/s, altura de 100 metros.

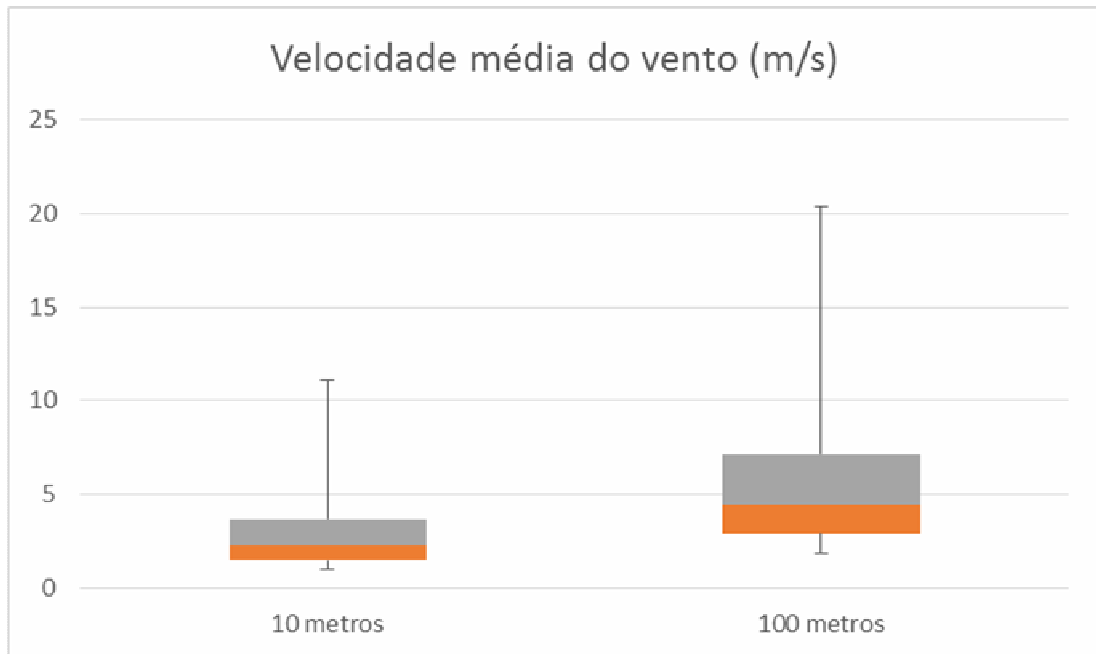


Figura 26 - Diagrama *Boxplot* para o município de Araranguá. Fonte: do autor.

Por fim, a Figura 27 demonstra a dispersão dos dados para a cidade de Torres-RS. Para a altura de 10 metros, o retângulo indicou uma dispersão de 2,50 m/s e mediana de 2,60 m/s. Já na altura de 100 metros, é indicado valores de 4,83 m/s para a dispersão, e 4,90 m/s para a mediana do conjunto de dados de velocidade do vento.

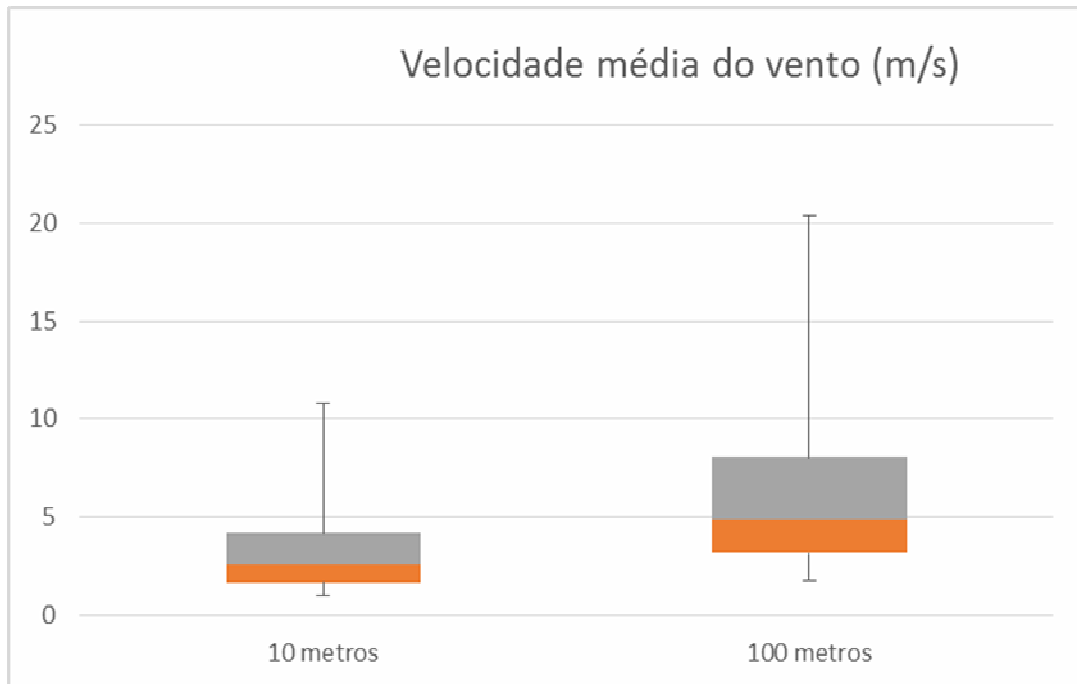


Figura 27 - Diagrama *Boxplot* para o município de Torres-RS. Fonte: do autor.

5.2 Análise do recurso eólico dos dados da rede SONDA

A fim de analisar o recurso eólico da região para os dados da rede SONDA, inicialmente serão dispostos os valores médios de velocidade do vento (m/s) e densidade de potência (W/m^2) para cada mês avaliado para os municípios de Florianópolis e Sombrio e a seguir será apresentado histogramas de frequência relativa e diagramas de *Box Plot* para os dados de velocidade do vento (m/s).

5.2.1 Velocidade média do vento

O parâmetro de velocidade média do vento (m/s) para o município de Florianópolis, nas alturas de 10 e 100 metros, pode ser visualizado na Tabela 14 com a análise dos dados de velocidade média foi possível obter, para a altura de 10 metros, a média de 3,00 m/s e para a altura de 100 metros, a média de 5,65 m/s na cidade de Florianópolis.

Tabela 14 - Dados da velocidade média para o município de Florianópolis-SC.

Velocidade média do vento (m/s)	10 metros	100 metros
Novembro – 2013	3,26	6,01
Dezembro – 2013	3,01	5,71
Janeiro – 2014	3,06	5,73
Fevereiro – 2014	3,07	5,74
Março – 2014	2,74	5,23
Abril – 2014	3,08	5,86
Mai – 2014	2,95	5,56
Junho – 2014	2,84	5,39
Julho – 2014	2,73	5,08
Agosto – 2014	2,91	5,51
Setembro – 2014	3,14	5,86
Outubro – 2014	3,25	6,08

Fonte: do autor.

Referente à Florianópolis é possível observar, através das Figuras 28 e 29, que nos meses pertencentes à estação do verão a velocidade média é superior, fato esse que se assemelha aos dados de Florianópolis da rede INMET.

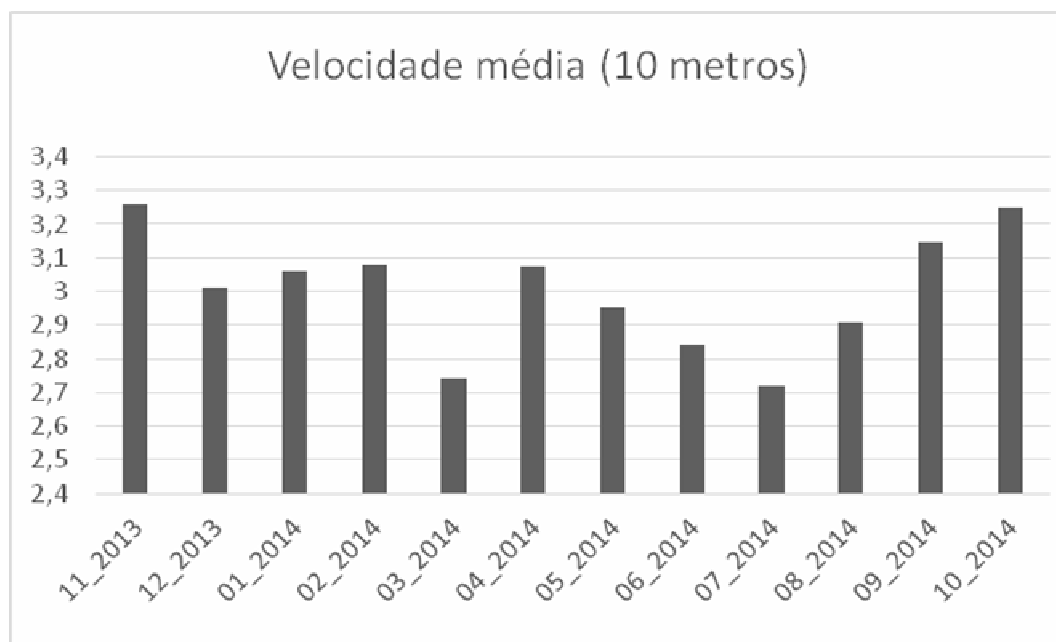


Figura 28 - Velocidade média o município de Florianópolis-SC para a altura de 10 metros. Fonte: do autor.

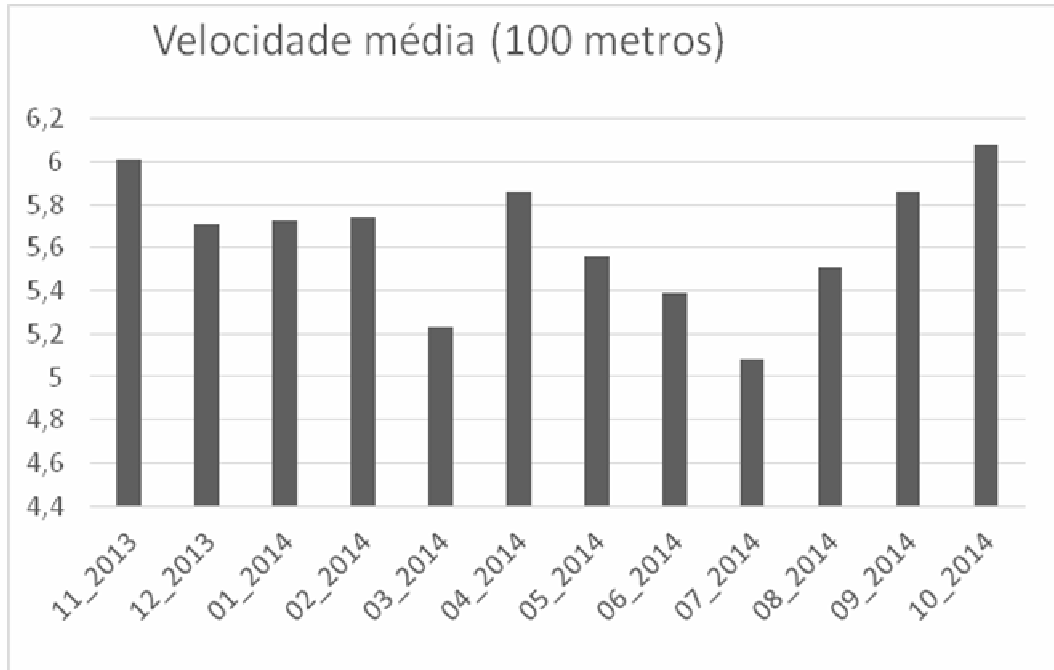


Figura 29 - Velocidade média o município de Florianópolis-SC para a altura de 100 metros. Fonte: do autor.

Para a cidade de Sombrio a média da velocidade de vento foi de 1,90 m/s para a altura de 10 metros e 3,90 m/s para a altura de 100 metros, valores inferiores aos encontrados para Florianópolis.

Tabela 15 - Dados da velocidade média para o município de Sombrio-SC.

Velocidade média do vento (m/s)	10 metros	100 metros
Novembro – 2013	2,26	4,49
Dezembro – 2013	1,92	4,01
Janeiro – 2014	1,73	3,43
Fevereiro – 2014	1,89	3,89
Março – 2014	1,73	3,63
Abril – 2014	1,81	3,76
Mai – 2014	1,70	3,58
Junho – 2014	1,95	3,93
Julho – 2014	1,71	3,60
Agosto – 2014	1,97	4,03
Setembro – 2014	1,99	4,13
Outubro – 2014	2,14	4,34

Fonte: do autor.

Através das Figuras 30 e 31 se percebe que há uma tendência de valores maiores de velocidade de vento no mês de novembro.

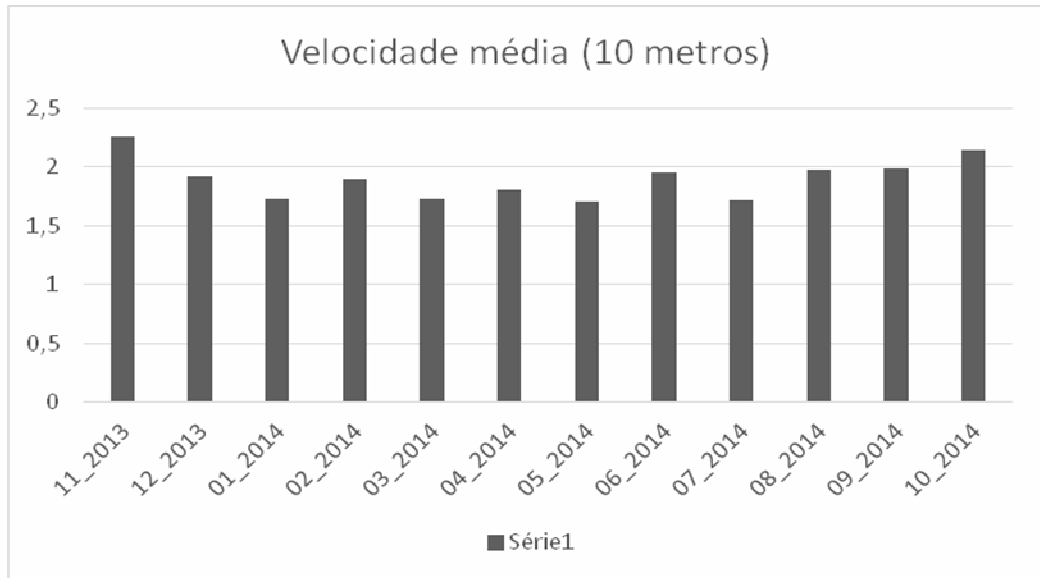


Figura 30 - Velocidade média o município de Sombrio-SC para a altura de 10 metros. Fonte: do autor

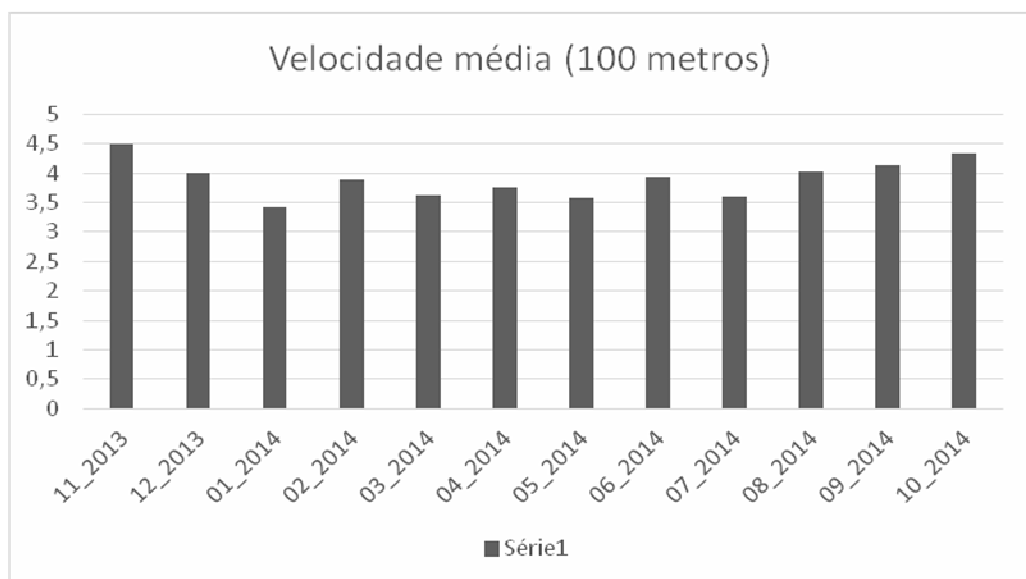


Figura 31 - Velocidade média o município de Sombrio-SC para a altura de 100 metros. Fonte: do autor

5.2.2 Densidade de potência (W/m^2)

Referente à análise da densidade de potência, para o município de Florianópolis, os valores mensais são demonstrados na Tabela 16. O valor médio de $33,1 W/m^2$ foi encontrado para a altura de 10 metros e $224,50 W/m^2$ para a altura de 100 metros

Tabela 16 - Dados de densidade de potência para o município de Florianópolis.

Densidade de potência (W/m^2)	10 metros	100 metros
Novembro – 2013	43,51	273,29
Dezembro – 2013	30,60	211,76
Janeiro – 2014	32,98	214,95
Fevereiro – 2014	32,00	208,18
Março – 2014	35,26	176,90
Abril – 2014	31,45	217,60
Mai – 2014	31,97	213,29
Junho – 2014	29,16	199,16
Julho – 2014	25,35	165,25
Agosto – 2014	37,97	257,24
Setembro – 2014	37,56	242,75
Outubro – 2014	39,88	260,94

Fonte: do autor.

O mesmo padrão de variação com os meses, em relação à velocidade média de vento, foi observado. Desse modo fica claro, através das Figuras 32 e 33, que o mês que apresenta o maior valor de densidade de potência é novembro e que o melhor aproveitamento do recurso eólico compreende o período de setembro à novembro.

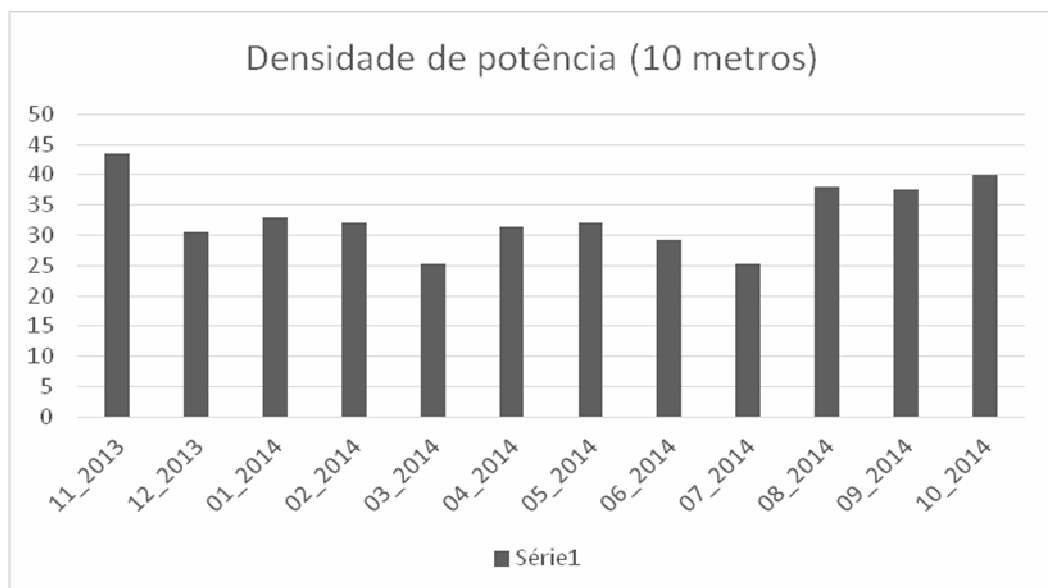


Figura 32 - Densidade de potência do município de Florianópolis-SC para a altura de 10 metros. Fonte: do autor.

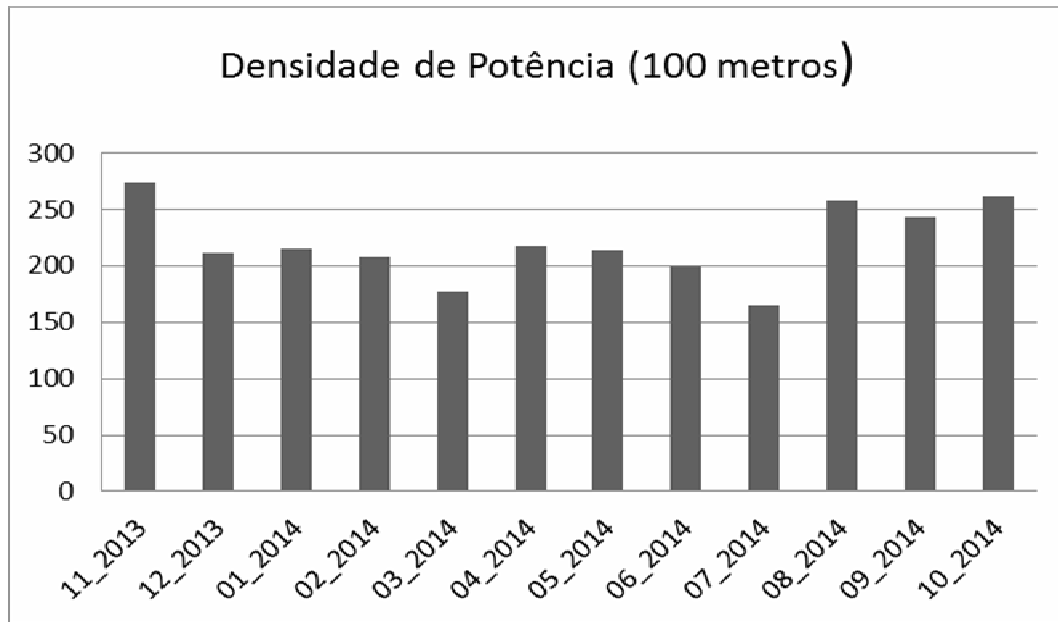


Figura 33 - Densidade de potência do município de Florianópolis-SC para a altura de 100 metros. Fonte: do autor.

Para o município de Sombrio foram obtidos valores de densidade de potência inferiores a Florianópolis, decorrentes do valor de velocidade média também ser menor. Para a altura de 10 metros o valor médio encontrado foi de $9,65 \text{ W/m}^2$ e para a altura de 100 metros $83,44 \text{ W/m}^2$. A tabela 17 apresenta os valores mensais para a densidade de potência determinada a partir dos dados da estação de Sombrio-SC nas diferentes alturas consideradas no estudo.

Tabela 17 - Dados de densidade de potência para o município de Sombrio.

Densidade de potência (W/m^2)	10 metros	100 metros
Novembro – 2014	19,50	153,06
Dezembro – 2014	9,14	83,30
Janeiro – 2014	5,90	46,33
Fevereiro – 2014	9,82	85,94
Março – 2014	5,61	52,50
Abril – 2014	6,98	62,75
Mai – 2014	6,97	64,97
Junho – 2014	10,25	88,88
Julho – 2014	6,35	58,98
Agosto – 2014	11,16	95,11
Setembro – 2014	10,81	97,37
Outubro – 2014	13,37	112,10

Fonte: do autor.

A variação mensal da densidade de potência em função da altura para o município de Sombrio-SC é apresentada nas Figuras 34 e 35. É notório o valor acentuado de densidade de potência no mês de novembro e o decréscimo nos meses decorrentes, mesmo os que compreendem a estação do verão.

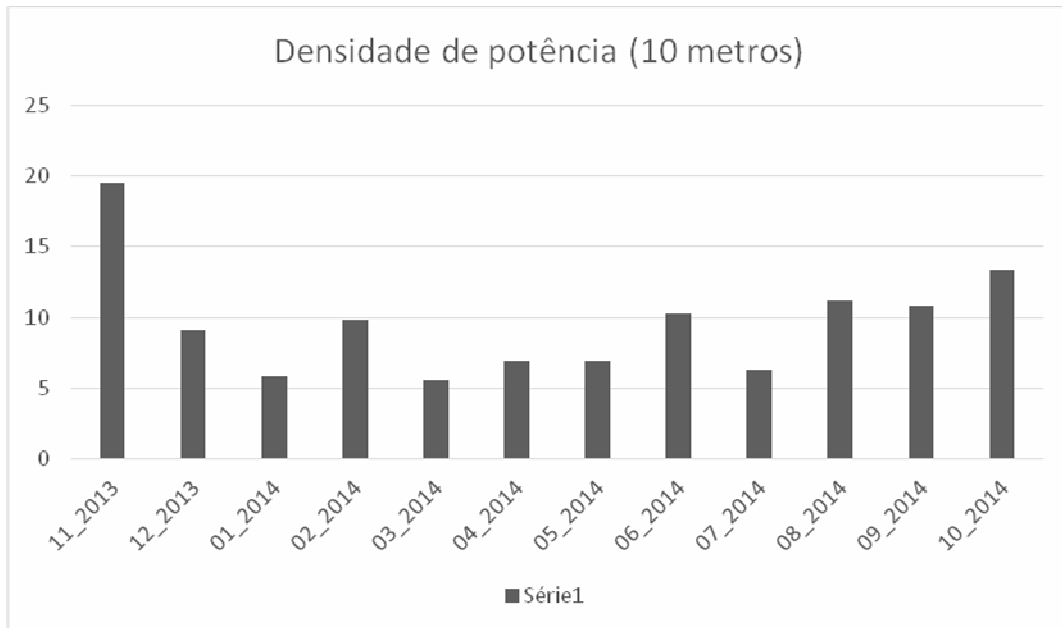


Figura 34 - Densidade de potência do município de Sombrio-SC para a altura de 10 metros. Fonte: do autor.

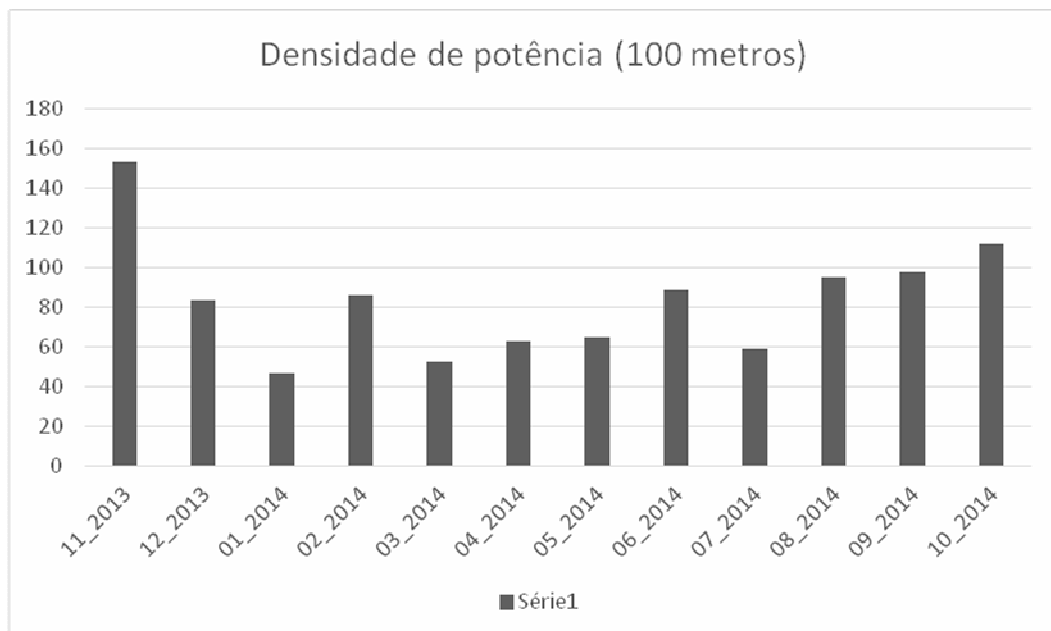


Figura 35 - Densidade de potência do município de Sombrio-SC para a altura de 100 metros. Fonte: do autor.

5.2.3 Análise estatística dos dados de velocidade

De maneira semelhante aos dados do INMET, a descrição da variação dos dados de velocidade do vento (m/s) obtidos pela rede SONDA será apresentada por meio de histogramas de frequência relativa e diagramas *BoxPlot*.

A análise do comportamento do fator de forma de Weibull, histogramas de frequência relativa. As Figura 36 e 37 demonstram a distribuição dos dados de velocidade do vento para Florianópolis nas alturas de 10 e 100 metros respectivamente. Para a altura de 10 metros aproximadamente 31,40% dos dados compreendem as velocidades de 1,1 à 2 m/s e o maior número de dados se encontra no lado esquerdo do valor médio de velocidade de 3,0 m/s. Já na análise realizada para a altura de 100 metros a maior parte dos dados, cerca de 17,08%, se encontram no intervalo de 2,1 à 3 m/s e à esquerda do valor médio de velocidade de 5,65 m/s. Quanto a média anual do fator de Weibull o valor encontrado foi de 1,98.

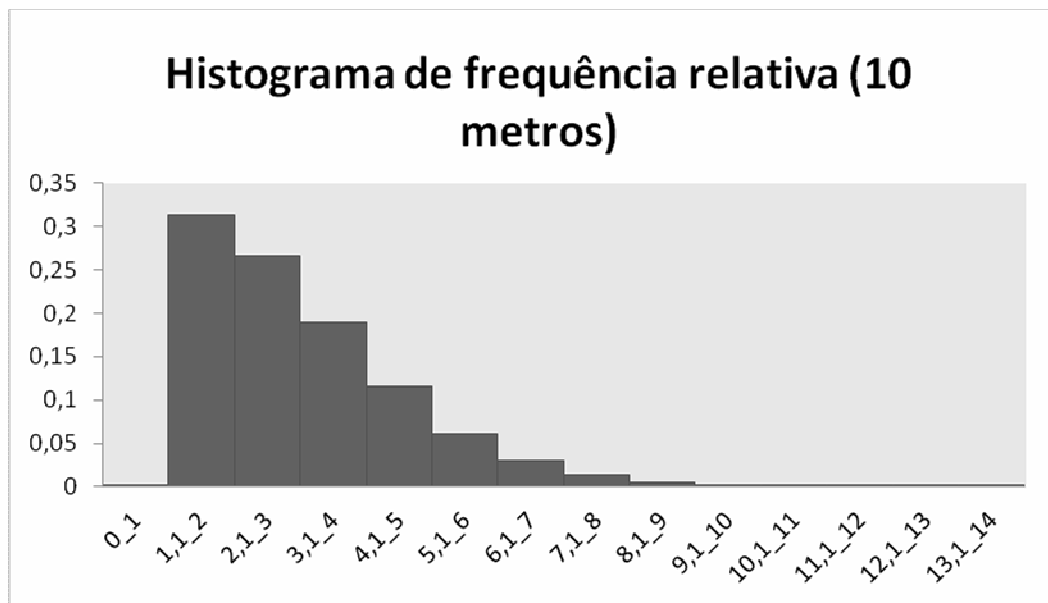


Figura 36 - Histograma de frequência relativa para o município de Florianópolis-SC na altura de 10 metros.
Fonte: do autor.

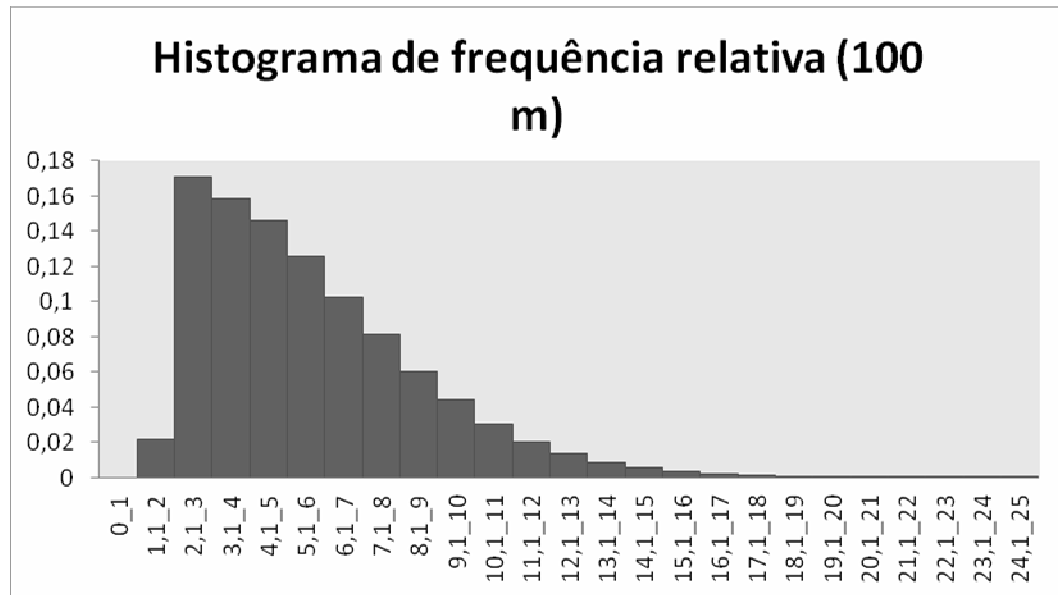


Figura 37 - Histograma de frequência relativa para o município de Florianópolis-SC na altura de 100 metros.

Fonte: do autor.

As Figuras 38 e 39 apresentam a variação do vento para Sombrio nas alturas de 10 e 100 metros, respectivamente. O histograma de frequência relativa para a altura de 10 metros indica que uma grande parcela dos dados, cerca de 68,48%, está na faixa de 1,1 a 2 m/s, sendo que o valor de velocidade média 1,9 m/s. Para a altura de 100 metros a maior porcentagem dos dados, 48,68%, se encontram no intervalo de 2,1 à 3 m/s e à esquerda do valor médio de velocidade de 3,90 m/s. A média anual do fator de Weibull de 2,2 indica que os dados se concentram em relação ao valor de velocidade média.

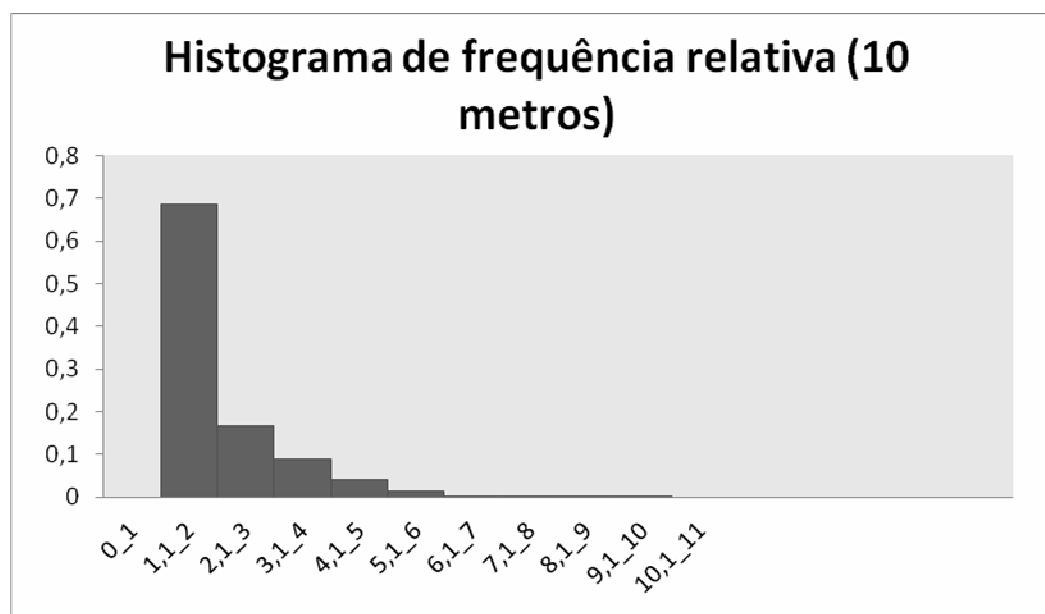


Figura 38 - Histograma de frequência relativa para o município de Sombrio-SC na altura de 10 metros. Fonte: do autor.

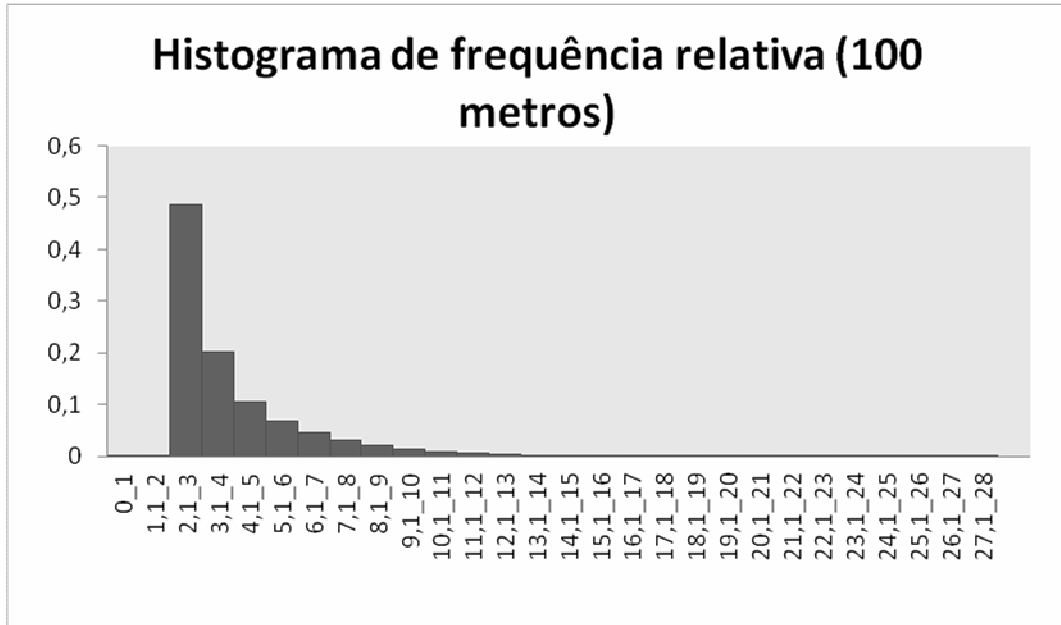


Figura 39 - Histograma de frequência relativa para o município de Sombrio-SC na altura de 100 metros. Fonte: do autor.

Através dos diagramas *Boxplot*, é possível observar o padrão de dispersão das velocidades médias do vento em diferentes alturas compreendidas na análise. Para a cidade de Florianópolis, Figura 40, percebe-se que na altura de 10 metros há uma dispersão de 2,09 m/s e o valor da mediana se encontra em 2,67 m/s. Para altura de 100 metros os valores obtidos são maiores, sendo de aproximadamente 3,91 m/s para a dispersão e 5,02 m/s para a mediana.

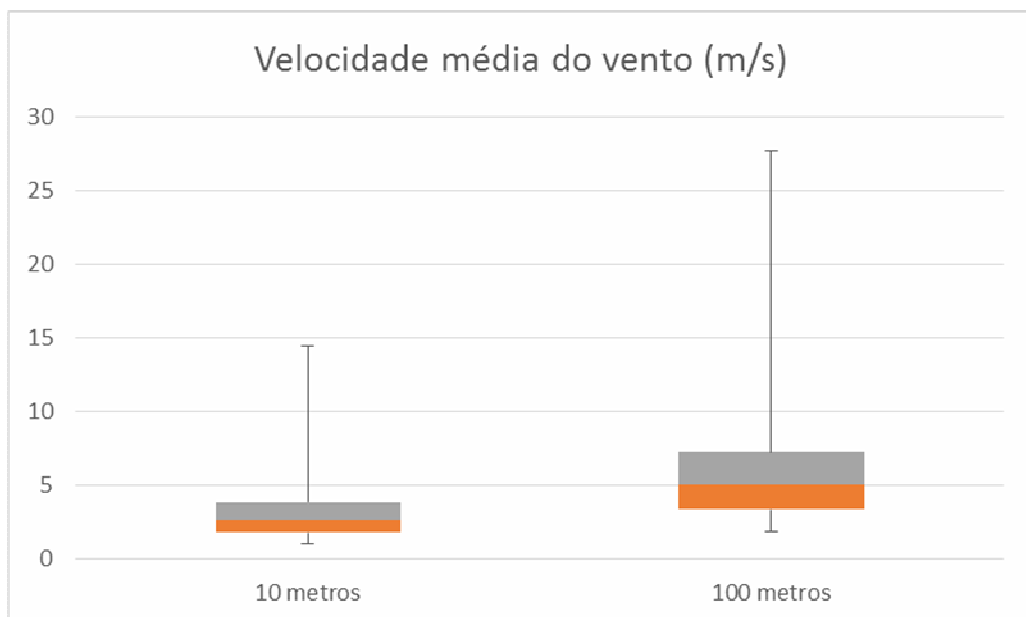


Figura 40 - Distribuição dos dados de Velocidade média do vento na cidade de Florianópolis-SC. Fonte: do autor.

Seguindo a mesma análise, para Sombrio a dispersão encontrada na altura de 10 metros foi de 1,16 m/s e a mediana foi de 1,72 m/s. Para a altura de 100 metros o valor da dispersão é de 1,99 m/s e 3,04 m/s para mediana, como pode ser observado na Figura 41. Com relação a Florianópolis, percebe-se que os valores de dispersão são menores. No que se refere a mediana Sombrio também apresentou valores menores, indicando que, no geral, o conjunto de dados de velocidade do vento tem magnitudes inferiores a Florianópolis.

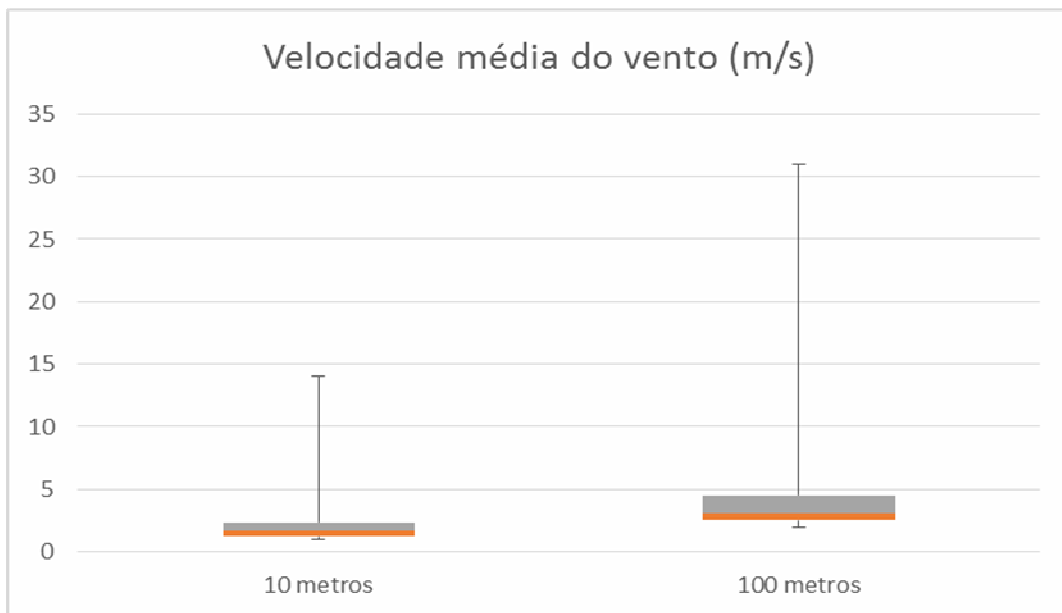


Figura 41 - Distribuição dos dados de Velocidade média do vento na cidade de Sombrio-SC. Fonte: do autor.

5.3 Estudo de viabilidade econômica de um parque eólico no município de Laguna

Através dos dados obtidos na seção 5.1.1, é possível observar o grande potencial eólico da região de Santa Marta, localizado no município de Laguna. Os altos valores de velocidade média do vento estão associados ao corte geográfico do município, sendo que o ponto de medição, localizado no farol de Santa Marta, se encontra quase *offshore*. Desse modo o estudo de viabilidade econômica contempla pontos locais do município de Laguna.

No que se refere aos intervalos da coleta de dados, os períodos iniciais 1 e 2 fornecerem um número de dados muito pequeno após o processo de filtragem, caracterizando assim uma indisponibilidade de dados. Entretanto a velocidade média do vento para os períodos 3 e 4 se enquadram aos valores considerados propícios para geração de energia eólica. A Tabela 18 mostra os dados de velocidade do vento que foram inseridos no programa computacional *RETscreen*.

Tabela 18 - Caracterização dos dados de velocidade de vento (m/s) na entrada do *Software RETScreen*.

Mês	Velocidade média do vento (m/s)
Julho – 2014	9,10
Agosto – 2014	9,10
Setembro – 2014	9,10
Outubro – 2014	9,10
Novembro – 2014	9,10
Dezembro – 2014	9,10
Janeiro – 2015	9,29
Fevereiro – 2015	9,14
Março – 2015	10,34
Abril – 2015	10,11
Mai – 2015	10,32
Junho – 2015	9,01

Fonte: do autor.

Para não comprometer a simulação de um parque eólico na região, os valores de velocidade do vento na entrada do programa *RETScreen* foram colocados como a velocidade média característica, extrapolado para a altura de 100 metros, da região nos meses dos períodos 1 e 2 e desmembrados para os meses correspondentes aos períodos 3 e 4.

Após a entrada manual de dados correspondentes a cidade de Laguna-SC, o modelo energético (Figura 42), seguiu-se com a determinação do aerogerador ENERCON 70 E4 – 98 m da marca ENERCON, de modo que a altura do Aerogerador é semelhante a altura da análise dos dados.

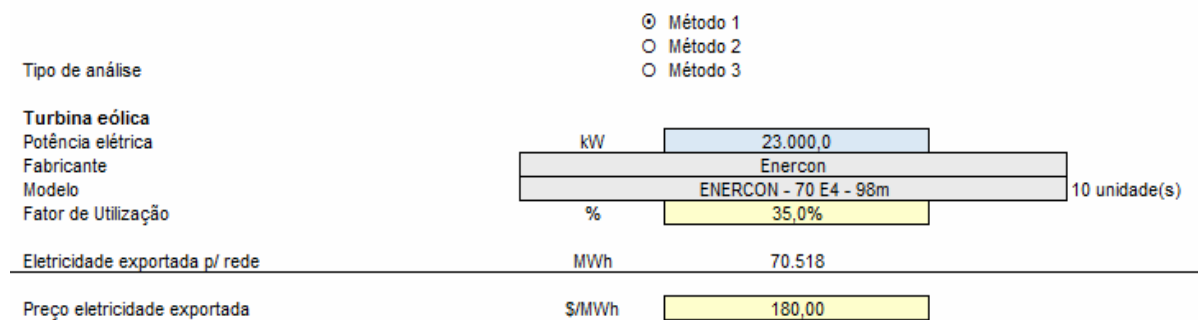


Figura 42 - Características da tecnologia utilizada. Fonte: RETSCREEN, 2015.

Foi determinada uma planta de dez unidades com fator de produção de 35%, e assim programa obteve a eletricidade de 70.518 MWh exportada para a rede. O preço da eletricidade foi inserido de acordo com o valor médio de Índice de Custo e Benefício (ICB) dos empreendimentos de energia eólica que venceram no Leilão de energia nova A 3 (Nº 4/2015).

Os custos individuais, correspondentes as etapas necessárias para realização do empreendimento, podem ser visualizados na Tabela 19.

Tabela 19 – Custos individuais do empreendimento.

Custos do projeto (23 MW)	Total
Equipamentos	50.600.000
Obras civis	11.500.000
BOP	8.211.000
Acessos internos	2.396.750
Linha de Transmissão (10 km)	2.262.500
SE Saída/Casa de comando	8.500.000
Bay de entrada	966.000
Engenharia e Gerenciamento	2.012.500
Administração proprietário	1.380.000
TOTAL	87.828.750

Fonte: do autor.

A disposição dos custos inseridos no *Retscreen*, junto com os custos associados às despesas de operação de manutenção encontram-se apresentados na tabela 20.

Tabela 20 - Distribuição dos custos no *Retscreen*.

Custos do projeto	Unidade	Quantidade	Custo Unitário	Total
Custos iniciais				
Estudos de viabilidade	Custo	1	2.012.500	2.012.500
Desenvolvimento	Custo	1	1.380.000	1.380.000
Produção e eletricidade	kW	23.000	3066,93	70.539.500
Balanco do Sistema	Custo	1	13.896.860	13.896.750
Total do Investimento				87.828.750
Custos anuais				
Operação e manutenção	Custo	1	480.000	480.000

Fonte: RETSCREEN, 2015.

Os custos associados aos estudos de viabilidade, englobam a investigação do local, avaliação do potencial eólico, os projetos de engenharia e gerenciamento. Na etapa de desenvolvimento considerou-se os custos relacionados a arrendamento de terras e relações com os proprietários. Quanto à produção de eletricidade o preço considerado é referente ao aerogerador, em que o custo unitário é dado por kW. O balanço do sistema compreende os processo de instalação, obras civis e as vias de acesso interno.

Por fim também é adicionado os custos que são dados em escala anual e que se referem a operação e manutenção, o qual tem se por premissa um valor de 2% do preço dos aerogeradores.

Com a ferramenta de cálculo de emissões de GEE, é possível obter a redução anual líquida de GEE (Tabela 21).

Tabela 21 - Redução anual líquida de GEE dado em toneladas de carbono.

Emissões de GEE Caso de referência TCO2	Emissões de GEE Caso proposto TCO2	Redução anual líquida de emissões de GEE TCO2
7.198,3	1.079,7	6.118,5

Fonte: RETSCREEN, 2015.

A receita anual do empreendimento, produto do valor da energia exportada a rede e o preço da eletricidade exportada, totaliza um valor de R\$ 12.693.240. Ainda é adicionado a receita referente a redução de GEE, a qual no fim dos 20 anos totaliza 122.370 de TCO2. Tomando se por base o preço obtido no último Leilão de Venda de Reduções Certificadas de Emissão (RCE) de 3,30 €/TCO2 o valor da receita pela redução de GEE fica em R\$ 80.030 por ano.

Considerando-se um período de vida do projeto de 20 anos, foi inserido uma taxa de desconto de 12%. Outra consideração relevante ao estudo foi a existência de isenção fiscal.

Desse modo, o fluxo de caixa obtido pode ser visualizado na Tabela 22, sendo que foi considerado uma duração de 5 anos para o crédito obtido da redução de GEE.

Tabela 22 - Fluxo de caixa do empreendimento analisado.

Ano	Antes imposto	Após imposto	Cumulativo
0	-87.828.750	-87.828.750	-87.828.750
1	12.293.270	12.293.270	-75.535.480
2	12.293.270	12.293.270	-63.242.209
3	12.293.270	12.293.270	-50.948.939
4	12.293.270	12.293.270	-38.655.669
5	12.293.270	12.293.270	-26.362.399
6	12.213.240	12.213.240	-14.149.159
7	12.213.240	12.213.240	-1.935.919
8	12.213.240	12.213.240	10.277.321
9	12.213.240	12.213.240	22.490.561
10	12.213.240	12.213.240	34.703.801
11	12.213.240	12.213.240	46.917.041
12	12.213.240	12.213.240	59.130.281
13	12.213.240	12.213.240	71.343.521
14	12.213.240	12.213.240	83.556.761
15	12.213.240	12.213.240	95.770.001
16	12.213.240	12.213.240	107.983.241
17	12.213.240	12.213.240	120.196.481
18	12.213.240	12.213.240	132.409.721
19	12.213.240	12.213.240	144.622.961
20	12.213.240	12.213.240	156.836.201

Fonte: RETSCREEN, 2015.

A partir dos índices VPL, TIR e *Payback*, dispostos na Tabela 23, é possível verificar a viabilidade do projeto de um parque eólico na região de Santa Marta na cidade de Laguna-SC.

Tabela 23 - Valores indicativos da viabilidade econômica do projeto.

Indicativo de viabilidade financeira	Unidade	Valor
TIR antes impostos-capital próprio	%	12,7 %
TIR após impostos – capital	%	12,7 %
Retorno (<i>Payback</i>)	Ano	7,1
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$	3.685.849
Economia anual no ciclo de vida	R\$/an	493.457
Razão custo benefício (C-B)		1,04
Custo da Geração de energia	R\$/MWh	173,00

Fonte: RETSCREEN, 2015.

A TIR maior que o valor da taxa de desconto considerada no estudo, indica viabilidade econômica. O consequente valor de VPL positivo também é um parâmetro que representa a viabilidade do empreendimento. O tempo de retorno do investimento inicial, de 7,1 anos, pode ser visualizado na Figura 43.

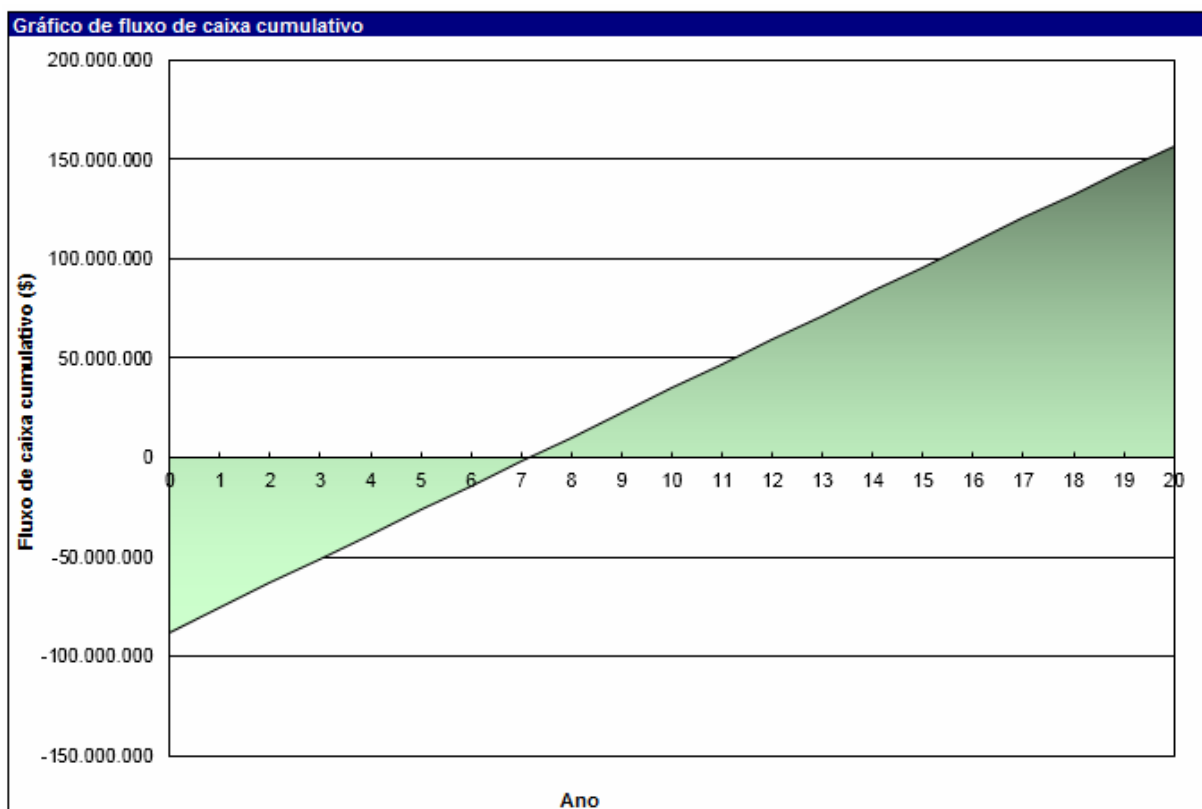


Figura 43 - Gráfico representativo do fluxo de caixa e o *Payback*. Fonte: RETSCREEN, 2015.

Ainda é possível analisar que no décimo quinto ano o valor cumulativo supera o valor

de investimento.

6 CONCLUSÕES

A primeira etapa do presente estudo visou a análise do recurso eólico da região sul de Santa Catarina através das redes INMET e SONDA. A análise para as localidades compreendidas na rede INMET, Florianópolis, Santa Marta, Urussanga, Araranguá e Torres, forneceu os seguintes valores de velocidade média anual de vento na altura padrão de 10 metros: 2,92; 5,54; 1,88; 2,88 e 3,14 m/s, respectivamente. Para a altura de 100 metros os valores aumentam para: 5,51; 9,1; 3,88; 5,45; e 5,92 m/s, seguindo a mesma ordem. Quanto ao parâmetro de densidade de potência a média anual ficou de 33,88; 292,14; 6,57; 31,53 e 39,57 W/m² na altura inicial de 10 metros. Na altura de 100 metros os valores de densidade de potência foram de 178,5; 1216,9; 60,07; 210,02; 265,245 W/m². Conclui-se então que a região com valores mais altos e consequentemente favoráveis a geração de energia eólica é Santa Marta no município de Laguna. As cidades de Araranguá, Florianópolis e Torres-RS apresentaram valores próximos e Urussanga apresentou os menores valores. Em relação a sazonalidade, de um modo geral os dados apresentaram alta no período dois.

Na análise dos dados da rede SONDA o parâmetro de velocidade média, encontrado para a cidade de Florianópolis, na altura de 10 metros, foi de 3,03 m/s. Com a extrapolação dos dados de velocidade do vento para a altura de 100 metros, o valor se elevou para 5,69 m/s. Referente à análise do possível potencial eólico, a medida de densidade de potência apontou para o valor de 33,88 W/m² na altura de 10 metros e 223,47 W/m² para a altura de 100 metros. Para a cidade de Sombrio os valores encontrados foram menores, sendo de 1,89 m/s e 9,46 W/m² para a altura de 10 metros. Já para a altura de 100 metros os valores foram de 3,98 m/s e 81,34 W/m². Com relação às variações da velocidade média do vento e densidade de potência com os meses, percebe-se que os valores mais altos estão nos meses de outubro e novembro.

A análise estatística para os dados da rede INMET indicou que a cidade de Urussanga apresenta o conjunto de dados mais próximo do valor de velocidade média, sendo que na análise dos histogramas de frequência relativa o fator de Weibull encontrado foi maior que os das outras cidades. Tal comportamento também é obtido a partir dos diagramas *Boxplot*, os quais deram um valor de dispersão baixo, indicando que os dados se concentram em torno da velocidade média. Para o município de Laguna-SC, o qual os conjuntos de dados, em geral, apresentam os valores mais altos de velocidade do vento é possível verificar a semelhança do

histograma de frequência com a Distribuição de Weibull.

Quanto à análise estatística dos dados da rede SONDA, é possível concluir que a cidade de Sombrio possui um conjunto de dados de velocidade inferiores a Florianópolis. Através dos histogramas de frequência relativa e diagrama *Boxplot*, é possível notar que os dados de velocidade de vento, de Sombrio, se apresentam na maioria concentrados próximos aos valores médios. Já a cidade de Florianópolis apresenta um conjunto de dados mais próximo a Distribuição de Weibull, com fator de forma próximo de 2.

Através do presente estudo, observou-se, na análise em geral, um aumento nos valores de velocidade do vento nos meses de setembro a novembro, indicando assim uma sazonalidade no período da primavera. Pode-se concluir ainda, através da análise dos dados das duas redes, que Laguna/Santa Marta é a região mais propícia para possível implantação de uma planta eólica

A partir dos dados obtidos para Santa Marta, um estudo de caso foi realizado através do *RETscreen* e o mesmo indicou um VPL positivo de R\$ 3.685.849, TIR de 12,7% e *payback* de 7,1. Ambos os resultados são considerados indicativos de viabilidade econômica do projeto, o que está de acordo com a real visibilidade que a região já vem ganhando nos últimos anos no que se refere ao seu recurso eólico.

As demais regiões analisadas não apresentaram atrativo no que se refere ao seu potencial eólico, entretanto a pesquisa compreende apenas o período de um ano o que é insuficiente para afirmar que tais cidades não possam ter um recurso eólico favorável. Assim presume-se a importância de mais estudos acerca da avaliação de potencial eólico, de modo que o mesmo é uma etapa imprescindível em um projeto de um empreendimento na área de energia eólica.

ANALYSIS OF WIND RESOURCE AND POTENTIAL OF THE REGION OF SANTA CATARINA SOUTH AND ECONOMIC VIABILITY STUDY FOR WIND POWER PLANT IN LAGUNA - SC CITY

ABSTRACT

Brazil is considered a country with several factors favorable in relation to the wind resource, with its large territory and high wind speed values, all of which has resulted in an increase in the number of projects in the wind power area. One of the initial steps in a wind farm feasibility study comprises the analysis of the wind resource in the area in which the project

will be located. This analysis is based mainly on wind speed parameter, power prediction and the distribution pattern in which data occur. Because of such importance, this study aims to carry out the analysis of the wind resource of Santa Catarina South and the viability study of a project in the field of wind power generation in the region with the best results obtained. Thus it was awarded the municipalities located around the region of interest, as Araranguá, Laguna, Sombrio, Urussanga and Torres-RS and Florianópolis. The Greed of INMET and were used in the process of getting the wind speed data and RETScreen Software was used in the simulation of a wind farm in Laguna-SC and subsequent your viability analysis.

Keywords: Wind resource. Wind Systems. Simulation Program.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT Catálogo**. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/>>. Acesso em: 9 jun. 2015.

AMARANTE, O. A. C. et al. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília: CRESESB, 2001.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Capacidade de geração do Brasil**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 3 nov. 2015.

CALDAS, Danilo Monteiro. **Estudo do potencial eólico e estimativa de geração de energia de um projeto eólico na cidade do Rio de Janeiro utilizando o WindPro e o WAsP**. 2010. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CARNEIRO, Joaquim. **Energia - do carbono às renováveis**. Guimarães: Joaquim Carneiro, 2013. Color.

CASCÃO, Victor Henrique. **Análise de desempenho de um gerador eólico em conexão unitária durante a ocorrência de faltas**. 2007. 99 f. TCC (Graduação do Curso de Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/inicio?_afzLoop=2697991273601572#%40%3F_afzLoop%3D2697991273601572%26_adf.ctrl-state%3Dvm8t0wgte_42014>. Acesso em: 3 nov. 2015.

CUSTÓDIO, R. S. **Parâmetros de Projeto de Fazendas Eólicas e aplicação específica no Rio Grande do Sul**. 2002. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre, 2002.

DALMAZ, Alessandro. **Estudo do potencial eólico e previsão de ventos para a geração de eletricidade em Santa Catarina**. 2007. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

DONG ENERGY. Disponível em: <<http://www.dongenergy.com/en>> Acesso em: 1 nov. 2015.

DUTRA, Ricardo Marques; TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. Estudo de viabilidade econômica para projetos eólicos com base no novo contexto do setor elétrico. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 1-16, mar. 2002.

EPALANGA, Oteniel Â. Siliveli. **Energia eólica – viabilidade técnica de projeto eólico na região de Urubici**. 2013. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Brasil será grande produtor de petróleo mantendo matriz energética limpa**. Rio de Janeiro, 10 set. 2014. 4 p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/Informe%20EPE%20-%20PDE%202023.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

FARIAS, Ana Maria Lima de. **Módulo 1: Estatística descritiva**. Rio de Janeiro: Ana Maria Lima de Farias, 2014. Color.

GARCÍA, Felipe Hernández. **Análise experimental e simulação de sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos**. 2004. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

MARTÍNEZ, C. **Sistemas eólicos de producción de energia eléctrica**. Espanha: Rueda S. L., 2003.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. Aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São José dos Campos, v. 10, n. 1.304, p. 1-13, out. 2007.

MBFBOSVESPA. **Leilões de crédito de Carbono**. Disponível em: <<http://www.bmfbovespa.com.br/Consulta-Leiloes/leiloes-de-credito-de-carbono-login.aspx?idioma=pt-br>>. Acesso em: 19 nov. 2015.

MELEK, Vinícius Caldeira. **Estudo comparativo de viabilidade econômica entre uma usina eólica e uma usina híbrida (eólica e fotovoltaica)**. 2013. 83 f. Monografia (Especialização em Eficiência Energética) – Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2013.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Energia eólica e mundo**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256600/Folder+Energia+Eolica.pdf/b1a3e78c-7920-4ae5-b6e8-7ba1798c5961>>. Acesso em: 22 set. 2015.

MORELLI, Francis de Souza. **Panorama geral da energia eólica no Brasil**. 2012. 77 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2012.

RAMPINELLI, Giuliano Arns. **Energia eólica - recurso eólico**. Araranguá: Giuliano Arns Rampinelli, 2015. Color.

RETSCREEN. **Análise de projetos de energia eólica**. Disponível em: <www.retscreen.net/download.php/pt/798/1/Course_wind_pt.ppt>. Acesso em: 1 nov. 2015.

SANTOS, Alison Alves dos; RAMOS, Daniel Silva; SANTOS, Nilson Fernandes Tadeu dos. **Projeto de geração de energia eólica**. 2006. 75 f. TCC (Graduação em Engenharia Industrial Mecânica) – Universidade Santa Cecília, Santos, 2006.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me iluminar nesta caminhada.

Aos meus pais, Mary Neiva Tomazi da Silva e João Emilio Moreira da Silva, os quais sempre acreditaram e me apoiaram nos momentos mais difíceis. A todos os familiares e amigos que estiveram comigo nessa jornada.

Ao meu professor-orientador, Giuliano Arns Rampinelli, pelo apoio e incentivo ao longo desses últimos anos de trabalho.

Ao CNPQ pelo apoio a pesquisa, a qual resultou no presente trabalho de conclusão de curso.