

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
ANA CAROLINE OLIVEIRA TEIXEIRA CORSO

**ESTUDO DE CASO SOBRE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE  
ENERGIA EÓLICA APLICADA Á PRODUTORES RURAIS.**

LAGES  
2019

ANA CAROLINE OLIVEIRA TEIXEIRA CORSO

**ESTUDO DE CASO SOBRE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE  
ENERGIA EÓLICA APLICADA Á PRODUTORES RURAIS.**

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Franciéli Lima de Sá

Coorientador: Prof<sup>o</sup>. Adriano Furtado

LAGES

2019

ANA CAROLINE OLIVEIRA TEIXEIRA CORSO

**ESTUDO DE CASO SOBRE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE  
ENERGIA EÓLICA APLICADA Á PRODUTORES RURAIS.**

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Franciéli Lima de Sá

Coorientador: Prof<sup>o</sup>. Adriano Furtado

Lages, SC \_\_\_/\_\_\_/2019. Nota \_\_\_\_ \_\_\_\_\_

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Franciéli Lima de Sá

LAGES

2019

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

Ama Caroline Oliveira Teixeira Costa  
NOME DO ALUNO

Estudo de Caso Sobre Microgeração  
Distribuição de Energia Elétrica Aplicada à  
TÍTULO DO TRABALHO Produtoras Rurais.

BANCA EXAMINADORA:

Francieli Lima de Sá  
Titulação e nome do Orientador (a)

Adriano Souto  
Titulação e nome do Co-orientador (a).

MSc Silvio Moraes de Oliveira  
Titulação e nome do Avaliador (a).

Francieli Lima de Sá  
Coordenador (a) Prof. (a). Titulação e nome da Coordenador (a).

Lages, 09 de julho de 2019.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me abençoado nessa trajetória e ter permitido tudo isso.

Agradeço a minha família, principalmente a minha mãe Nair Oliveira Teixeira Corso e meu pai Luis Teixeira Corso que sempre estiveram do meu lado, me apoiando e me ajudando com seu suporte financeiro, emocional e pela confiança, pois sem eles não seria possível ter chegado até aqui.

Aos meus amigos que sempre estiveram do meu lado me ouvindo, me apoiando, me incentivando e me aconselhando no decorrer deste trabalho.

As minhas amigas integrante de apartamento Samara Batistello e Helloísa Farezin por representarem a minha segunda família.

A minha orientadora e coordenadora de curso Prof<sup>a</sup>. ME. Franciéli por todo acompanhamento, conhecimento passado, tempo disponível para me ajudar e orientação no decorrer deste trabalho.

Ao Prof<sup>o</sup> Silvio por todo conhecimento e ensinamento que me foi passado e por sua compreensão e paciência durante o decorrer do curso.

Ao Prof<sup>o</sup> Adriano Furtado por ter me ajudado com seu conhecimento na realização deste trabalho.

A todos os professores que tive ao longo do curso.

E a todos que contribuíram de forma direta ou indiretamente nesta caminhada para que fosse realizado este trabalho, meu muito obrigada.

## RESUMO

A tecnologia de informação e comunicação de dados vêm crescendo bastante nos últimos anos fazendo com que o setor elétrico almeje novas alternativas capazes de acompanhar esta devida evolução, sendo assim, as implementações de novas fontes de energia elétrica vêm aumentando com o intuito de melhorar o sistema elétrico sem prejudicar o meio ambiente, trazendo maior confiabilidade e segurança para o consumidor. Possibilitando também gerar e controlar sua própria energia na sua própria residência. Dessa forma o presente trabalho descreve a importância de implementar um sistema de geração distribuída com energia eólica, promovendo um estudo de caso, utilizando uma metodologia qualitativa, descrevendo suas vantagens e desvantagens, levando em consideração a importância de implementar uma microgeração eólica para o produtor rural como uma forma de melhoria para sua produção diária, não o prejudicando.

**Palavras-chaves:** Microgeração Distribuída. Geração Eólica.

## **ABSTRACT**

The information and data communication technology has reached the top in recent years, making the electrical industry feed the new alternatives capable of accompanying this evolution, being, like implementations of new energy sources, the possibility to follow the development time of the electric system without damage to the environment, bringing greater reliability and safety to the consumer. Possibility to also generate and control the own energy in your own residence. To make a work increase the capacity to generate a wind energy distribution system, to promote a case study, to apply qualitative information, to incorporate its advantages and disadvantages, to implement the importance of implementing a micro-generation wind generator for the rural producer as a form of improvement for their daily production, not harming.

**Keywords:** Distributed Microgeneration. Wind Generation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Capacidade do vento. ....	18
Figura 2. Sistema de microgeração solar residencial. ....	24
Figura 3. Sistema de microgeração eólica residencial.....	24
Figura 4. Primeira Turbina Eólica Em Fernando de Noronha.....	27
Figura 5. Potencial Eólico no Brasil. ....	27
Figura 6. Energia Eólica instalada no ano de 2017. ....	28
Figura 7. Capacidade de Energia Eólica instalada. ....	28
Figura 8. Curva de Carga dos valores equivalentes a Tabela acima. ....	33
Figura 9. Circulação Global do Vento sobre a Terra.....	35
Figura 10. Formação do Vento devido ao seu deslocamento. ....	35
Figura 11. Forças de Arrasto e Sustentação. ....	36
Figura 12. Tipos de Pás. ....	37
Figura 13. Turbina de Sustentação. ....	38
Figura 14. Tipos de eixo de turbina.....	39
Figura 15. Turbina de Eixo Horizontal.....	40
Figura 16. Turbina de Eixo Vertical.....	40
Figura 17. Turbina de Eixo Vertical.....	41
Figura 18. Turbina Vertical de Cap-Chat. ....	41
Figura 19. Exemplo de um micro-gerador eólico.....	42
Figura 20. Distribuição da Potência. ....	42
Figura 21. Coeficiente de Potência para diferentes tipos de Turbinas Eólicas.....	43
Figura 22. Características dos Tipos de Controle.....	45
Figura 23. Curva de Potência real. ....	45
Figura 24. Quatro Zonas da Curva de Potência.....	46
Figura 25. Demonstração do Controle Stall. ....	46
Figura 26. Curva de Controle Stall.....	46
Figura 27. Controle de Passo em Ângulo adequado.....	47
Figura 28. Movimentação da pá no Controle Ativo de Passo. ....	47
Figura 29. Principais Componentes para produção de Energia Eólica.....	48
Figura 30. Componentes de uma Turbina de Eixo Horizontal.....	49
Figura 31. Componentes Necessários de uma Turbina Eólica de Eixo Horizontal.....	50
Figura 32. Componentes de uma Turbina Eólica. ....	50

Figura 33. Componentes de uma Turbina Eólica de Eixo Horizontal.....	51
Figura 34. Elementos Característicos de uma Pá. ....	52
Figura 35. Regiões de uma Pá. ....	52
Figura 36. Direção do Vento sobre a Seção de uma Pá.....	52
Figura 37. Acionamento do Gerador PMSG. ....	54
Figura 38. Anemômetro de Copos.....	55
Figura 39. Princípio de Funcionamento de um Inversor. ....	56
Figura 40. Sistema de Medição com pequenos geradores de energia. ....	59
Figura 41. Demonstração de um Sistema Micro-eólico conectado à rede. ....	60
Figura 42. Esquema de um Sistema de Microgeração ligada à rede. ....	61
Figura 43. Sistema Conectado à rede elétrica.....	61
Figura 44. Conexão do Aerogerador na Rede Elétrica.....	62
Figura 45. Sistema Isolado de Microgeração Eólica. ....	62
Figura 46. Sistema Isolado com Armazenamento em Banco de Baterias. ....	63
Figura 47. Sistema Isolado com Armazenamento em Banco de Baterias e Grupo Gerador Diesel.....	63
Figura 48. Exemplo de um Diagrama Unifilar no Sistema Elétrico.....	64
Figura 49. Exemplo de Instalação de um Aerogerador. ....	65
Figura 50. Princípio de Funcionamento de um Aerogerador. ....	66
Figura 51. Funcionamento de um Aerogerador.....	66
Figura 52. Mapa do Trajeto da Geração de Energia Eólica.....	67
Figura 53. Exemplo de leitura de um medidor. ....	67
Figura 54. Velocidade média Sazonal de Vento a 50 m de altura [m/s] .....	73
Figura 55. Região afetada por obstáculo. ....	74
Figura 56. Vento sobre um Cume.....	74
Figura 57. Estrutura referente aos custos para implementação de um projeto eólico. ....	80
Figura 58. Esquema de Ligação Terra na Turbina Eólica. ....	83
Figura 59. Aterramento do Aerogerador na Torre.....	83
Figura 60. Proteção Contra Raios.....	84
Figura 61. Aterramento.....	85
Figura 62. Esquema para implantação de um sistema eólico. ....	86
Figura 63. Fluxo de Caixa. ....	89
Figura 64. Cidade onde foi realizada a viabilidade econômica. ....	91
Figura 65. Payback .....	93

Figura 66. Payback .....	96
Figura 67. Modelo ELV-H3.8 - 2 kW. ....	100
Figura 68. Curva de Potência do Modelo escolhido.....	101
Figura 69. Modelo H3.8 - 2000 W .....	102
Figura 70. Curva de Geração do Modelo H3.8 - 2000 W .....	102
Figura 71. Modelo ANTARIS 2.5 kW .....	104
Figura 72. Curva de Potência ANTARIS 2.5 kW .....	104
Figura 73. Ferramenta de medição de dados. ....	104
Figura 74. Anemômetro Modelo AN-1B .....	105
Figura 75. Inversor UNO-DM-5.0-TL-PLUS-SB .....	105
Figura 76. Bateria Estacionária Modelo Heliar Freedom DF4001.....	106

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Indicadores de Energias Renováveis. ....	22
Tabela 2. Classes Consumidoras e tipos de tensões. ....	25
Tabela 3. Capacidade de Central Geradora Eólica em Operação. ....	29
Tabela 4. Central Geradora Eólica em Construção no Brasil. ....	29
Tabela 5. Central Geradora Eólica ainda não iniciados. ....	29
Tabela 6. Usinas Eólicas no ano de 2005. ....	30
Tabela 7. Capacidade Instalada por estado no ano de 2018. ....	32
Tabela 8. Valores de Carga referente ao dia 05 de maio de 2019 as 16:50. ....	33
Tabela 9. Sistema AEB no mundo. ....	56
Tabela 10. Padronização de Tensão. ....	63
Tabela 11. Escala de Beaufort. ....	71
Tabela 12. Dados de Vento referentes a cidade de Palmeira das Missões. ....	73
Tabela 13. Tipos de Classes. ....	77
Tabela 14. Valores relativos de rugosidade em certos terrenos. ....	78
Tabela 15. Intensidade de Turbulência Referente ao Terreno. ....	79
Tabela 16. Tipos de Perdas. ....	79
Tabela 17. Requisitos de proteção a cada faixa de potência. ....	82
Tabela 18. Zonas de Proteção de Acordo com a Norma IEC 61400-24. ....	84
Tabela 19. Orçamento on-gridd. ....	91
Tabela 20. Fluxo de Caixa do investimento ao longo de 25 anos. ....	92
Tabela 21. Análise Econômica do valor investido. ....	93
Tabela 22. Orçamento off-gridd. ....	94
Tabela 23. Fluxo de Caixa do investimento ao longo de 25 anos. ....	94
Tabela 24. Análise Econômica do valor investido. ....	95
Tabela 25. Rendimento bancário do investimento para o sistema on-gridd. ....	97
Tabela 26. Comparação do investimento. ....	98
Tabela 27. Rendimento bancário do investimento para o sistema off-gridd. ....	98
Tabela 28. Comparação do investimento. ....	99
Tabela 29. Especificações Técnicas do Modelo ELV-H3.8 2 kW. ....	100
Tabela 30. Especificações do Modelo H3.8 - 2000 W. ....	101
Tabela 31. Especificações Técnicas do Modelo ANTARIS 2.5 kW. ....	103

## ABREVIATURAS

ABEEÓLICA	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG	Banco de Informação de Geração
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GD	Geração Distribuída
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MME	Ministério de Minas e Energia
OIE	Oferta Interna de Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PAYBACK	<i>Payback Period</i>
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PMSG	<i>Permanent Magnet Synchronous Generator</i>
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PROEÓLICA	Programa Emergencial de Energia Eólica
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
REN	Resolução Normativa
RGE	Rio Grande Energia
RS	Rio Grande do Sul
R\$	Real
SIN	Sistema Nacional Interligado
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TIR	Taxa Interna de Retorno
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	OBJETIVO GERAL	17
1.1.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	17
1.2	JUSTIFICATIVA	17
1.3	METODOLOGIA	19
1.4	APLICAÇÕES	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	21
2.1	CONCEITO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	21
2.1.1	VANTAGENS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	25
2.1.2	DESVANTAGENS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	25
2.2	HISTÓRIA DA ENERGIA EÓLICA	26
2.3	ENERGIA EÓLICA NO BRASIL	26
2.4	INCENTIVOS NO BRASIL	33
2.5	VALOR DOS LEILÕES NO BRASIL	34
2.6	IMPACTOS AMBIENTAIS	34
<b>3</b>	<b>ENERGIA EÓLICA</b>	35
3.1	VENTO	35
3.2	TIPOS DE TURBINAS EÓLICAS	36
3.2.1	TURBINAS DE ARRASTE	36
3.2.2	TURBINAS DE SUSTENTAÇÃO	37
3.2.3	TIPO DE EIXO DAS TURBINAS EÓLICAS	39
3.2.4	COEFICIENTE DE POTÊNCIA DE UMA TURBINA EÓLICA	42
3.2.5	POTÊNCIA DE UMA TURBINA EÓLICA	43
3.2.6	CONTROLE DE POTÊNCIA E POTÊNCIA NOMINAL	44
3.2.6.1	CONTROLE STALL	46
3.2.6.2	CONTROLE DE PASSO	47
3.2.6.3	CONTROLE ATIVO DE PASSO	47
3.3	COMPONENTES	47
3.3.1	TORRE	51
3.3.2	PÁS	51
3.3.3	CUBO DAS PÁS	52

3.3.4	EIXO .....	53
3.3.5	ROTOR .....	53
3.3.6	NACELE .....	53
3.3.7	GERADOR.....	53
3.3.8	FREIO .....	54
3.3.9	BIRUTA .....	55
3.3.10	MEDIDORES DE VENTO.....	55
3.3.11	MECANISMO DE CONTROLE.....	55
3.3.12	CAIXA DE MULTIPLICAÇÃO .....	56
3.3.13	INVERSOR.....	56
3.3.14	BATERIAS .....	56
3.3.15	MEDIDOR BIDIRECIONAL.....	58
3.4	GERAÇÃO .....	60
3.4.1	TIPOS DE CONEXÃO.....	63
3.5	PRINCÍPIO DE INSTALAÇÃO E FUNCIONAMENTO EÓLICO.....	64
3.6	FATORES QUE PREJUDICAM O FUNCIONAMENTO DO AEROGERADOR .....	68
3.7	VANTAGENS .....	68
3.8	DESVANTAGENS.....	69
3.9	FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA USO DE ENERGIA EÓLICA.....	69
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE VIABILIDADE.....</b>	<b>70</b>
4.1	LOCAL, VELOCIDADE DO VENTO/QUANTIDADE DE PRODUÇÃO.....	70
4.1.1	LOCAL .....	70
4.1.2	VELOCIDADE DO VENTO .....	71
4.1.3	VELOCIDADE DO VENTO COM A ALTURA.....	75
4.1.4	RUGOSIDADE DO TERRENO.....	76
4.1.5	TURBULÊNCIA.....	79
4.1.6	QUANTIDADE DE PRODUÇÃO .....	79
4.2	CUSTO.....	80
4.3	MANUTENÇÃO .....	81
4.4	PROTEÇÃO.....	81
4.5	IMPLEMENTAÇÃO .....	85
4.5.1	FATOR DE CAPACIDADE.....	88
4.6	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	89
4.6.1	ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA .....	90
4.6.2	COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA .....	97
4.7	EQUIPAMENTOS QUE PODERIAM SER UTILIZADOS PARA IMPLEMENTAÇÃO.....	99

4.7.1	MODELO ELV-H3.8 – 2 kW .....	99
4.7.2	MODELO H3.8 – 2000 W .....	101
4.7.3	MODELO ANTARIS 2.5 kW .....	103
4.7.4	ANEMÔMETRO ESTACIONÁRIO MODELO AN-1B .....	105
4.7.5	INVERSOR MODELO UNO-DM-5.0-TL-PLUS-SB.....	105
4.7.6	BATERIA ESTACIONÁRIA MODELO HELIAR FREEDOM DF4001 .....	106
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>107</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>109</b>
	<b>ANEXO A – CATÁLOGO ANEMÔMETRO ESTACIONÁRIO MODELO AN-1B.....</b>	<b>121</b>
	<b>ANEXO B – CATÁLOGO INVERSOR MODELO UNO-DM-5.0-TL-PLUS-SB.....</b>	<b>124</b>
	<b>ANEXO C – CATÁLOGO TÉCNICO BATERIA ESTACIONÁRIA MODELO HELIAR FREEDOM DF4001 .....</b>	<b>129</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A eletricidade é indispensável no desenvolvimento de diversas atividades criadas pelo ser humano, proporcionando conforto e funcionalidade aos seres humanos. A descoberta da eletricidade ocorreu por volta de 1800, quando observaram que uma substância nomeada âmbar induzia pequenos objetos leves quando atritadas com pele de gato, (WOLSKI, 2007).

Antigamente, a humanidade passou por muitas dificuldades para chegar ao mundo em que temos hoje, e nada disso seria possível se não tivéssemos a energia que possuímos nos dias atuais, se dando graças a descoberta de Thomas Alva Edison que encontrou a solução para transformar a energia elétrica em fonte de luz barata, eficiente e duradoura, desenvolvendo a lâmpada elétrica, (HAMILTON; MARKUN, 2006).

Em 1879, no Rio de Janeiro, aconteceu a primeira comprovação de iluminação elétrica no Brasil na inauguração da estação central da Estrada de Ferro D. Pedro II, (SANTOS; REIS, 2002). Em 1880 e 1900 apareceram inúmeras pequenas usinas geradoras no Brasil, empenhadas para suprir a necessidade dos serviços públicos de iluminação e também dos serviços moderados, (HAMILTON; MARKUN, 2006), onde percebeu-se que era preciso implementar uma fonte de energia renovável que pudesse abastecer a população, sendo criada as usinas hidrelétricas, por meio de geração hidráulica, sendo a maior fonte de energia no Brasil. Até hoje a primeira usina criada para aproveitamento de serviço público no Brasil teve começo em 7 de setembro de 1889, com 252 KW da Usina de Marmelos, em Juiz de Fora (MG), (BENÍCIO, 1977).

Segundo a Eletrobrás o potencial hidrelétrico Brasileiro por bacia hidrográfica em 2017 possui um total geral de 246.313 MW, (ELETROBRÁS, 2017), mas com o passar dos anos a preocupação com as mudanças climáticas e poluição ambiental fez com que fosse necessário buscar novas fontes de energia como alternativas de segurança para o abastecimento e geração de energia do país, e uma delas que vêm aumentando bastante nos últimos anos são as energias renováveis, que segundo o Ministério de Minas e Energia (2016), no país 43,9% da Oferta Interna de Energia (OIE) é renovável, (BRASIL, 2016), trazendo inúmeros benefícios por serem fontes inesgotáveis que sempre estarão se renovando sem prejudicar o meio ambiente.

Muito se sabe que com o passar dos anos vem havendo uma mudança significativa na tecnologia de informação e comunicação, tornando-as mais evoluídas e inovadoras. As redes de energia elétrica vão continuar crescendo globalmente devido ao aumento populacional, tornando maior o risco de desequilíbrios na rede devido ao maior índice de utilização de energia elétrica. Com esse avanço tecnológico será preciso que as redes de distribuição do setor

brasileiro, necessitem buscar novas formas de melhoramento na qualidade de energia elétrica e eficiência operacionais para o consumidor não o prejudicando, tendo como uma proposta de melhoramento e solução, a implementação de microgeração distribuída com energia eólica, atendendo as metas ambientais, trazendo confiabilidade distinta ao sistema usual.

Dentro deste contexto, este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a implementação de um sistema de microgeração utilizando recurso energético distribuído em forma de ajudar na produção diária do produtor rural reduzindo seus custos de energia e reduzindo o carregamento e as perdas da rede elétrica.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a importância de um sistema de microgeração com integração de energia eólica para o produtor rural.

### 1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Dentre os objetivos do trabalho, pode-se enumerar como os objetivos específicos, conforme segue:

- Analisar, verificar e descrever a importância de microgeração para a geração de energia;
- Visar e descrever conceitos e comparações de dados que comprovem sua importância;
- Identificar vantagens e desvantagens para sua implementação;
- Descrever a forma de utilização, geração, funcionamento e viabilidade de uma turbina eólica para o produtor rural.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

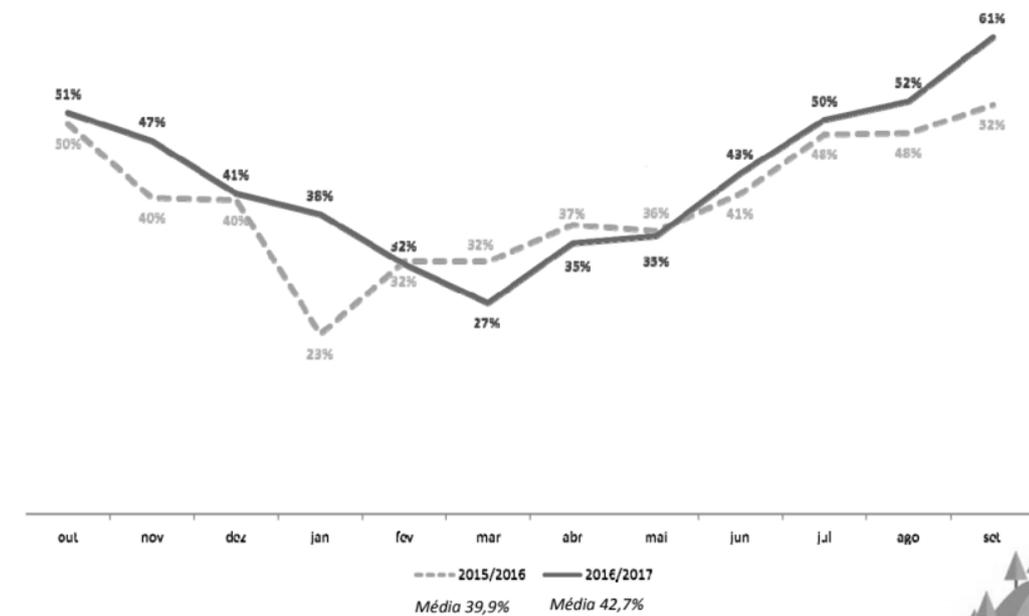
O consumo de energia elétrica vem crescendo nos últimos anos, elevando seu índice de perdas, não se tornando mais possível construir novas hidrelétricas grandes devido a questões

ambientais sendo necessário buscar novas alternativas que possam ajudar o sistema elétrico e o consumidor.

O Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) apontou que o consumo total de energia elétrica voltou a crescer em 2017 depois de dois anos de queda, obtendo um crescimento anual de 0,8%, (BRASIL, 2018). No período que vai de 2018 a 2022, a projeção de crescimento médio anual de consumo de energia é de 3,9%, (BRASIL, 2018) que acaba agravando este acontecimento de perdas na rede.

As fontes de energia renováveis são boas alternativas para este problema do sistema elétrico devido a ser uma fonte que não prejudica o meio ambiente. Segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA) o Brasil foi considerado em 2016 o país com o melhor vento do mundo tendo como média 41% em relação à média mundial que é 30% sendo demonstrado na Figura 1, (PISNI, 2017).

Figura 1. Capacidade do vento.



Fonte: (PISNI, 2017)

Este trabalho visa descrever e analisar a implementação da microgeração para o meio rural trazendo lucro para o consumidor devido a ser uma fonte de energia renovável que não prejudica o meio ambiente, podendo ser equivalente a compra ou venda de energia elétrica, proporcionando confiabilidade, conforto e garantia para o produtor, podendo ser utilizada de

maneira conectada à rede ou isolada da rede, tornando-o como um produtor de energia elétrica, gerando uma energia mais limpa e viável.

### 1.3 METODOLOGIA

A realização do presente trabalho será abordada através de uma metodologia de pesquisa qualitativa e quantitativa, utilizando uma abordagem exploratória, elaborada a partir do estudo de artigos, teses, referências bibliográficas.

Primeiramente no capítulo 1 foi apresentada a introdução, contendo mais três capítulos nesse trabalho (fora a introdução, com a introdução o trabalho possui quatro capítulos).

No capítulo 2 será realizada a revisão bibliográfica contendo os conceitos sobre a geração distribuída, descrevendo suas vantagens e desvantagens, abrangendo um breve relato sobre a história da energia eólica, sendo relatado também sobre a energia eólica no Brasil, seus incentivos, o valor dos leilões e seus possíveis impactos ambientais.

No capítulo 3 será realizada um detalhamento sobre a energia eólica contendo o conceito do vento, os tipos de turbinas eólicas existentes com suas definições, seus tipos de eixo, seu coeficiente de potência, os controles de potência e potência nominal. Também será descrito seus componentes, sua forma de geração, seu princípio de instalação, seu funcionamento contendo os fatores que podem prejudicar o bom funcionamento do aerogerador, suas vantagens e desvantagens e algumas ferramentas computacionais para uso de energia eólica.

No capítulo 4 será realizado o estudo de viabilidade, sendo descrito o local, a velocidade de vento adequada para uma turbina eólica, sua quantidade de produção, seu custo, manutenção, proteção, o passo a passo para realizar a implementação da turbina eólica, a viabilidade econômica e possíveis equipamentos que podem ser utilizados para sua implementação.

### 1.4 APLICAÇÕES

A geração distribuída vem crescendo bastante nos últimos anos devido as fontes de energias renováveis terem entrado no sistema de distribuição de energia elétrica.

Segundo a ONS existe no Brasil 237 locais com sistemas isolados, tendo a maior concentração na região Norte do país, (ONS, 2018) sendo previsto um aumento para os próximos anos em decorrer das vantagens geradas por este sistema.

A energia eólica é muito utilizada devido a sua energia ser inesgotável não prejudicando o meio ambiente. A capacidade de energia eólica instalada no Brasil em 2017 segundo a ONS

foi de 12.309 MW sendo previsto para 2022 o aumento de 15.373 MW, (ONS, 2017), sendo uma boa maneira de implementação para utilização devido ao aumento da capacidade, onde atualmente a operação comercial de energia eólica cresceu 17,8% de janeiro a junho de 2018, estando previsto até 2026 um aumento de 11,8 GW, (CCEE, 2018) e (MME; EPE, 2017).

O presente trabalho aborda um estudo de caso no qual descreve a importância de implementar uma microgeração de energia eólica para o produtor rural podendo atuar de forma *on-grid* ou *off-grid* trazendo então maior confiabilidade para o produtor visando o seu custo-benefício.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONCEITO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

O sistema de distribuição centralizado vem se tornando ineficiente devido à uma grande demanda de energia elétrica nos últimos anos tornando-os mais dependentes de grandes produtoras de energia deixando-o sobrecarregado, aumentando o risco de perdas e desestabilizações da rede. Devido a estes problemas a tecnologia vem buscando maneiras de produzir energia em pequena escala, para, por exemplo, que produtor rural possa produzir sua própria energia de forma limpa e sustentável, proporcionando bem-estar e qualidade de vida, podendo atuar de maneira conectada ou isolada da rede tornando-o como um produtor de energia renovável, (VILLALVA, 2015).

Devido à grande evolução da tecnologia e a falta de infra-estrutura do país, os reservatórios de água das usinas hidrelétricas estão ficando em nível baixo, não sendo possível construir novas usinas hidrelétricas grandes devido a questões ambientais, sendo necessário buscar novas fontes de energia que possam acompanhar essa nova evolução, não prejudicando o meio ambiente, sendo aplicado então a geração distribuída (GD) como alternativa para suprir a demanda de energia no país, fazendo com que o consumidor possa gerar a sua própria energia de forma limpa, (PEDRO, 2018).

Segundo o Decreto nº 5163 de 30 de Julho de 2004 do Planalto (2004) a geração distribuída é definida como:

Art. 14. [...] Considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, [...] conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento: I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e II - termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004. Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética, (PLANALTO, 2004, p. 1).

O Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) define a geração distribuída como um produtor de energia elétrica podendo ser no mesmo local ou perto do seu consumidor sendo imparcial em relação a potência gerada, (INEE, 2019).

A geração distribuída reduz as perdas ativas e reativas nas linhas de transmissão e distribuição trazendo benefícios para a concessionária, (PEDRO, 2018).

O Art 2º da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 da Aneel (2012) define os tipos de geração distribuída como:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa gerada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída compense o consumo de energia elétrica ativa, (ANEEL, 2012, p. 1).

As minis, pequenas e grandes centrais abastecem muitos consumidores devido ao seu fim comercial, podendo ser ligadas ou isoladas da rede correspondendo as normas legais, sendo demonstrado na Tabela 1 a capacidade de geração de pequenas centrais, (FARRET, 2014).

Tabela 1. Indicadores de Energias Renováveis.

<b>Tecnologia Renovável</b>	<b>Volatilidade (Var.temporal)</b>	<b>Disponibilidade da reserva</b>	<b>Faixa de custos da geração (euros/kWh)</b>	<b>Tensão para interconexão da rede (kV)</b>
Biogás	Anual	Alta	5,18 ~ 26,34	1/30
Biomassa	Anual	Alta	2,87 ~ 9,46	1/30, exceto co-geração
Eletricidade geotérmica	Anual	Baixa: específica do local	3,34 ~ 6,49	10/110

Grandes centrais a fio d'água	Mensal	Baixa	2,53 ~ 16,37	220/380
Grandes centrais hidro armazenadoras elétricas	Mensal	Baixa	Não considerado	220/380
PCH	Mensal	Alta	2,69 ~ 24,93	10/30
Gás de aterro	Anual	Baixa	2,50 ~ 3,91	1/30
Gás do lixo	Anual	Média	2,85 ~ 6,24	1/30
Fotovoltaica	Dias, horas, segundos	Alta	47,56 ~ 165,32	<1
Eletricidade Termosolar	Dias, horas, segundos	Baixa: específica do local	12,48 ~ 66,97	1/30
Maré	12 horas	Alta	Não considerado	10/380
Onda	Semanas	Alta	93,38 ~ 45,16	10/380
Eólica Marítima	Horas, minutos	Baixa: específica do local	4,63 ~ 10,80	30/380
Eólica Terrestre	Horas, minutos	Baixa: específica do local	6,09 ~ 13,39	110/380

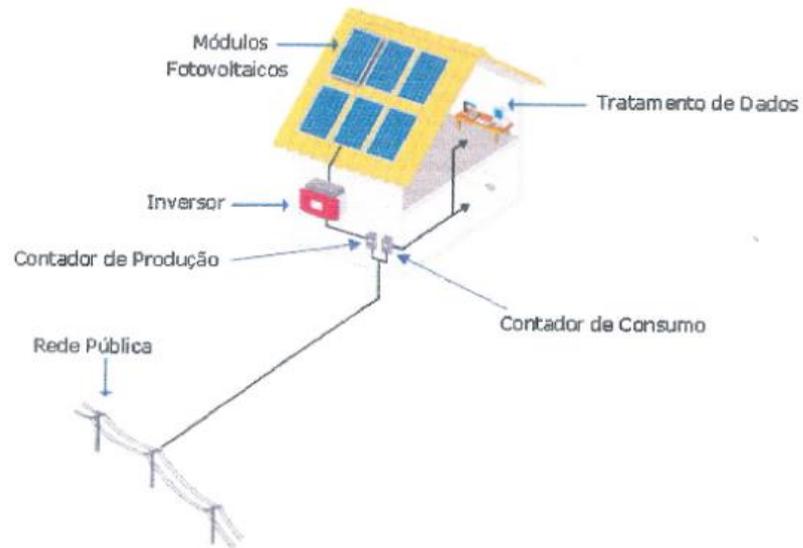
Fonte: (FARRET, 2014)

Segundo o Art 2º da Resolução Normativa nº 687 atualizado da Aneel (2015), a microgeração distribuída é definida como:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, (ANEEL, 2015, p. 1).

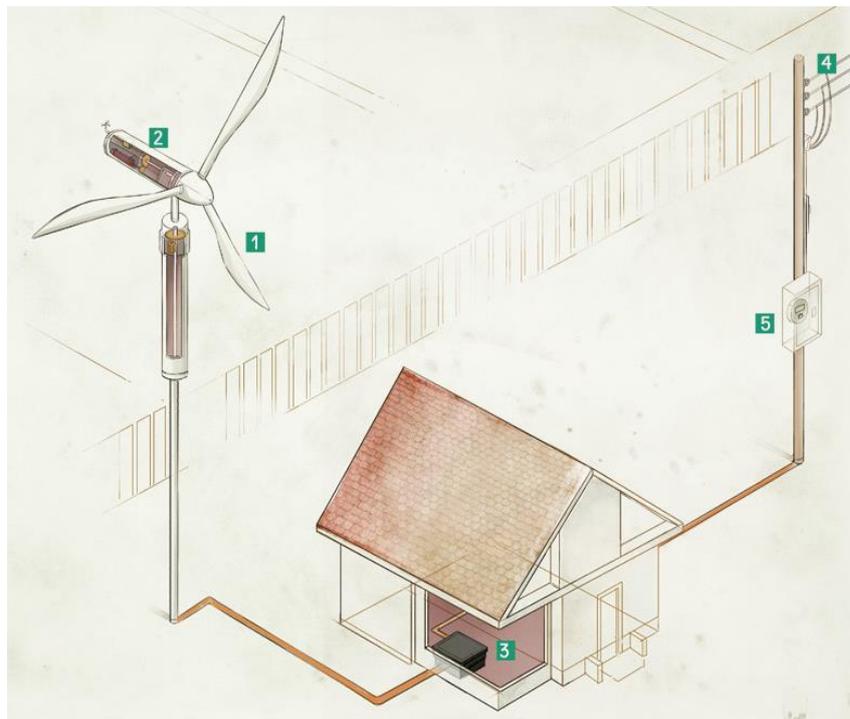
As Figuras 2 e 3 demonstram um exemplo de um sistema de geração distribuída residencial utilizando energia solar e energia eólica.

Figura 2. Sistema de microgeração solar residencial.



Fonte: (COMPLETTEC, 2019)

Figura 3. Sistema de microgeração eólica residencial.



Fonte: (GARCIA, 2016)

Através da curva de carga é realizado a potência necessária correspondente ao consumo da carga elétrica da instalação, onde a maior carga de pico será a potência necessária para geração da pequena central, (FARRET, 2014).

Segundo a Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010 da Aneel (2010) os consumidores são divididos em duas classes de consumo sendo demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2. Classes Consumidoras e tipos de tensões.

<b>Classes Consumidoras</b>	<b>Tipos de Unidades Consumidoras e Tensões</b>
Subgrupo A1	Tensão de Fornecimento igual ou superior a 230 kV
Subgrupo A2	Tensão de Fornecimento de 88 kV a 138 kV
Subgrupo A3	Tensão de Fornecimento 69 kV
Subgrupo A3a	Tensão de Fornecimento 30 kV a 44 kV
Subgrupo A4	Tensão de Fornecimento 2,3 kV a 25 kV
Subgrupo AS	Tensão de Fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição
Subgrupo B1	Residencial
Subgrupo B2	Rural
Subgrupo B3	Demais Classes
Subgrupo B4	Iluminação Pública

Fonte: (ANEEL, 2010)

### 2.1.1 VANTAGENS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

- Diminui os custos em relação a distribuição de energia e transmissão;
- Redução das perdas no sistema;
- Utiliza energia renovável;
- Alívio de carga nos alimentadores;
- Contribui para melhoria da estabilidade de tensão;
- Redução de gastos do consumidor da unidade;
- Aumento da diversificação energética.

### 2.1.2 DESVANTAGENS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

- Custo de Implantação do Projeto;
- Variação na produção de energia.

## 2.2 HISTÓRIA DA ENERGIA EÓLICA

Por muitos séculos os moinhos de vento foram utilizados nas áreas rurais para o bombeamento de água, sendo substituídos em 1970 por motores elétricos. Ao final do século XIX passou a ser utilizado moinhos de vento para geração de energia, com gerador de energia eólica de 12 kW DC construído pela Brush nos EUA e pesquisado pela LaCour na Dinamarca, (BURTON et al., 2001).

Em 1973 houve uma grande preocupação com o preço do petróleo e dos recursos limitados de combustíveis fósseis, estimulando então o desenvolvimento da energia eólica, (BURTON et al., 2001).

Porém foi em 1990 que a energia eólica teve um grande crescimento devido a pesquisas e investimentos fazendo com que baixasse o custo das turbinas eólicas devido ao crescimento de novos fabricantes, (CUSTÓDIO, 2013).

A energia eólica pode ser definida como a energia cinética do ar em movimento, considerando que os melhores ventos ocorrem em épocas de poucas chuvas, tendo então um bom aproveitamento no Nordeste e no litoral das regiões Sul e Sudeste, (CUSTÓDIO, 2013) e (FARRET, 2014).

Se a energia eólica for instalada perto de pequenos centros de cargas faz com que a região passe a ter maior confiabilidade devido a menor quantidade de perdas na transmissão de energia, podendo também, ser uma geradora de novas oportunidades de emprego, sendo uma energia renovável e limpa, que não traz prejuízos para o meio ambiente, (CUSTÓDIO, 2013).

## 2.3 ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

A primeira turbina eólica criada no Brasil foi no ano de 1992 no Arquipélago de Fernando de Noronha, contendo um gerador de 75 kW, com altura de 23 metros, gerando na época 10% de energia para abastecer o local sendo demonstrada na Figura 4, (ANEEL, 2005).

Figura 4. Primeira Turbina Eólica Em Fernando de Noronha.

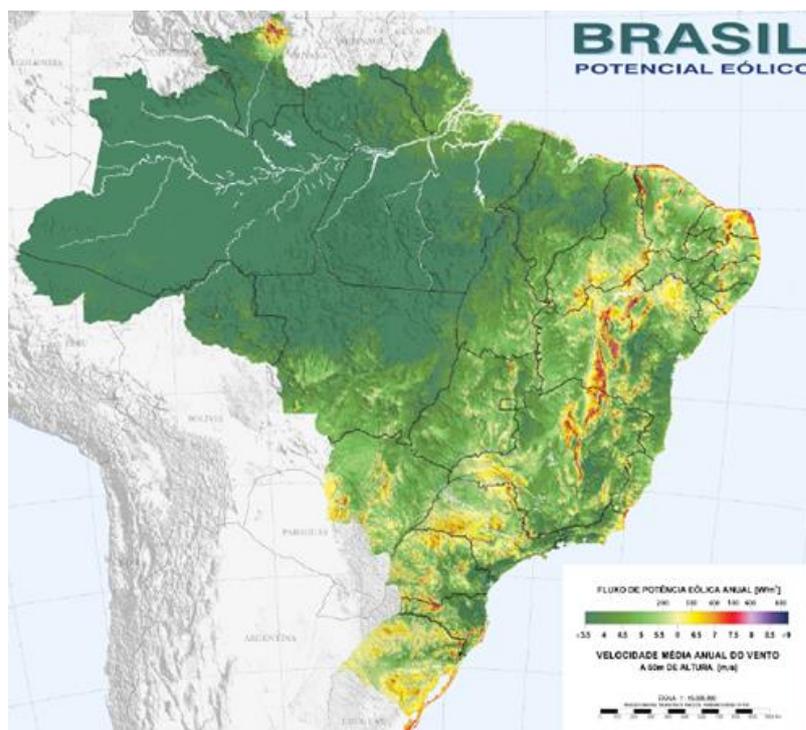


Fonte: (ANEEL, 2005)

Entre os anos de 2003 e 2009 foi estimulado pelo PROINFA várias centrais eólicas no Brasil, (FADIGAS, 2011).

O Brasil possui um bom potencial eólico nas regiões do Nordeste e do Rio Grande do Sul sendo demonstrado na Figura 5 referente ao ano de 2001 realizado pelo Atlas Do Potencial Eólico Brasileiro.

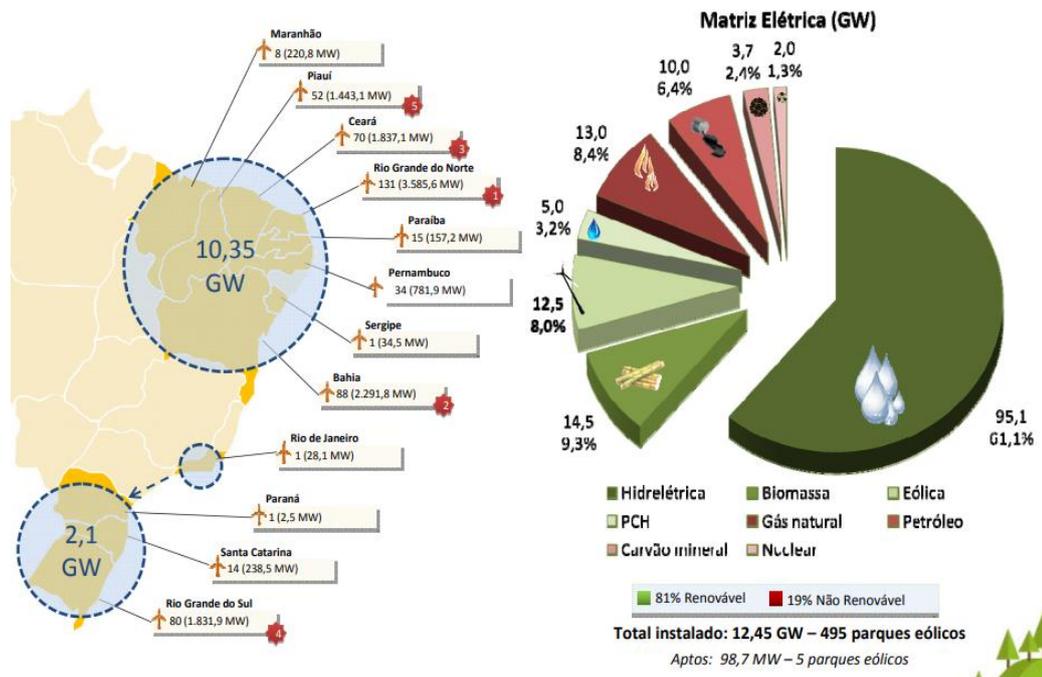
Figura 5. Potencial Eólico no Brasil.



Fonte: (CRESESB, 2001)

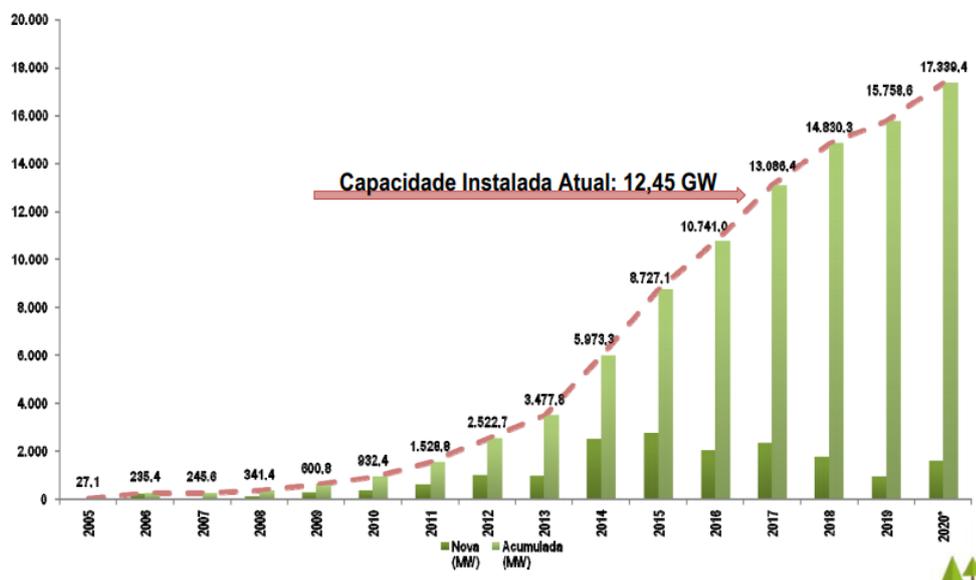
O ano de 2017 foi bom para o Brasil referente a energia eólica devido a retomada dos leilões e a capacidade de potência instalada ocupando o 8º lugar global, sendo instalados em 2017 mais de 2GW de energia eólica como demonstra a Figura 6, tendo um total final realizado em 495 parques eólicos de 12,45 GW de capacidade eólica instalada demonstrado na Figura 7, (GWEC, 2018) e (PISNI, 2017).

Figura 6. Energia Eólica instalada no ano de 2017.



Fonte: (PISNI, 2017)

Figura 7. Capacidade de Energia Eólica instalada.



Fonte: (PISNI, 2017)

Segundo o Banco de Informações de Geração (BIG) a capacidade eólica no Brasil até maio de 2019 é representada nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3. Capacidade de Central Geradora Eólica em Operação.

<b>Empreendimentos em Operação</b>				
Tipo	Quantidade	Potência	Potência	%
		Outorgada (kW)	Fiscalizada (kW)	
Central Geradora Eólica	614	15.099.289	15.063.893	9,14

Fonte: (ANEEL, 2019)

Tabela 4. Central Geradora Eólica em Construção no Brasil.

<b>Empreendimentos em Construção</b>			
Tipo	Quantidade	Potência	%
		Outorgada (kW)	
Central Geradora Eólica	51	889.400	11,41

Fonte: (ANEEL, 2019)

Tabela 5. Central Geradora Eólica ainda não iniciados.

<b>Empreendimentos não iniciados</b>			
Tipo	Quantidade	Potência	%
		Outorgada (kW)	
Central Geradora Eólica	160	4.466.660	35,06

Fonte: (ANEEL, 2019)

O estado do Rio Grande do Sul e do Ceará obtiveram um grande avanço em relação a energia eólica sendo os maiores produtores do país. Na Tabela 6 é demonstrado as usinas que entraram em execução em março de 2005, (FARRET, 2014).

Tabela 6. Usinas Eólicas no ano de 2005.

<b>Usina</b>	<b>Potência outorgada e fiscalizada (kW)</b>	<b>Destino da Energia</b>	<b>Proprietária</b>	<b>Município</b>
Eólica da Prainha	10.000	PIE	100% para Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.	Aquiraz - CE
Eólica de Taíba	5.000	PIE	100% para Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.	São Gonçalo do Amarante – CE
Eólica – Elétrica Experimental do Morro do Camelinho	1.000	REG	100% para CEMIG Geração e Transmissão S.A.	Gouveia – MG
Eólica – Elétrica de Palmas	2.500	PIE	100% para Centrais Eólicas do Paraná Ltda.	Palmas – PR
Eólica de Fernando de Noronha	225	REG	100% para Centro Brasileiro de Energia Eólica – FADE / UFPE	Fernando de Noronha – PE
Parque Eólico de Beberibe	25.600	PIE	100% para Usina Eólica Econergy Beberibe S.A.	Beberibe - CE
Mucuripe	2.400	REG	100% para Wobben Wind Powet Indústria e Comércio Ltda.	Fortaleza – CE
RN 15 – Rio do Fogo	49.300	PIE	100% para Energias Renováveis do Brasil S.A.	Rio do Fogo – RN

Eólica de Bom Jardim	600	REG	100% para Parque Eólico de Santa Catarina Ltda.	Bom Jardim da Serra – SC
Eólica Olinda	225	REG	100% para Centro Brasileiro de Energia Eólica – FADE/UFPE	Olinda – PE
Parque Eólico do Horizonte	4.800	REG	100% para Central Nacional de Energia Eólica Ltda.	Água Doce – SC
Eólica Paracuru	23.400	PIE	100% para Eólica Paracuru Geração e Comercialização de Energia S.A.	Pracuru – CE
Macau	1.800	REG	100% para Petróleo Brasileiro S.A.	Macau – RN
Eólica Água Doce	9.000	PIE	100% para Central Nacional de Energia Eólica Ltda.	Água Doce – SC
Parque Eólico de Osório	50.000	PIE	100% para Ventos do Sul Energia S.A.	Osório – RS
Parque Eólico Sangradouro	50.000	PIE	100% para Ventos do Sul Energia S.A.	Osório – RS
Taíba Albatroz	16.500	PIE	100% para Bons Ventos Geradora de Energia S.A.	São Gonçalo do Amarante – CE
Parque Eólico do Índios	50.000	PIE	100% para Ventos do Sul Energia S.A.	Osório – RS

Millennium	10.200	PIE	100% para SPE Millennium Central Geradora Eólica S.A.	Mataraca – PB
	<b>Potência Total:</b> 312.500 kW	SP PIE APE REG	Serviço Público Produção Independente de Energia Autoprodução de Energia Registro	<b>Total:</b> 19 Usinas

Fonte: (FARRET, 2014)

Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA) em novembro de 2018 o país atinge a capacidade instalada de 14,34 GW, sendo demonstrada na Tabela 7 sua capacidade instalada referente a cada estado, (ABEEÓLICA, 2018).

Tabela 7. Capacidade Instalada por estado no ano de 2018

Estado	Potência (MW)	Nº de Usinas
RN	3.949,3	146
BA	3.525,0	133
CE	2.049,9	80
RS	1.831,9	80
PI	1.521,1	55
PE	781,3	34
SC	238,5	14
MA	220,8	8
PB	156,9	15
SE	34,5	1
RJ	28,1	1
PR	2,5	1
<b>Total</b>	<b>14.339,6</b>	<b>568</b>

Fonte: (ABEEÓLICA, 2018)

Segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) a quantidade de carga instalada no Sistema Nacional Interligado (SIN) do país equivalente ao dia 05 de maio de 2019

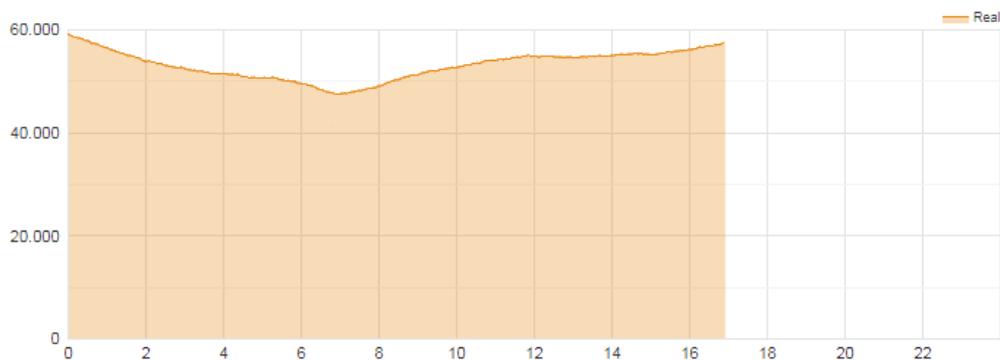
as 16:50 da tarde são demonstradas na Tabela 8 os valores de carga e na Figura 8 é demonstrada a curva de carga.

Tabela 8. Valores de Carga referente ao dia 05 de maior de 2019 as 16:50.

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>
Carga	57327,4 MW
Exportação	0,0 MW
Geração Eólica	4591,3 MW
Geração Hidráulica	45559,4 MW
Geração Térmica	5831,9 MW
Geração Nuclear	646,4 MW
Geração Solar	388,9 MW
Importação	309,8 MW

Fonte: (ONS, 2019)

Figura 8. Curva de Carga dos valores equivalentes a Tabela acima.



Fonte: (ONS, 2019)

## 2.4 INCENTIVOS NO BRASIL

Abaixo é citado alguns dos incentivos de geração de energia eólica no Brasil, sendo eles:

- PROEÓLICA;
- PROINFA;
- Modelo de Leilões;
- Financiamento da Caixa Econômica Federal;
- Empréstimo para Solução Sustentável do Banco do Brasil;
- Resolução Normativa nº 484, de 17 de abril de 2012 da Aneel.

## 2.5 VALOR DOS LEILÕES NO BRASIL

O primeiro leilão de energia eólica ocorreu em 2009 sendo vendida por um preço médio de R\$ 148,39/MWh, (EPE, 2009).

Segundo a EPE (2018) o leilão A-6/2017 resultou o preço da energia eólica no Brasil em cerca de R\$ 99/MWh representando cerca de US\$ 31 /MWh referente a janeiro de 2018 sendo mais barato que a energia de termoeletricas a gás natural, (EPE, 2018) e (MOREIRA; BASTOS; SANTOS, 2018).

## 2.6 IMPACTOS AMBIENTAIS

Toda fonte de geração de energia acaba gerando algum impacto ambiental. Segundo Custódio (2013) os impactos ambientais causados em um parque eólico podem ser:

- Utilização do Terreno;
- Impacto Visual;
- Sombra e Reflexo;
- Emissão de Ruídos;
- Aves que acabam se chocando das torres;
- Interferência Eletromagnética.

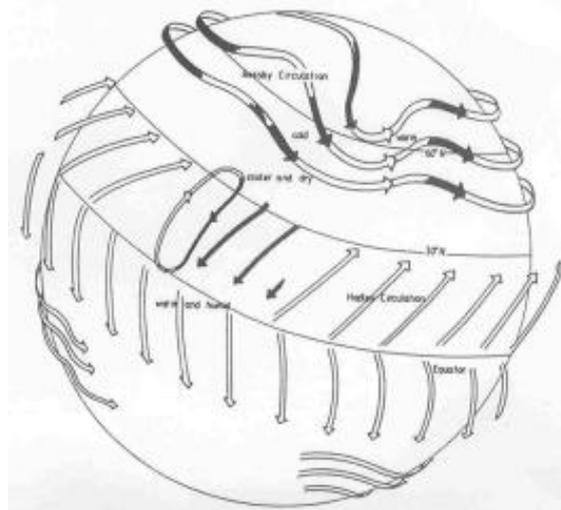
### 3 ENERGIA EÓLICA

#### 3.1 VENTO

O vento é o ar em movimento. São formados devido ao aquecimento desigual da atmosfera, podendo ser considerado que a energia eólica é então resultante do Sol, (PINTO, 2013) e (DUTRA, 2008).

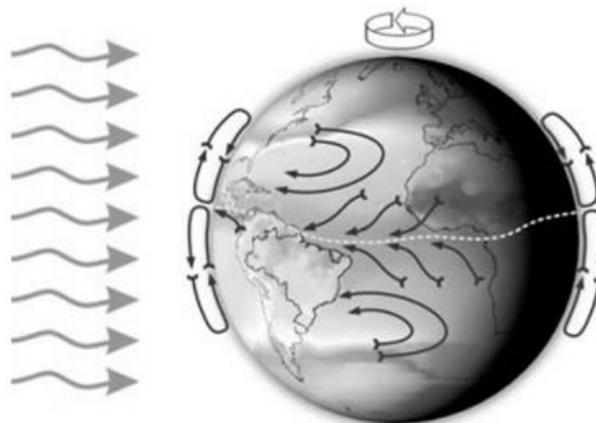
A formação do vento se dá pelo deslocamento das massas de ar, tendo em conta que certos locais devido as suas condições climáticas acabam influenciando no vento, sendo demonstrado nas Figuras 9 e 10 o deslocamento do vento sobre a terra, (FERREIRA, 2011).

Figura 9. Circulação Global do Vento sobre a Terra.



Fonte: (COUNCIL, 2004)

Figura 10. Formação do Vento devido ao seu deslocamento.



Fonte: (CRESESB, 2001)

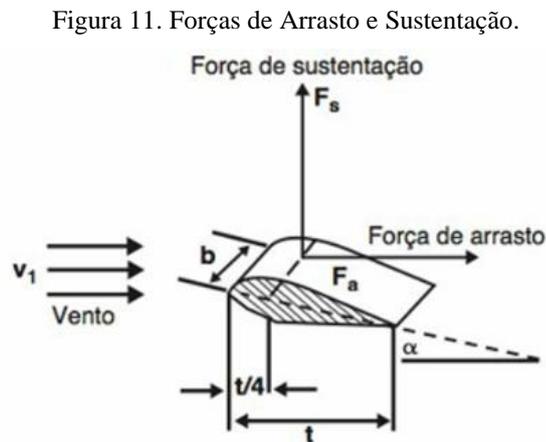
A velocidade do vento varia conforme o tempo, a altura e as características da região influenciando no seu comportamento, levando em consideração que o vento mais forte se encontra a 1 km de distância superior à superfície terrestre, (DUTRA, 2008) e (FERREIRA, 2011).

Existem alguns tipos de variações temporais da velocidade do vento, sendo eles, (FADIGAS, 2011).

- Variações Interanuais;
- Variações Sazonais;
- Variações Diárias;
- Variações de Curta Duração.

### 3.2 TIPOS DE TURBINAS EÓLICAS

As turbinas são responsáveis por adquirir a energia cinética do vento podendo ser classificadas em turbinas de arraste ou turbinas de sustentação sendo demonstradas na Figura 11, (FARIA, 2010).

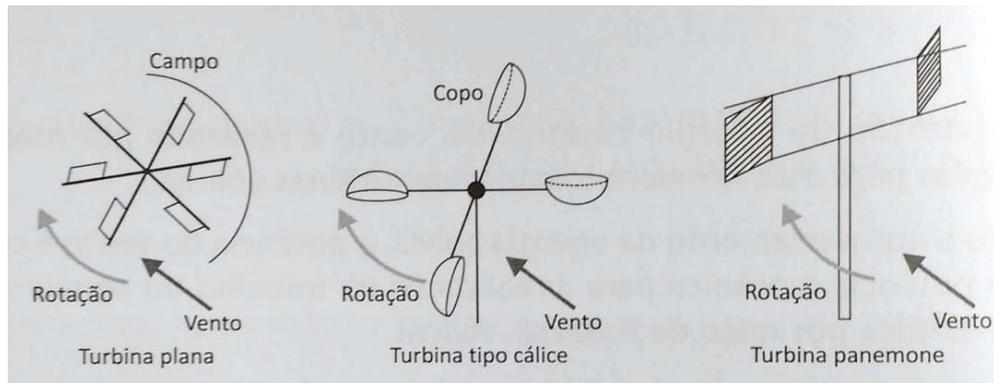


Fonte: (PINTO, 2013)

#### 3.2.1 TURBINAS DE ARRASTE

São turbinas que dependem de ventos de baixa velocidade utilizadas para o bombeamento de pequeno volume água onde as pás são comandadas pelo vento forçando o rotor a girar, contendo três tipos de pás sendo demonstrada na Figura 12, (CUSTÓDIO, 2013).

Figura 12. Tipos de Pás.



Fonte: (CUSTÓDIO, 2013)

A força arrastada do vento é dada pela Equação 1, (CUSTÓDIO, 2013):

$$F_a = \frac{1}{2} * \rho * C_a * A * v^2 \quad (1)$$

onde:

$F_a$  – Força de arraste aerodinâmico [N];

$\rho$  – Massa específica do ar [kg/m<sup>3</sup>];

$v$  – Velocidade do vento [m/s];

$C_a$  – Coeficiente de arrasto [adimensional];

$A$  – Área da pá [m<sup>2</sup>];

### 3.2.2 TURBINAS DE SUSTENTAÇÃO

Atuam através do aproveitamento da sustentação, utilizando pás chamadas de aerofólios gerando pelo vento uma força de empuxo, sendo demonstrada na Figura 13, (FARRET, 2014).

Figura 13. Turbina de Sustentação.



Fonte: (DEWI, 1998)

A força de sustentação em uma parte da pá do rotor é representada pela Equação 2, (CUSTÓDIO, 2013):

$$F_s = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * C_s * A \quad (2)$$

onde:

$F_s$  – Força de Sustentação [N];

$\rho$  – Massa específica do ar [kg/m<sup>3</sup>];

$v$  – Velocidade do Vento [m/s];

$C_s$  – Coeficiente de sustentação [adimensional];

$A$  – Área da superfície superior da pá [m<sup>2</sup>].

Os tipos de turbinas que utilizam sustentação são, (FARRET, 2014):

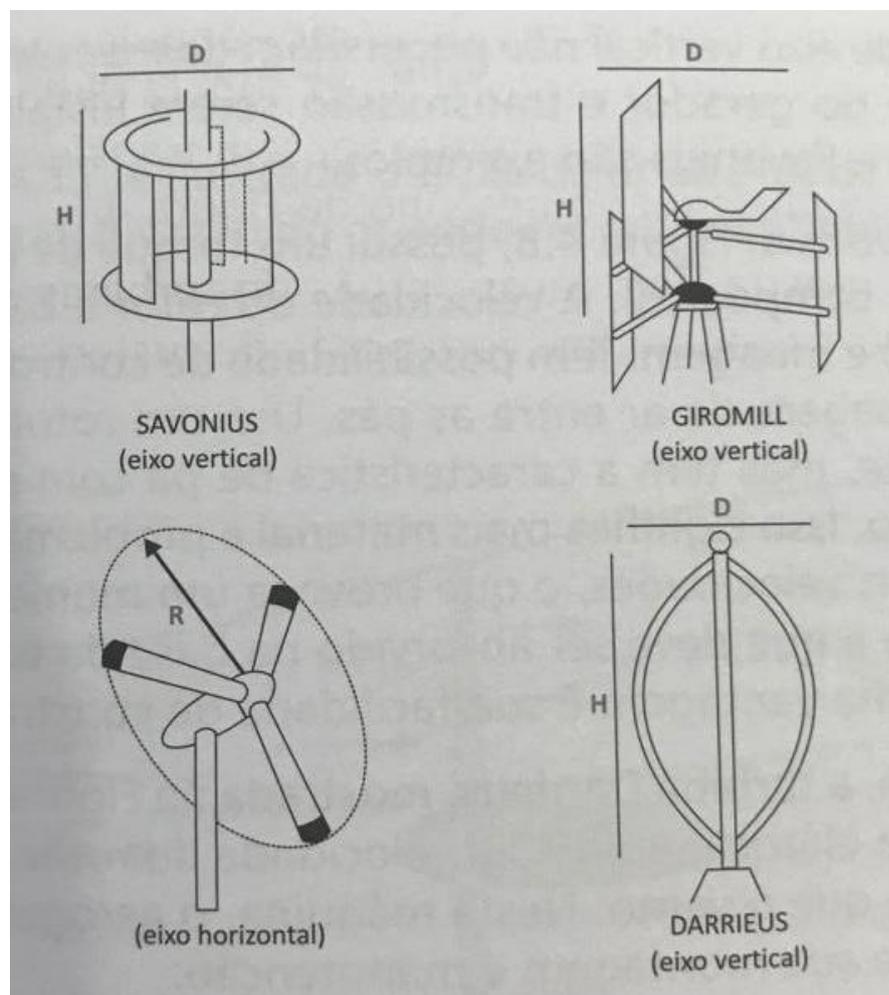
- Darrieus giromil;
- Darrieus troposkien;
- Darrieus triangular;
- Magnus;
- Turbina.

### 3.2.3 TIPO DE EIXO DAS TURBINAS EÓLICAS

As turbinas podem ser de estrutura Darrius ou Savionis (FERREIRA, 2011), sendo de dois tipos de eixos diferentes demonstrada na Figura 14, sendo eles:

- Horizontal;
- Vertical.

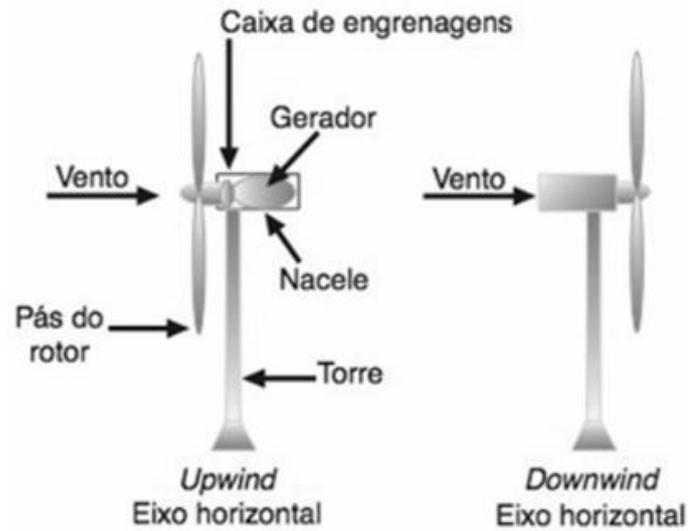
Figura 14. Tipos de eixo de turbina.



Fonte: (CUSTÓDIO, 2013)

O tipo de eixo mais utilizado atualmente para produção de energia é o horizontal demonstrado na Figura 14 pois captura mais energia onde é necessário estar perpendicular ao vento, tendo mais eficiência para produção de energia, podendo ser de força de arrasto ou de sustentação (CUSTÓDIO, 2013) e (DUTRA, 2008).

Figura 15. Turbina de Eixo Horizontal.



Fonte: (PINTO, 2013)

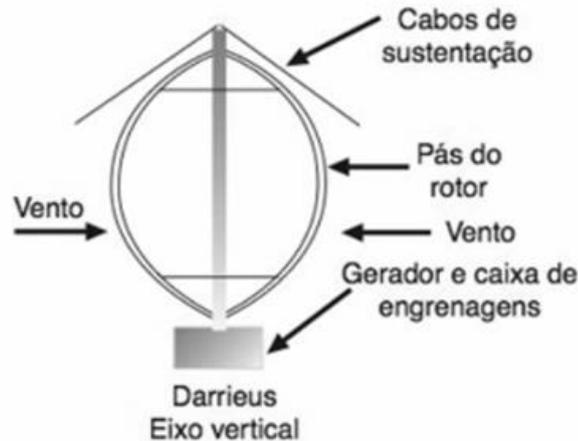
Porém as turbinas com eixo vertical não precisam de mecanismos em caso de variações da direção do vento, podendo ser de forças de arrasto ou sustentação, (DUTRA, 2008). Nas Figuras 16 e 17 são demonstrados uma turbina de eixo vertical.

Figura 16. Turbina de Eixo Vertical.



Fonte: (CASER; PAIVA, 2016)

Figura 17. Turbina de Eixo Vertical.



Fonte: (PINTO, 2013)

A turbina eólica vertical de Cap-Chat do Canadá possui um diferencial devido ao seu gerador ser na base não sendo necessário algum mecanismo para captar o vento, sendo demonstrada na Figura 18.

Figura 18. Turbina Vertical de Cap-Chat.



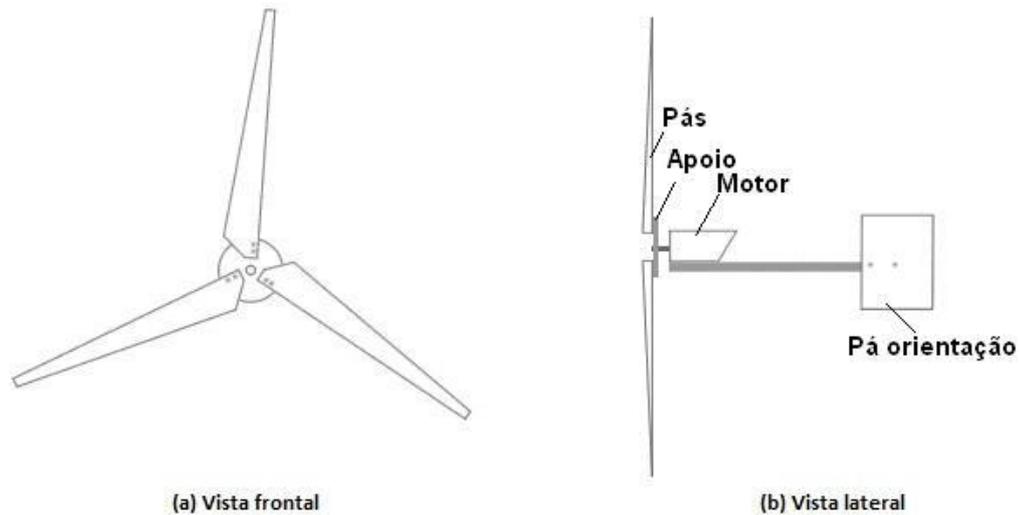
Fonte: (LOUREIRO, 2001)

A maioria das turbinas utilizam três pás, pois quanto mais pás a turbina tiver, menos velocidade ela vai obter, tendo menos velocidade de rotação, gerando menos energia, (FERREIRA, 2011).

Os micro-geradores eólicos utilizam uma energia renovável que não prejudica o meio ambiente, sendo uma boa opção para residências devido a diminuição da microgeração, (RIBEIRO, 2010) e (MOREIRA, 2008).

Um exemplo bastante utilizado é o de uma micro-turbina eólica contendo duas ou três pás de eixo horizontal utilizadas para capturar e transmitir a força mecânica dos ventos sendo demonstrada na Figura 19, (RIBEIRO, 2010) e (MAGALHÃES, 2009).

Figura 19. Exemplo de um micro-gerador eólico.

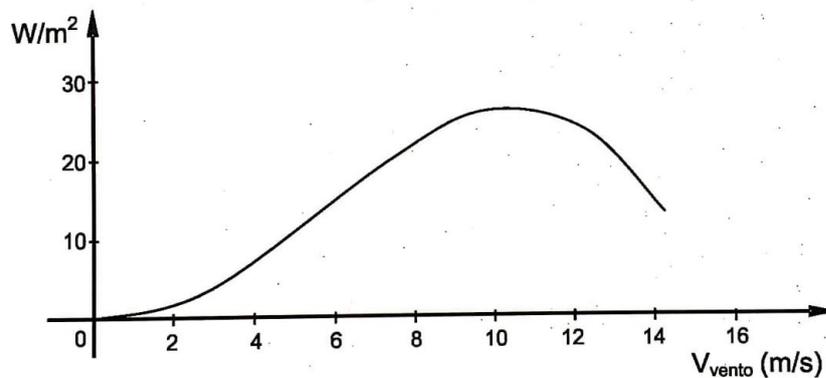


Fonte: (RIBEIRO, 2010)

### 3.2.4 COEFICIENTE DE POTÊNCIA DE UMA TURBINA EÓLICA

Segundo Farret (2014) a distribuição da potência pode mudar conforme a intensidade do vento e do coeficiente de potência, sendo demonstrado na Figura 20 uma curva dessa distribuição.

Figura 20. Distribuição da Potência.



Fonte: (FARRET, 2014)

A Equação 3 demonstra o coeficiente de potência de uma turbina eólica, (CUSTÓDIO, 2013).

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

onde:

$C_p$  – Coeficiente de potência de uma turbina eólica [adimensional];

$P_t$  – Potência produzida pela turbina eólica [W];

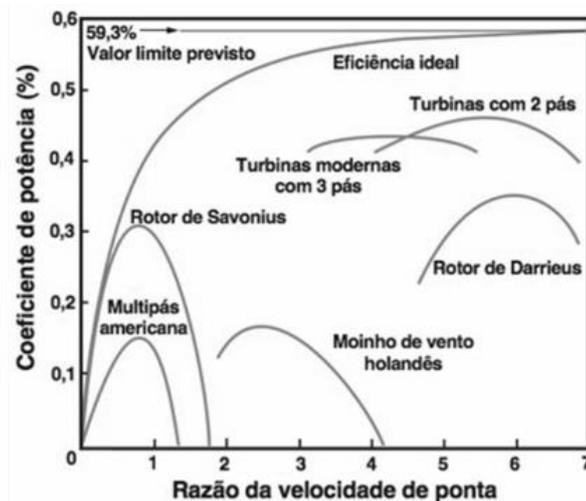
$\rho$  – Massa específica do ar [kg/m<sup>3</sup>];

$A$  – Área varrida pelo rotor da turbina [m<sup>2</sup>];

$v$  – Velocidade do vento [m/s].

A Figura 21 demonstra o coeficiente de potência para diversos tipos de turbinas eólicas.

Figura 21. Coeficiente de Potência para diferentes tipos de Turbinas Eólicas.



Fonte: (PINTO, 2013)

### 3.2.5 POTÊNCIA DE UMA TURBINA EÓLICA

Segundo Farret (2014) a potência de uma turbina eólica varia de acordo com o cubo da velocidade do vento. A Equação 4 é utilizada para calcular a potência de uma turbina sendo demonstrada como, (FARRET, 2014):

$$P_t = \frac{1}{2} * C_p * \rho * S * v^3 \quad (4)$$

onde:

$P_t$  – Potência da turbina eólica [kgm/s];

$C_p$  – Coeficiente de potência [adimensional];

$\rho$  – Densidade específica do ar [kg/m<sup>3</sup>] (= 1,2929 kg/m<sup>3</sup> a 0°C e ao nível do mar);

$S$  – A superfície varrida pelas hélices ou pás [m<sup>2</sup>];

$v$  – Velocidade do vento [m/s].

1 kgm = 9,81 Ws

A potência de saída depende de duas velocidades, sendo ela a do vento e a da turbina, (FERREIRA, 2011).

Devido a turbina estar diretamente ligada à rede a potência gerada não pode ser controlada tornando a turbina com uma velocidade constante podendo ser mudada só pela a velocidade do vento, (FARRET, 2014).

### 3.2.6 CONTROLE DE POTÊNCIA E POTÊNCIA NOMINAL

A potência nominal de uma turbina pode ser classificada como:

- Pequeno Porte (até 50kW de potência);
- Médio Porte (potência de 50 a 1000kW);
- Grande Porte (acima de 1MW de potência).

Uma turbina eólica é definida pequena quando a sua área de captação de energia incidente do vento é menor que 200m<sup>2</sup>, (IEC, 2006).

É aconselhável em áreas que a velocidade do vento é superior ao intervalo de 4 a 5 m/s ao ano, (MELO, 2016).

Os aerogeradores utilizam controles para limitar a extração da potência, sendo utilizado três tipos de controles aerodinâmicos, sendo eles, (FARIA, 2010) e (FERREIRA, 2011):

- Controle Stall;

- Controle de Passo;
- Controle Ativo de Passo.

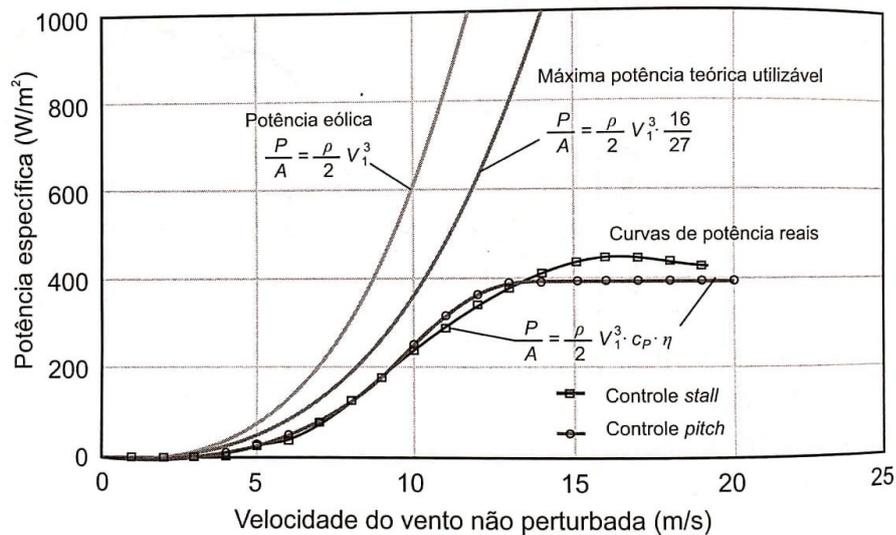
A Figura 22 demonstra as características dos tipos de controle. A Figura 23 demonstra um exemplo real de uma curva de potência contendo sua curva de potência eólica e sua máxima potência mecânica utilizável. E a Figura 24 demonstra as quatro zonas de uma curva de potência com velocidade variável, (FADIGAS, 2011) e (PINTO, 2013).

Figura 22. Características dos Tipos de Controle.



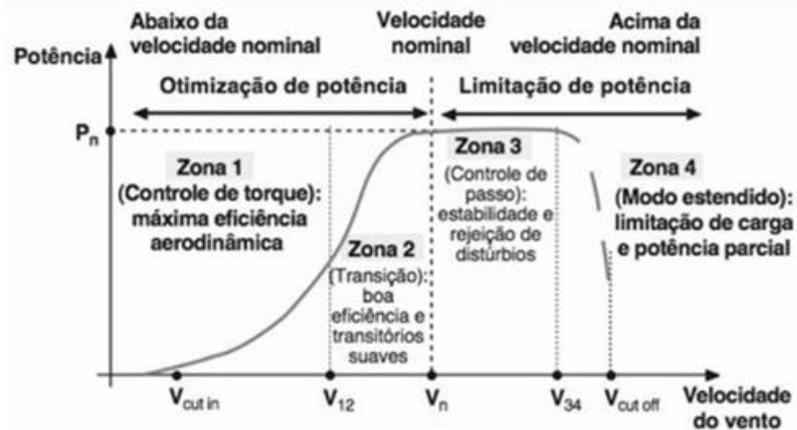
Fonte: (PINTO, 2013)

Figura 23. Curva de Potência real.



Fonte: (FADIGAS, 2011)

Figura 24. Quatro Zonas da Curva de Potência.

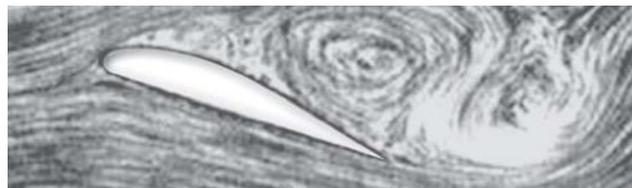


Fonte: (PINTO, 2013)

### 3.2.6.1 CONTROLE STALL

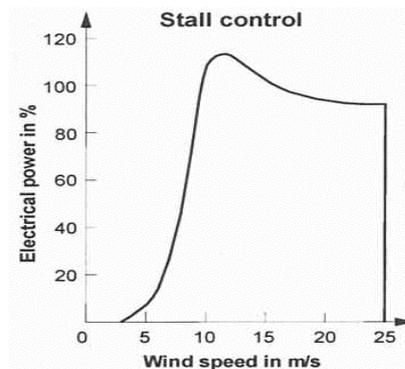
É um sistema passivo que possuem pás fixas de modo que quando a velocidade do vento sobe a um valor elevado do normal as lâminas travam, sendo demonstrada na Figura 25 o fluxo de ar ao redor da pá e na Figura 26 a curva de potência específica deste controle, (CUSTÓDIO, 2013) e (FERREIRA, 2011).

Figura 25. Demonstração do Controle Stall.



Fonte: (DEWI, 1998)

Figura 26. Curva de Controle Stall

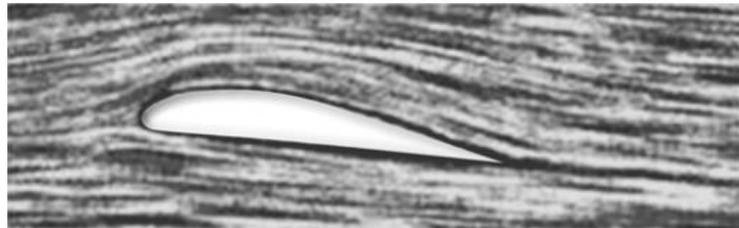


Fonte: (KALTSCHMITT; STREICHER; WIESE, 2007)

### 3.2.6.2 CONTROLE DE PASSO

É um sistema de controle ativo onde as pás giram em torno do eixo longitudinal quando ocorre o aumento da velocidade do vento sendo indicada pelo sinal do gerador de potência limitando a produção da turbina, sendo que esse tipo de controle pode fazer as pás girarem em torno de  $90^\circ$ , sendo um sistema que traz mais flexibilidade para a turbina. A Figura 27 demonstra o controle de passo em um ângulo adequado, (CUSTÓDIO, 2013) e (FERREIRA, 2011) e (DUTRA, 2008).

Figura 27. Controle de Passo em Ângulo adequado.

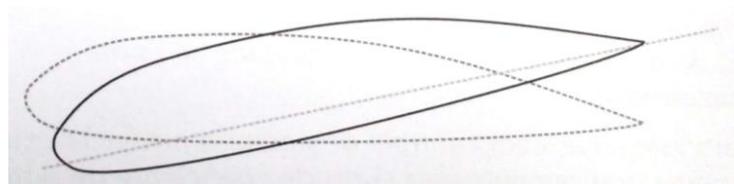


Fonte: (DEWI, 1998)

### 3.2.6.3 CONTROLE ATIVO DE PASSO

É um sistema híbrido onde utiliza os dois controles citados acima, obtendo uma menor sustentação das pás, mostrando na Figura 28 o movimento da pá nesse controle, (CUSTÓDIO, 2013).

Figura 28. Movimentação da pá no Controle Ativo de Passo.



Fonte: (CUSTÓDIO, 2013)

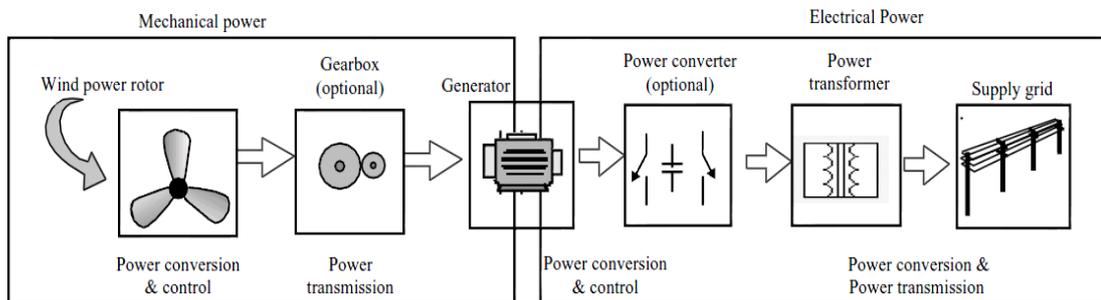
## 3.3 COMPONENTES

Os principais componentes para se obter o devido aproveitamento de energia eólica são, (FERREIRA, 2011).

- Turbinas eólica;
- Caixa de Velocidade;
- Gerador;
- Transformador;
- Eletrônica de Potência.

Na Figura 29 são demonstrados os componentes citados anteriormente.

Figura 29. Principais Componentes para produção de Energia Eólica.



Fonte: (HAU, 2006)

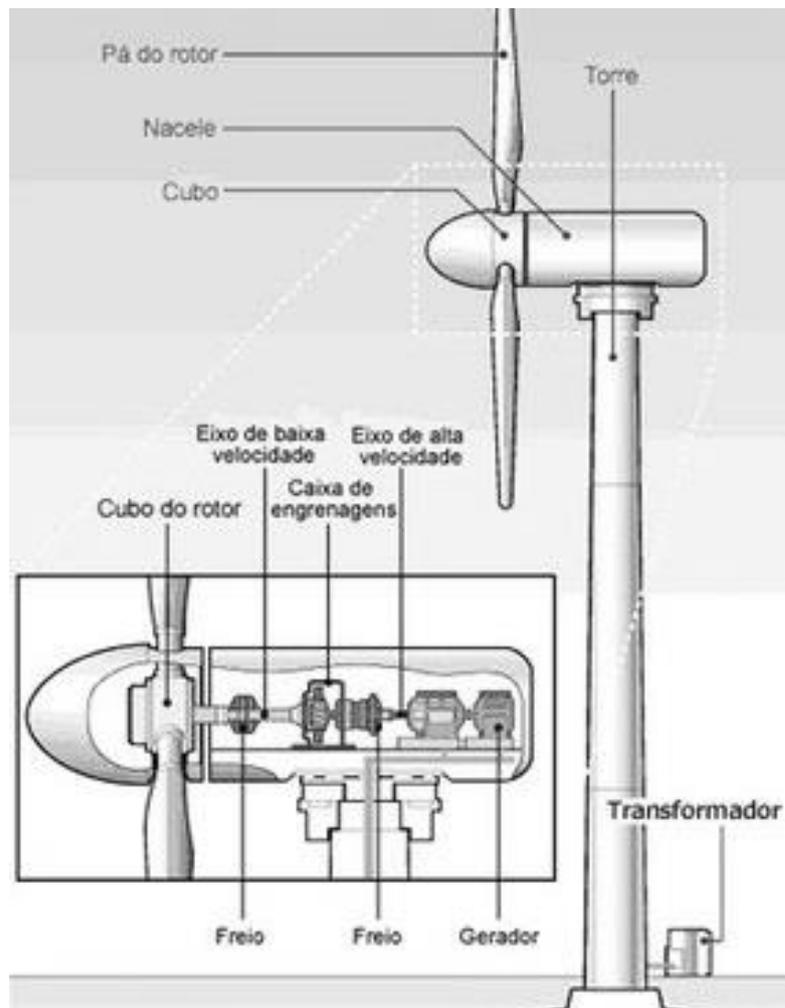
Os aerogeradores podem ser diferenciados de acordo com o seu tamanho, com o formato da nacelle e contendo caixa de engrenagens ou não, (GAVINO, 2011). Os componentes para um aerogerador são:

- Torre;
- Pás;
- Cubo das pás;
- Eixo;
- Rotor;
- Nacelle;
- Gerador;
- Freio;
- Biruta;
- Medidores de Vento;
- Mecanismo de Controle;
- Caixa de Multiplicação;

- Inversor;
- Baterias;
- Medidores Bidirecional.

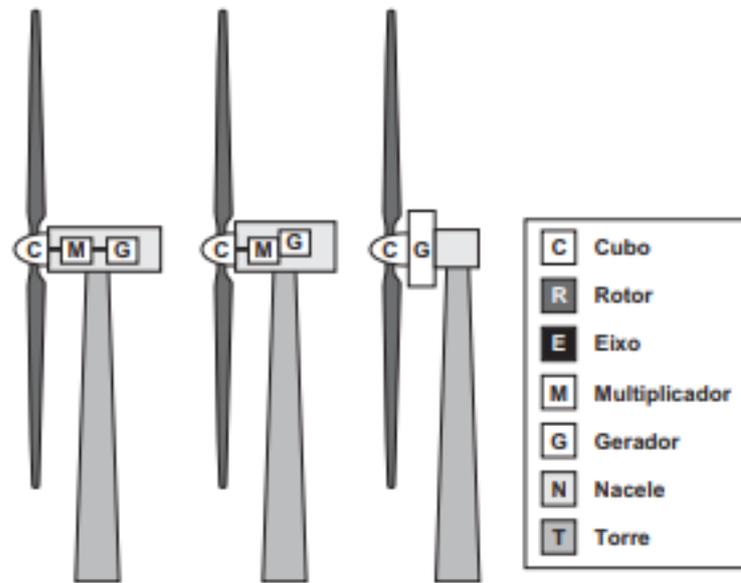
São demonstrados nas Figuras 30, 31 e 32 os componentes de uma turbina eólica de eixo horizontal.

Figura 30. Componentes de uma Turbina de Eixo Horizontal.



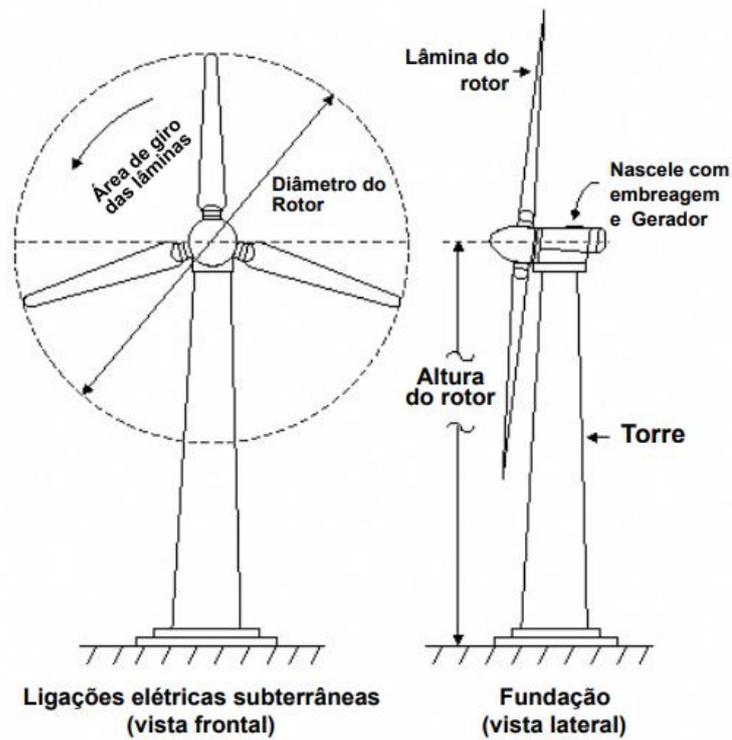
Fonte: (CORREIA, 2014)

Figura 31. Componentes Necessários de uma Turbina Eólica de Eixo Horizontal.



Fonte: (DUTRA, 2008)

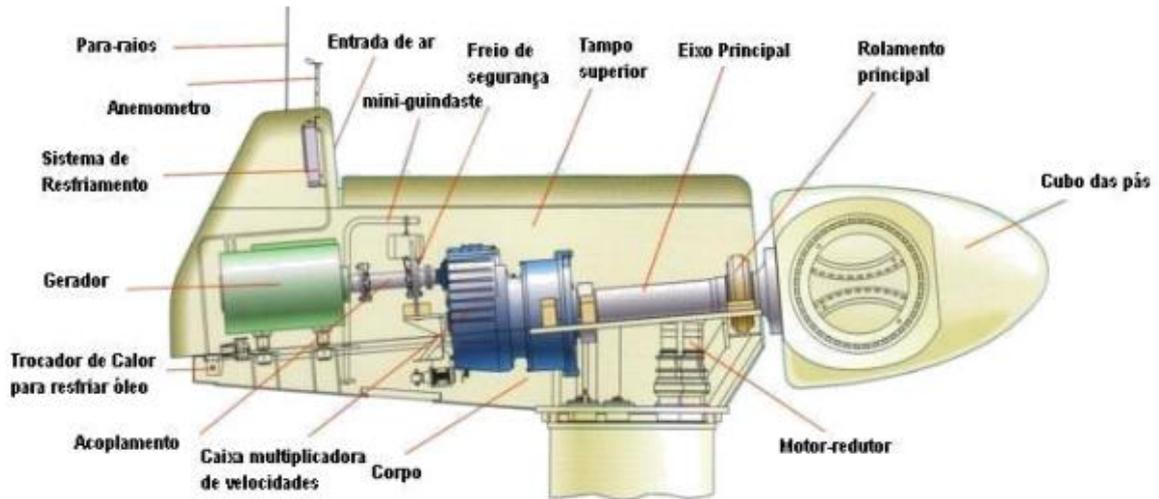
Figura 32. Componentes de uma Turbina Eólica.



Fonte: (CARNEIRO, 2013)

Outro exemplo mais detalhado é demonstrado na Figura 33 contendo os componentes que constituem uma turbina eólica de eixo horizontal.

Figura 33. Componentes de uma Turbina Eólica de Eixo Horizontal.



Fonte: (WENZEL, 2007)

### 3.3.1 TORRE

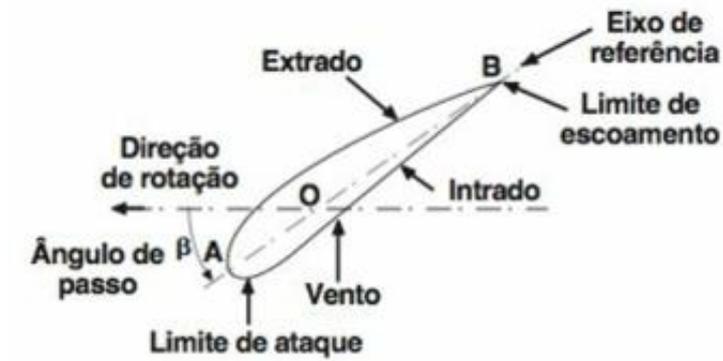
A torre é utilizada para elevação dos componentes e suporte, posicionando o rotor em uma altura ideal com ventos mais regulares na camada limite atmosférica para o seu devido funcionamento. Quando as torres são muito grandes possuem uma escada no interior dela com o intuito de realizar o acesso para realização da manutenção dos componentes, sendo torres de metal tubular ou de concreto. As torres para aerogeradores de pequeno porte são de forma estaiadas, (CORREIA, 2014) e (DUTRA, 2008) e (PEDRO, 2018) e (CRESESB, 2014).

### 3.3.2 PÁS

As pás possuem a função de converter a energia cinética em trabalho mecânico, sendo feitas em fibra de vidro com epóxi sendo fixada com flanges em estrutura de aço, (CUSTÓDIO, 2013) e (DUTRA, 2008).

A Figura 34 demonstra os elementos característicos de uma pá. Elas são formadas por duas regiões chamadas de extradorso e intradorso, demonstrado na Figura 35. Na Figura 36 é demonstrado a direção do vento sobre a seção de uma pá, (PINTO, 2013) e (RODRIGUES, 2004).

Figura 34. Elementos Característicos de uma Pá.



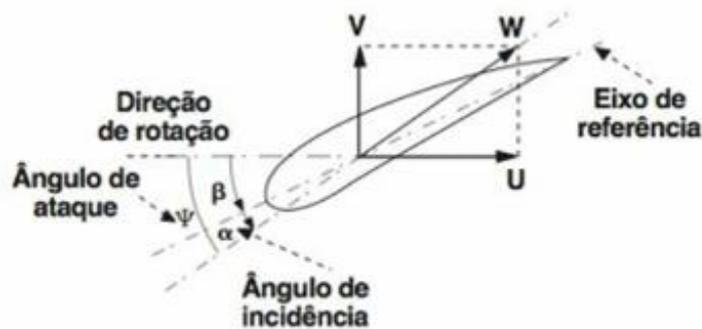
Fonte: (PINTO, 2013)

Figura 35. Regiões de uma Pá.



Fonte: (RODRIGUES, 2004)

Figura 36. Direção do Vento sobre a Seção de uma Pá.



Fonte: (PINTO, 2013)

### 3.3.3 CUBO DAS PÁS

Local onde as pás estão colocadas no aerogerador por meio de flanges, extraindo a energia cinética do vento, (FILGUEIRAS; BRANCO; MOURA, 2007) e (CUSTÓDIO, 2013).

### 3.3.4 EIXO

Faz o acoplamento do cubo ao gerador podendo ser de material em aço ou de liga metálica de alta resistência, (DUTRA, 2008) e (CUSTÓDIO, 2013).

### 3.3.5 ROTOR

É composto por pás acopladas ao eixo central, onde capta a energia cinética do vento convertendo em energia mecânica, (FARIAS, 2010) e (FERREIRA, 2011).

### 3.3.6 NACELE

Contém o sistema mecânico, sendo a carcaça sobre a torre onde acomoda os mecanismos de transmissão sendo o rotor e gerador, possuindo dois tipos de geradores sendo eles o convencional e o multipolos. O tamanho e o modelo variam de acordo com cada modelo, (PASSOS, 2014) e (DUTRA, 2008) e (PEDRO, 2018) e (CUSTÓDIO, 2013).

### 3.3.7 GERADOR

Transforma a força cinética em energia elétrica, (ELETROVENTO, 2019).

Existem quatro tipos de geradores, sendo eles:

- Gerador de corrente contínua (CC);
- Gerador de imã permanente;
- Gerador síncrono;
- Gerador assíncrono.

A maioria dos microgeradores eólicos utilizam geradores de imã permanente devido ao seu desenho invertido, (FARIA, 2010).

O gerador síncrono com excitação por ímãs permanente (PMSG) possui um dimensionamento pequeno, contendo uma estrutura menor e mais leve, reduzindo as perdas no cobre devido a utilização de ímãs permanentes, não aquecendo o rotor, não sendo necessário uma manutenção frequente, utilizando uma corrente alternada de frequência variável decorrente

a sua velocidade variável, fazendo com que a corrente alternada CA seja convertida através da sua transformação em corrente contínua CC, (FARRET, 2014).

Sua operação é dada pela Equação 5, sendo:

$$e = B * l * v \quad (5)$$

onde:

$e$  – A tensão induzida no fio;

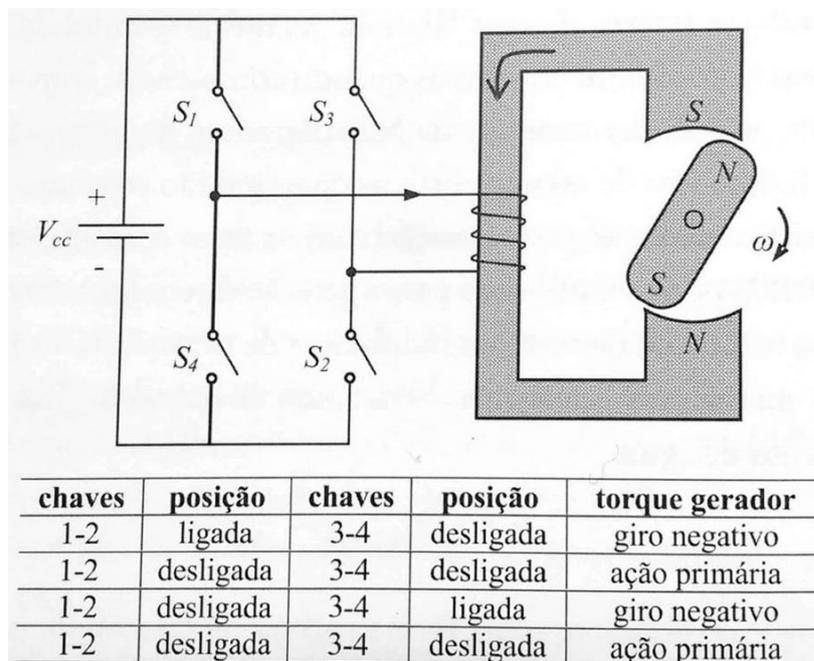
$B$  – Representa a densidade de fluxo magnético;

$l$  – O comprimento do condutor no campo magnético;

$v$  – A velocidade do fio que passa pelo campo magnético.

Na Figura 37 é demonstrado o acionamento do PMSG.

Figura 37. Acionamento do Gerador PMSG.



Fonte: (FARRET, 2014)

### 3.3.8 FREIO

É utilizado em casos de paradas de emergência, (CUSTÓDIO, 2013).

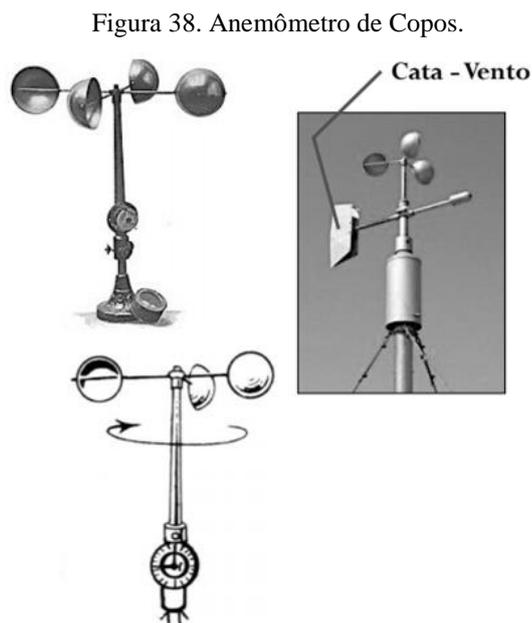
### 3.3.9 BIRUTA

É um sensor de direção utilizado para indicar a direção do vento, (A GERADORA, 2017).

### 3.3.10 MEDIDORES DE VENTO

É utilizado para grandes turbinas eólicas sendo feitas no local da instalação, não sendo utilizado em microgeradores que é o proposto por esse trabalho.

As medidas de vento são realizadas através de um anemômetro, onde a Figura 38 representa um anemômetro de copos. No Brasil o órgão responsável pelo recebimento dos dados dos registros é a EPE, (FERREIRA, 2011) e (PINTO, 2013).



Fonte: (CARNEIRO, 2013)

Para obter um bom resultado de análise é necessário realizar medições de vento durante três anos resultando na frequência da ocorrência da velocidade do vento, (FERREIRA, 2011).

### 3.3.11 MECANISMO DE CONTROLE

Regula a potência nominal a velocidade do vento durante um período determinado, (A GERADORA, 2017).

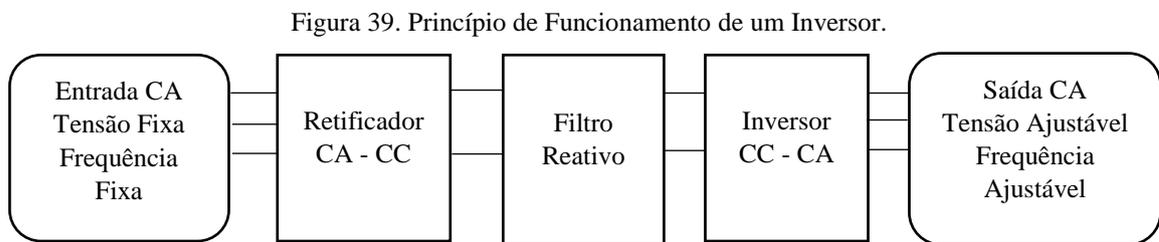
### 3.3.12 CAIXA DE MULTIPLICAÇÃO

Transmite a energia mecânica do eixo do rotor ao eixo do gerador, (MERGULHÃO, 2019).

### 3.3.13 INVERSOR

O Inversor converte a energia contínua em corrente alternada permitindo estabelecer a ponte entre o microgerador eólico e a rede, (IDEAL, 2015) e (FARIAS, 2010).

A Figura 39 demonstra o princípio de funcionamento de um inversor.



Fonte: Adaptado de (SILVA, 2011)

### 3.3.14 BATERIAS

Realizam o armazenamento da energia, sendo bastante utilizada as baterias de chumbo-ácido devido ao seu menor custo, podendo também ser utilizada as de níquel-ferro ou níquel-cádmio, porém com um custo maior. As baterias citadas possuem uma probabilidade menor com danos, não sendo descarregadas em casos de não utilização. Porém para sistemas isolados é aconselhável utilizar baterias estacionárias de ciclo profundo por possuírem uma vida útil maior, (FARRET, 2014) e (CRESESB, 2012).

Na Tabela 9 é demonstrado o sistema de armazenamento de energia em bateria (AEB) de 12 V e 50 Ah no mundo, (FARRET, 2014).

Tabela 9. Sistema AEB no mundo.

Ord.	Companhia	Capacidade AEB	Função	Ano
1	Elektrizitatswerke Hammermuhle	400 kW / 750 kWh	Poda de pico de carga	1980

	Selters, Alemanha			
2	Hagen Batterie – AG Soest, Alemanha	500 kW / 7 MWh	Nivelamento de carga	1986
3	BEWAG Berlim, Alemanha	17 MW / 4 MWh	Controle de frequência UPS	1986
4	Kansal Electric Power Company Tatsumi, Japão	1 MW / 4 MWh	Instalações para multifunções / demonstrações	1986
5	Delco – Remy, General Motors Muncie, IN, EUA	300 kW / 600 kWh	Poda de pico de carga	1987
6	Southern California Edison Chino, CA, EUA	10 MW / 40 MWh	Instalações para multifunções / demonstrações	1988
7	Vall Reefs Goldmine, África do Sul	4 MW / 7,4 MWh	Poda de pico de carga, UPS, correção de cosØ	1988
8	Technische Werke Stuttgart Stuttgary, Alemanha	33 kW / 192 kWh	Poda de pico de carga, correção de cosØ	1989
9	Johnson Controls / Humbolt Foundry, Milwaukee, WI, EUA	300 MW / 580 KWh	Poda de pico de carga	1989
10	Pacific Gas and Electric San Ramon, CA, EUA	250 MW / 167 MWh	Poda de pico de carga	1993
11	Hawaii Electric Light Company Hauptinsel, Hawaii	10 MW / 15 MWh	Poda de pico de carga, UPS, correção de cosØ	1994

12	Pacific Gas and Electric Div. Locations, CA, EUA	500 MW / 1 MWh ( ≤ 4 AEB's	Poda de pico de carga com instalação distribuída para posterior investimento	1994
13	Puerto Rico Power Electric Authority San Juan, Porto Rico	20 MW / 14 MWh	Controle de frequência UPS	1995
14	Chugach Electric Association Anchorage, Alaska, EUA	20 MW / 10 MWh	Controle de frequência UPS	1996
15	Golden Valley Electric Association Fairbanks, Alaska, EUA	70 MW / 17 MWh	Controle de frequência UPS	1996

Fonte: (FARRET, 2014)

É necessário fazer a manutenção corretamente da bateria prevenindo contra possíveis danos que possam gerar custos maiores em relação a perda da capacidade ou uma possível substituição por uma bateria nova, levando em consideração possíveis cuidados como não deixando a bateria se descarregar totalmente, (FARRET, 2014).

A capacidade da bateria é referente aos seguintes itens, (FARRET, 2014):

- Capacidade do gerador;
- Tensão;
- Frequência dos períodos em baixo nível.

A tensão para geradores acima de 500W é de 32 V a 110 V, (FARRET, 2014).

### 3.3.15 MEDIDOR BIDIRECIONAL

Regista a energia consumida e a injetada na rede, (IDEAL, 2015).

Segundo a Celesc (2018) suas características funcionais são definidas como:

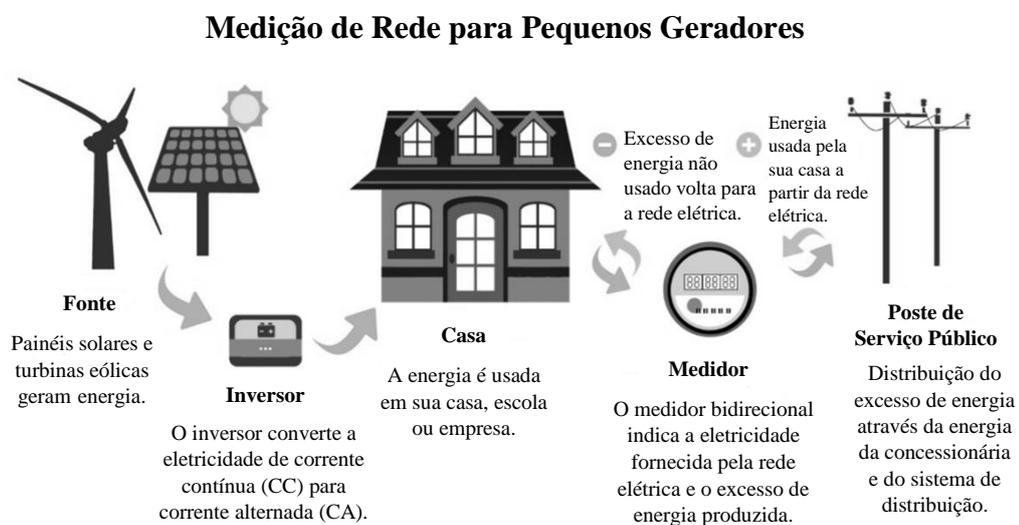
- a) O medidor deve medir e registrar a energia ativa em ambos os sentidos de fluxo, totalizando-as em diferentes registradores, que devem estar disponíveis na saída serial unidirecional, conforme Especificação E-321.0017.
- b) O método de cálculo da energia ativa deve ser a soma algébrica da energia medida por fase, utilizando o método de cálculo “catraca”, em que o registrador de energia ativa direta só é incrementado se a soma algébrica das energias for maior do que zero, (CELESC, 2018, p. 2 e 4).

Segundo o Inmetro (2011) o medidor bidirecional é definido como:

2.1.6 Medidor bidirecional: medidor eletrônico de energia elétrica capaz de medir energia (ativa e/ou reativa) em ambos os sentidos de fluxo, (INMETRO, 2011, p. 5).

A Figura 40 demonstra um sistema de medição com pequenos geradores de energia.

Figura 40. Sistema de medição com pequenos geradores de energia.



Fonte: Adaptado de (MPSC, 2019)

A distribuidora é responsável por realizar a instalação do medidor no local sem cobrança de nenhum custo referente ao proprietário da microgeração distribuída, (IDEAL, 2015).

### 3.4 GERAÇÃO

O primeiro aerogerador a ser conectado na rede elétrica foi na Dinamarca em 1978 por consumidores particulares. Em 1990 os aerogeradores começaram a ter aplicação na Alemanha e depois para outros países, (FADIGAS, 2011).

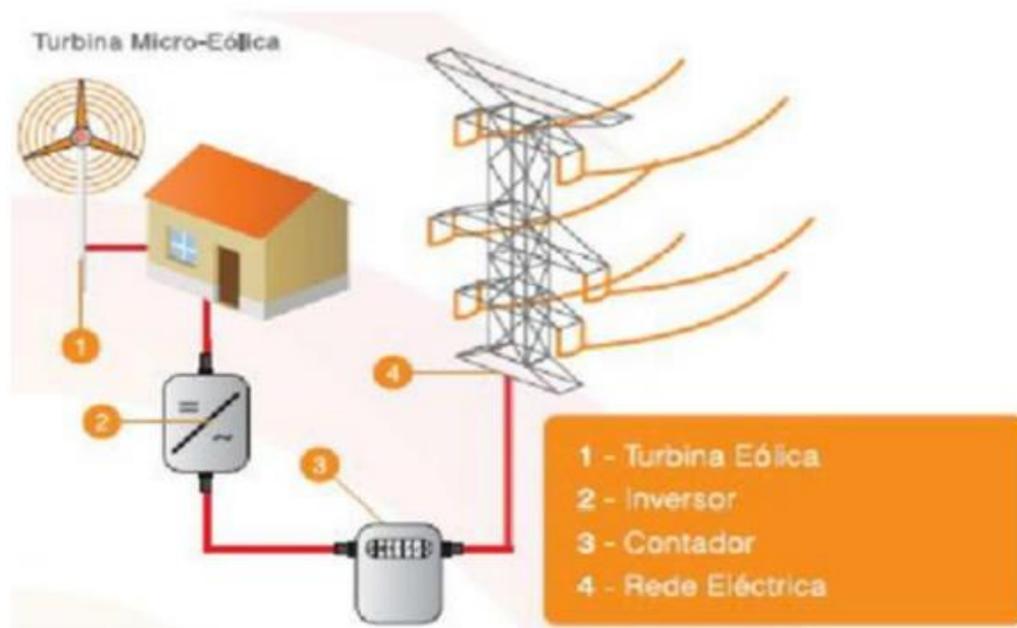
As microturbinas eólicas podem atuar de forma conectada à rede de distribuição (*on-gridd*) ou de forma isolada da rede (*off-gridd*).

Quando opera de forma isolada da rede (*off-gridd*) é possível viabilizar a energia em lugares de difíceis acessos sendo necessário ter um sistema de armazenamento de energia.

Quando opera de maneira conectada à rede (*on-gridd*) ele irá trabalhar de maneira paralela com a concessionária, onde o consumidor terá o benefício dos créditos quando a demanda de energia não for maior que a produzida, podendo consumir em até cinco anos podendo vender para a concessionária, (ASSIS, 2015).

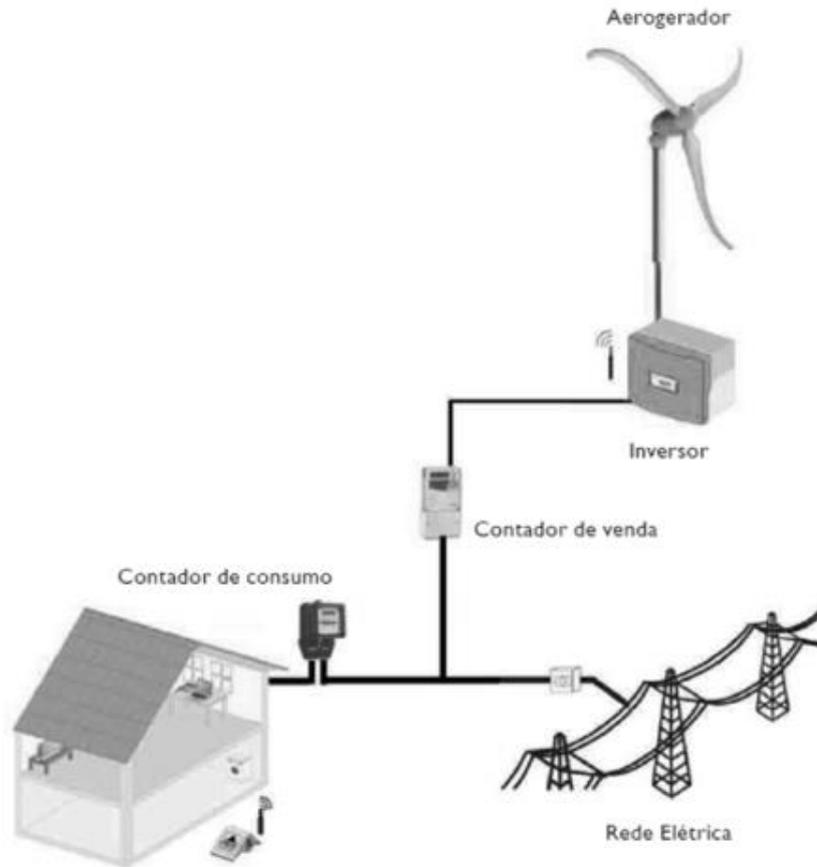
As Figuras 41 e 42 demonstram um esquema de um sistema de microgeração eólica conectado à rede elétrica.

Figura 41. Demonstração de um Sistema Micro-eólico conectado à rede.



Fonte: (PEREIRA, 2010)

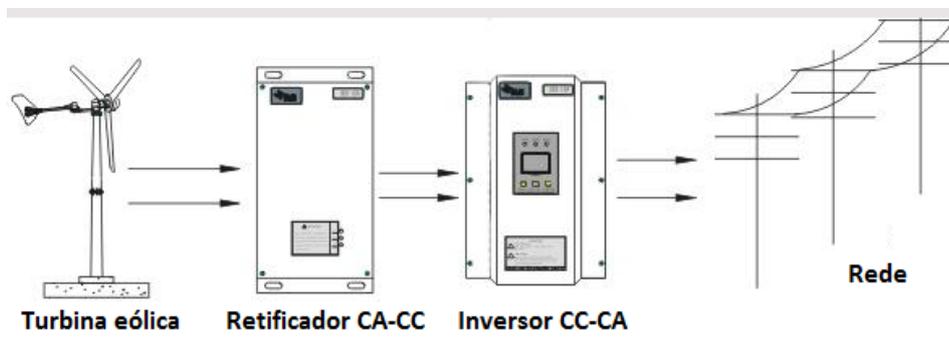
Figura 42. Esquema de um Sistema de Microgeração ligada à rede.



Fonte: (PEREIRA, 2010)

A Figura 43 demonstra outro sistema conectado à rede (*on-grid*).

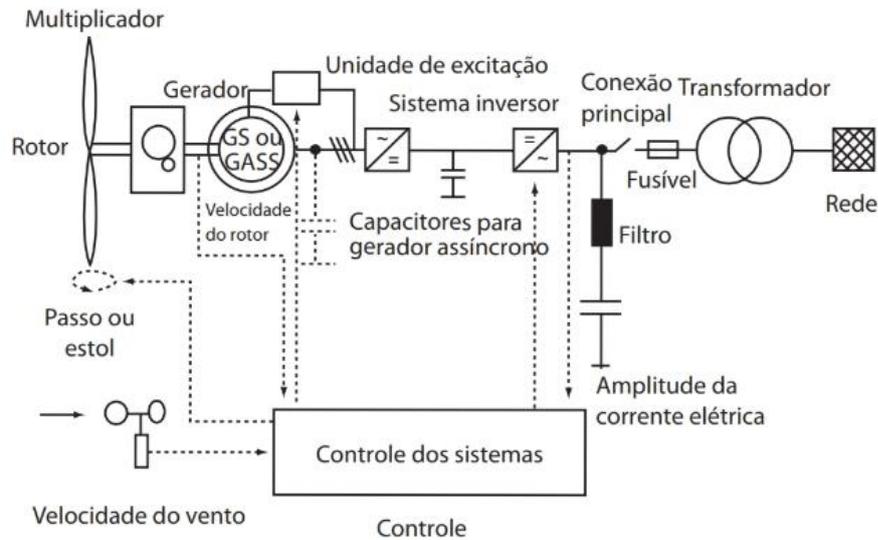
Figura 43. Sistema Conectado à rede elétrica.



Fonte: (FÁCIL, 2019)

A Figura 44 demonstra a configuração de conexão de um aerogerador na rede elétrica.

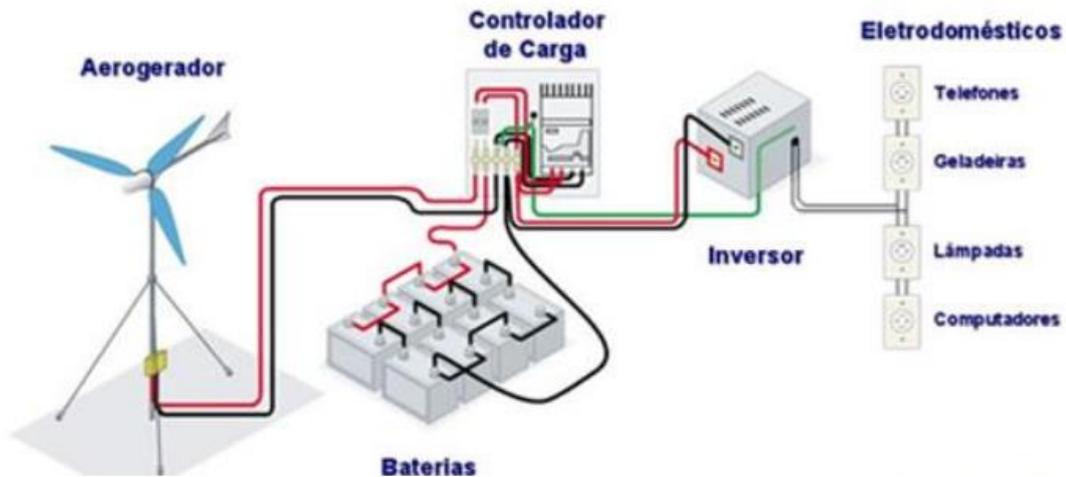
Figura 44. Conexão do Aerogerador na Rede Elétrica



Fonte: (FADIGAS, 2011)

A Figura 45 demonstra um sistema isolado (*off-grid*) de microgeração eólica.

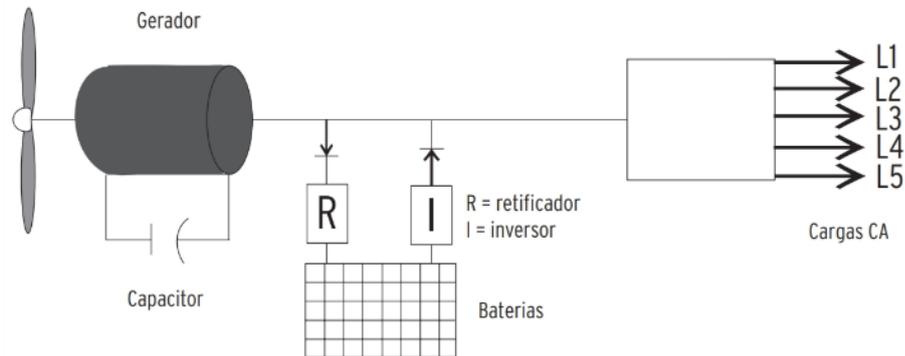
Figura 45. Sistema Isolado de Microgeração Eólica.



Fonte: (CRESESB, 2005)

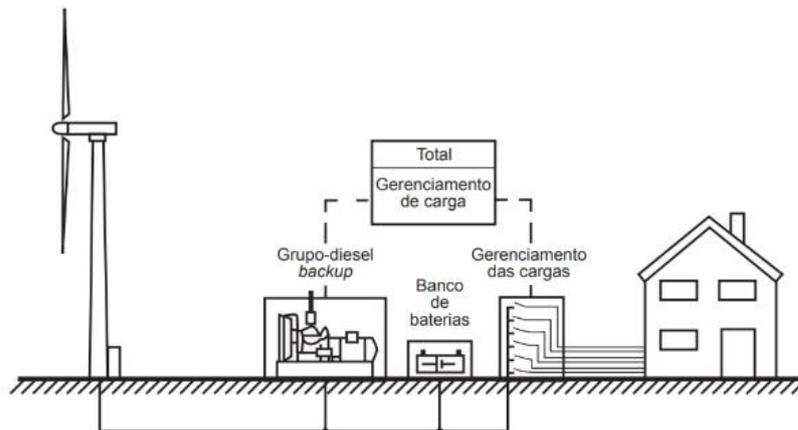
Existem várias outras formas que o aerogerador pode funcionar de maneira autônoma para armazenar energia. Uma delas pode ser em forma de armazenamento em banco de baterias e outra como *backup* com banco de baterias e grupo-diesel sendo demonstrado nas Figuras 46 e 47, porém, não serão aplicadas neste trabalho, (FADIGAS, 2011).

Figura 46. Sistema Isolado com Armazenamento em Banco de Baterias.



Fonte: (FADIGAS, 2011)

Figura 47. Sistema Isolado com Armazenamento em Banco de Baterias e Grupo Gerador Diesel.



Fonte: (FADIGAS, 2011)

### 3.4.1 TIPOS DE CONEXÃO

O tipo de conexão é referente ao nível de tensão e a potência injetada, podendo ser classificada de acordo com a padronização demonstrada na Tabela 10, (CUSTÓDIO, 2013).

Tabela 10. Padronização de Tensão.

Baixa tensão	BT: menor que 1kV
Média tensão	MT: entre 1 kV e 34,5 kV
Alta tensão	AT: maiores que 34,5 kV a 230 kV
Extra-alta-tensão	EAT: maiores que 230 kV a 750 kV
Ultra-alta-tensão	UAT: acima de 750 kV

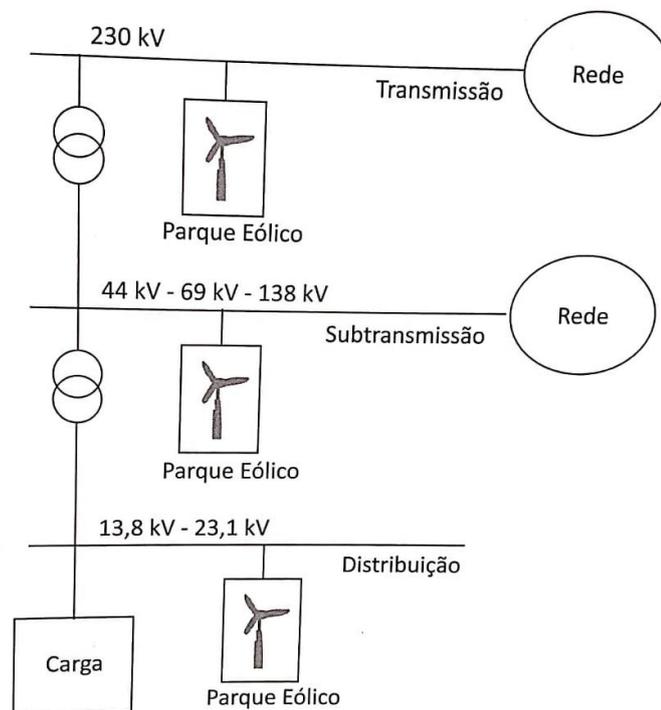
Fonte: (CUSTÓDIO, 2013)

O sistema pode ser dividido na rede em, (CUSTÓDIO, 2013):

- Transmissão a partir de 230 kV;
- Subtransmissão com tensões entre 34,5 kV e 138 kV;
- Distribuição com tensões menores a 34,5 kV;

A Figura 48 demonstra um exemplo de diagrama unifilar no sistema elétrico.

Figura 48. Exemplo de um Diagrama Unifilar no Sistema Elétrico.



Fonte: (CUSTÓDIO, 2013)

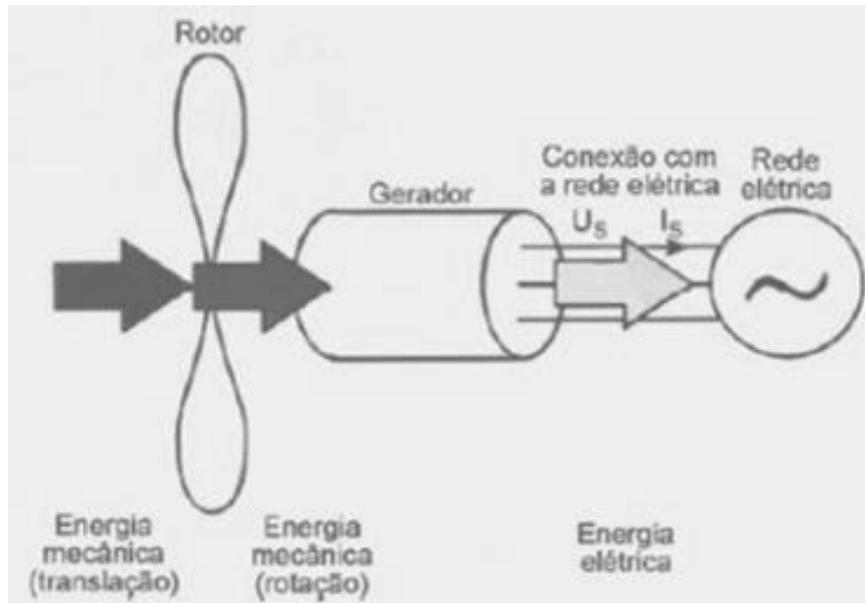
### 3.5 PRINCÍPIO DE INSTALAÇÃO E FUNCIONAMENTO EÓLICO

O projeto é realizado por empresa especializada e por profissionais habilitados, onde primeiramente é realizada a verificação do consumo de energia no local para calcular a capacidade necessária do sistema eólico. Em seguida é realizada a verificação na prefeitura da cidade em casos de licença para instalação, levando em consideração que para se ter uma boa geração de energia o microgerador precisa ser instalado a uma altura mínima de 10 metros a mais que o elemento mais alto do terreno em um raio de 15 metros, (IDEAL, 2015).

A Figura 49 demonstra um exemplo de instalação de um aerogerador.

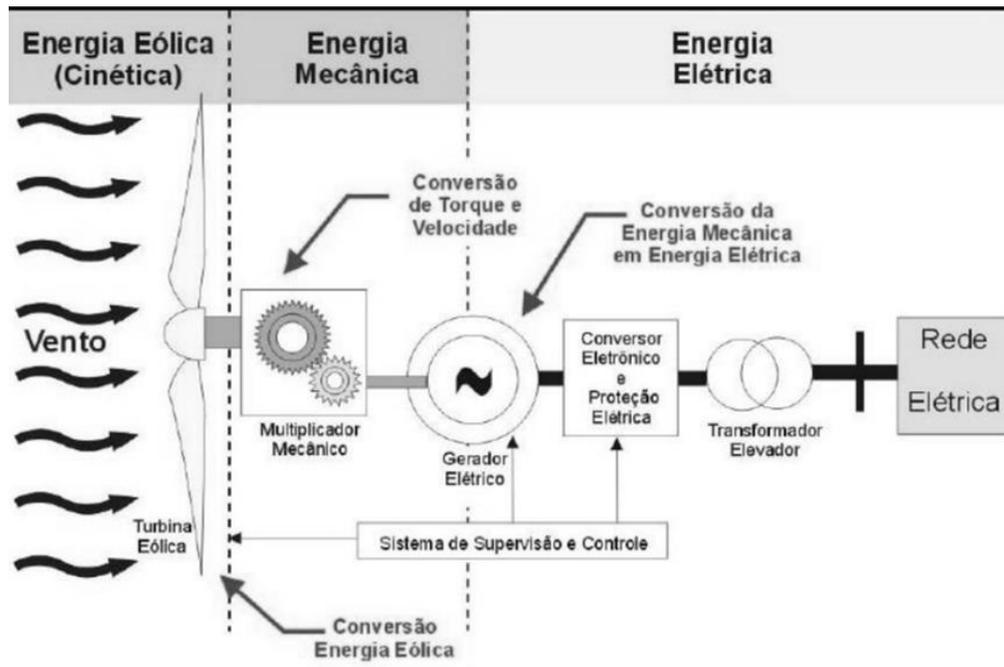


Figura 50. Princípio de Funcionamento de um Aero gerador.



Fonte: (CABRAL, 2015)

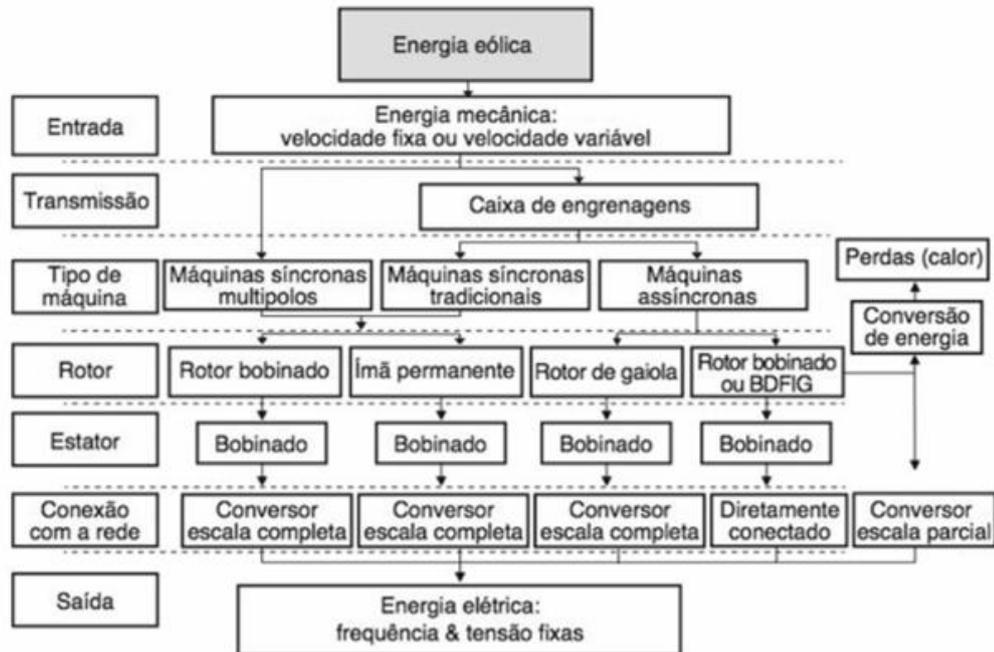
Figura 51. Funcionamento de um Aero gerador.



Fonte: (NEIVA, 2019)

A Figura 52 demonstra um mapa com diversos caminhos para geração de energia eólica.

Figura 52. Mapa do Trajeto da Geração de Energia Eólica.



Fonte: (PINTO, 2013)

O medidor bidirecional irá medir o fluxo detectando a corrente que está passando por ele armazenando o valor do consumo total em relação ao fluxo líquido da corrente, independentemente de estar sendo exportada ou importada, levando em consideração de que se o consumidor utilizar mais energia do que a que foi gerada por ele, o mesmo deverá pagar pelo quilowatt-hora líquido (kWh), ou se o consumidor utilizar menos energia do que a que foi gerada, o mesmo irá receber crédito na sua próxima fatura, (FIRSTENERGY, 2019) e (ECOSOCH, 2017).

A Figura 53 demonstra os kWh de um medidor, onde o 4 é referente a energia entregue ao consumidor e o 40 referente a energia recebida pelo consumidor.

Figura 53. Exemplo de leitura de um medidor.



Fonte: (FIRSTENERGY, 2019)

### 3.6 FATORES QUE PREJUDICAM O FUNCIONAMENTO DO AEROGERADOR

Alguns fatores podem prejudicar o funcionamento correto de um aerogerador sendo eles, (CABRAL, 2015):

- Defeitos nas engrenagens;
- Defeitos nos rolamentos;
- Lubrificação incorreta;
- Problemas nos mancais e ventilação dos geradores;
- Falhas nos geradores.

### 3.7 VANTAGENS

- O custo dos sistemas eólicas vêm diminuindo anualmente;
- Durabilidade em torno de 20 anos;
- Recebe compensação em kwh na conta de luz quando ocorre a injeção de energia na rede elétrica;
- Não gera resíduos;
- Não agride o meio ambiente;
- É uma energia renovável;
- É uma fonte de energia inesgotável;
- Não precisa de manutenção frequentemente;
- Ajuda a reduzir o pico de carga;
- Aumenta a confiabilidade da qualidade da energia elétrica;
- Minimiza as perdas de carga do sistema elétrico;
- O consumidor possui um melhor acompanhamento do seu consumo;
- Diminui a emissão de gases poluentes;
- Reduz o impacto ambiental;
- Maior eficiência para a infraestrutura de energia elétrica;
- Torna o sistema mais seguro para os operadores e consumidores;
- Redução parcial do custo de energia elétrica do consumidor;
- Maior nível de eficiência do sistema elétrico;

### 3.8 DESVANTAGENS

- Custo inicial elevado;
- Ruídos;
- O vento é inconstante e imprevisível;
- O vento não pode ser estocado;
- Poluição Visual.

### 3.9 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA USO DE ENERGIA EÓLICA

Existem alguns softwares que podem ser utilizados para o uso de energia eólica, sendo eles, (PINTO, 2013):

- WAsP;
- WindSlim;
- WindPRO;
- MM5;

## 4 ESTUDO DE VIABILIDADE

### 4.1 LOCAL, VELOCIDADE DO VENTO/QUANTIDADE DE PRODUÇÃO

#### 4.1.1 LOCAL

O terreno deve ser analisado antes de implementar o microgerador eólico, podendo ser analisado em mapas ou visitas no local, pois são sistemas que estão próximos do solo, levando em consideração que quanto mais próximo do solo ele se encontra, menor é a velocidade do vento devido a sua fricção, (IDEAL, 2015).

Segundo Farret (2014) o melhor local é em orlas marítimas, nas cristas das serras, nos pampas gaúchos, e em morros contendo o melhor potencial devido a perpendicularidade da direção da crista, onde em locais de serra é importante fazer a análise topográfica devido a velocidade do vento aumentar na frente e diminuir atrás, (FARRET, 2014).

As principais características para um bom local são, (FARRET, 2014) e (CUSTÓDIO, 2013):

- Intensidade do vento;
- Topografia;
- Finalidade da energia gerada;
- Disponibilidade do terreno;
- Terrenos com pouca rugosidade;
- Terrenos com poucos obstáculos;
- Facilidade de Acesso.

Os terrenos são classificados como sendo, (FADIGAS, 2011):

- Lisos;
- Planos;
- Acidentados.

#### 4.1.1.1 TOPOGRAFIA

A topografia é importante para definição do local devido a existir variação do vento em diferentes regiões sendo necessário saber as características do solo no local para obter um bom local de acesso para implementação da turbina. Nas serras a velocidade aumenta na parte da frente e diminui no lado oposto, diferente de terrenos planos que são analisados através da sombra de árvores referentes ao vento, (FARRET, 2014).

#### 4.1.2 VELOCIDADE DO VENTO

Os períodos de calmaria ocorrem quando o vento atinge velocidade inferior que 3 m/s deixando as potências muito baixas, ocorrendo mais em locais com ventos moderadamente altos, (FARRET, 2014).

A velocidade do vento varia conforme o local, aumentando sua intensidade de acordo com a altura, sendo demonstrado na Tabela 11 uma adaptação da Escala de Beaufort criada pelo irlandês Francis Beaufort em 1805, assumida pelo Comitê Internacional de Meteorologia, (FARRET, 2014) e (PINTO, 2013).

Tabela 11. Escala de Beaufort.

<b>Grau</b>	<b>Classificação</b>	<b>Efeitos do vento na natureza</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>
0	Calmaria	Tudo parado. A fumaça sobe verticalmente.	0,00 – 0,30
1	Quase calmaria	A fumaça se dispersa. Cata-ventos parados. Não se sente vento no rosto.	0,30 – 1,40
2	Brisa	Sente-se o vento no rosto. Ouve-se o ruído das folhas agitadas pelo vento. Cata-vento move-se.	1,40 – 3,00

3	Vento fresco	As folhas e os pequenos ramos das árvores agitam-se constantemente. Bandeiras esticam-se.	3,00 – 5,50
4	Vento moderado	O vento levanta poeira e papel do chão. Pequenos galhos agitam-se.	5,50 – 8,00
5	Vento regular	Pequenas árvores com folhas começam a balançar.	8,00 – 11,00
6	Vento meio forte	Grandes galhos movem-se, fios de eletricidade assobiam. Começa a ficar difícil andar no vento.	11,00 – 14,00
7	Vento forte	Árvores inteiras agitam-se. Fica definitivamente difícil andar contra o vento.	14,00 – 17,00
8	Vento muito forte	Galhos de árvores são arrancados. É preciso um grande esforço para andar.	17,00 – 21,00
9	Ventania	Há destelhamento.	21,00 – 25,00
10	Vendaval	Árvores são derrubadas. Há danos em construções.	25,00 – 28,00
11	Tempestade	O vento assume características de um furacão, raramente acontece longe das costas.	28,00 – 33,00
12	Furacão	O ar fica cheio de espuma e gotas de água. O mar fica inteiramente esbranquiçado.	33,00 – 36,00

Fonte: (FARRET, 2014)

A velocidade de vento desejada para o bom funcionamento de uma turbina de pequeno porte é na faixa de 3 a 25 m/s (11 a 90 km/h), (ELETROVENTO, 2019).

A Tabela 12 demonstra os dados de vento referentes a cidade de Palmeira das Missões – RS contendo Latitude: 27° 53' 19" Sul, Longitude: 53° 18' 19" realizados através site do CRESESB, (CRESESB, 2019).

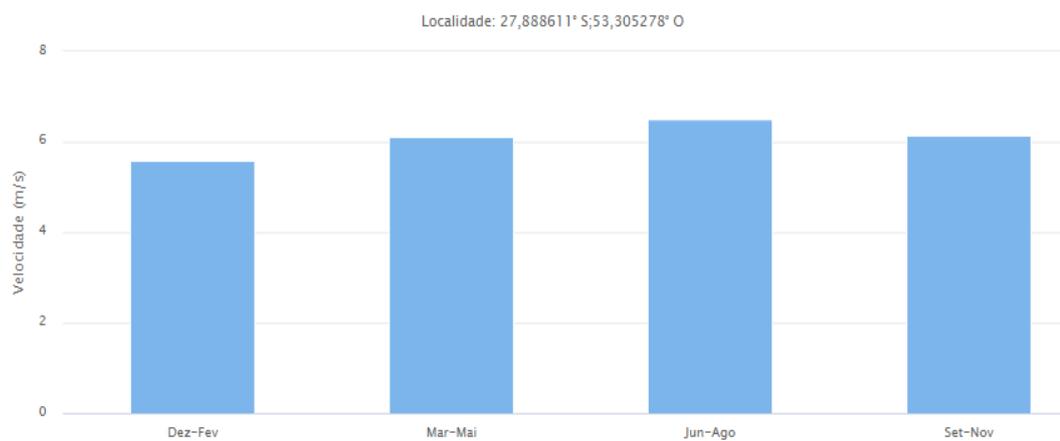
Tabela 12. Dados de Vento referentes a cidade de Palmeira das Missões

Atlas do Potencial Eólico Brasileiro		Dados de Vento a 50 m de Altura				
Grandeza	Unidade	Dez - Fev	Mar - Mai	Jun - Ago	Set - Nov	Anual
Velocidade						
média do Vento	m/s	5,59	6,12	6,5	6,15	6,09
Fator <i>c</i>		6,31	6,91	7,33	6,94	6,87
Fator <i>k</i>		2,27	2,25	2,41	2,41	2,33
Densidade						
de Potencia	W/m <sup>2</sup>	182	241	273	231	232

Fonte: (CRESESB, 2019)

Na Figura 54 é demonstrada a velocidade média sazonal de vento na cidade de Palmeira das Missões – RS.

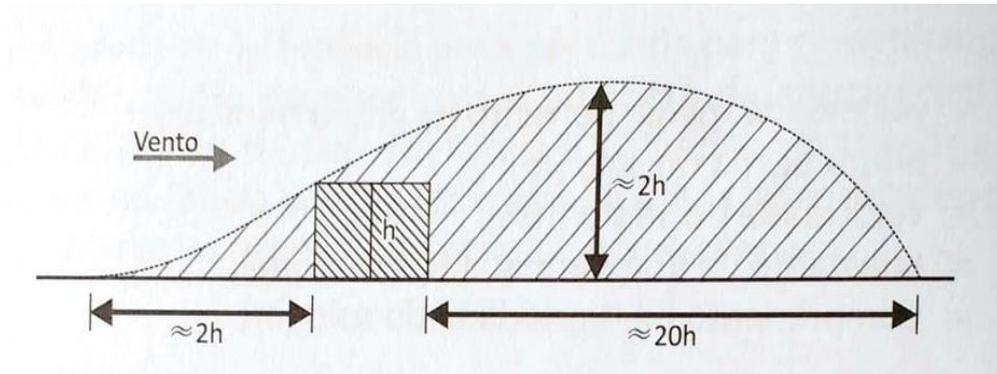
Figura 54. Velocidade média Sazonal de Vento a 50 m de altura [m/s]



Fonte: (CRESESB, 2019)

Os obstáculos existentes no terreno agem de forma de quebra-ventos diminuindo a velocidade do vento atrás do sentido do vento, sendo demonstrado na Figura 55 a região afetada por um obstáculo, (CUSTÓDIO, 2013).

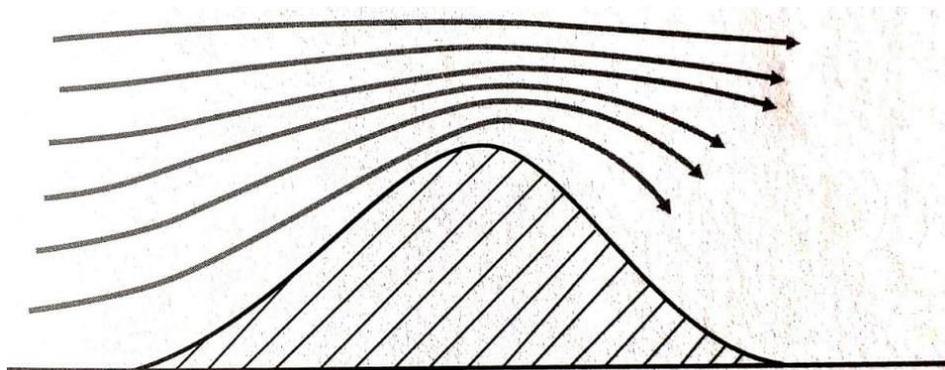
Figura 55. Região afetada por obstáculo.



Fonte: (CUSTÓDIO, 2013)

Quanto maior a altura maior é a velocidade do vento, em relação a isso pode-se dizer que as colinas e morros possuem uma velocidade maior de vento por estarem mais distantes da rugosidade do solo, sendo demonstrado na Figura 56 a aceleração do vento em um cume suave que tem a função de acelerar o vento, (CUSTÓDIO, 2013).

Figura 56. Vento sobre um Cume.



Fonte: (CUSTÓDIO, 2013)

A potência varia de acordo com o cubo da velocidade do vento, considerando então que a velocidade está comparada ao rendimento do aerogerador. Levando em conta que caso ocorra um erro na medição do vento em 10% acabará gerando uma diferença de 33% na energia gerada por variar em relação ao cubo da velocidade. Se o vento duplicar o valor da velocidade a potência aumenta oito vezes, (FARRET, 2014) e (CUSTÓDIO, 2013) e (PINTO, 2013).

São considerados quatro tipos de velocidade, sendo elas, (FARRET, 2014):

- Zero até a velocidade mínima;
- Operação normal;
- Altos ventos;
- Acima de 30,0 m/s.

#### 4.1.3 VELOCIDADE DO VENTO COM A ALTURA

Existem dois tipos de perfis que podem retratar o comportamento dos ventos, sendo eles, (MOREIRA, 2018):

- Lei de Potência;
- Lei Logarítma.

A Lei de Potência é demonstrada pela Equação 6, (MOREIRA, 2018):

$$V = V_r * \left( \frac{H}{H_r} \right)^n \quad (6)$$

onde:

$V$  – Velocidade do vento na altura  $H$ ;

$V_r$  – Velocidade do vento na altura medida;

$H$  – Altura desejada;

$H_r$  – Altura de referência (medida);

$n$  – Expoente da Lei de Potência – coeficiente de rugosidade.

A Equação 7 demonstra como calcular o perfil logarítmico, sendo, (MOREIRA, 2018):

$$V(z) = \frac{v_0}{k_c} * \ln \frac{z}{z_0} \quad (7)$$

onde:

$V(z)$  – Velocidade do vento na altura  $z$ ;

$v_0$ - Velocidade de atrito relacionada com a tensão de cisalhamento na superfície e a massa específica do ar;

$K_c$  – Constante de Von Kármán ( $K_c = 0,4$ );

$Z_0$  – Comprimento de rugosidade do solo [m].

O comportamento logarítmico para calcular a velocidade do vento de uma altura para outro nível de altura é dado pela Equação 8, (MOREIRA, 2018):

$$\frac{V(z)}{V(z_r)} = \frac{\ln\left(\frac{z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{Z_0}\right)} \quad (8)$$

onde:

$Z$  – Altura do solo no ponto 1 [m];

$Z_r$  – Altura do solo no ponto 2 [m];

$Z_0$  – Comprimento de rugosidade no local [m];

$V(z)$  – Velocidade do vento no ponto 1 [m/s];

$V(z_r)$  – Velocidade do vento no ponto 2 [m/s].

#### 4.1.4 RUGOSIDADE DO TERRENO

A rugosidade é a intervenção da superfície do local gerando um retardo do vento perto do solo, sendo definida pelo tamanho e arrumação dos elementos que constitui, (CUSTÓDIO, 2013).

O comprimento de rugosidade pode ser calculado pela Equação 9, (CUSTÓDIO, 2013):

$$Z_0 = 0,5 * \frac{h * S}{A_H} \quad (9)$$

onde:

$h$  - Altura do elemento de rugosidade [m];

$S$  - Seção transversal, na direção do vento e da rugosidade [m<sup>2</sup>];

$A_H$  - Área horizontal média dos componentes de rugosidade espalhados [m<sup>2</sup>].

Lembrando que o comprimento de superfície com vegetação pode variar de acordo com o vento do local, sendo demonstrado na Tabela 13 as classes de rugosidade existentes, (CUSTÓDIO, 2013).

Tabela 13. Tipos de Classes.

<b>Classe</b>	<b><math>z_m</math> (m)</b>	<b>Tipo de Área</b>	<b>Figura</b>
0	0,0002	Com água, tais como mares e lagos	6.5
1	0,03	Aberta com poucos quebra-ventos, plana ou levemente ondulada, podendo apresentar simples fazendas e árvores ou arbustos	6.6
2	0,1	Terrenos de fazendas com quebra-ventos afastados a mais de 1.000 m entre si, e algumas construções espalhadas; Caracterizados por grandes áreas abertas entre alguns quebra-ventos, o terreno pode ser plano ou ondulado.	6.7

3	0,4	Áreas urbanas, florestas e terras de fazenda com muitos quebra-ventos, a área da fazenda é caracterizada por muitos quebra-ventos aglomerados, com separação média de poucas centenas de metros	6.8
---	-----	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Fonte: (THOEN; PETTENSEN, 1989)

A Tabela 14 demonstra os valores relativos de rugosidade em certos tipos de terrenos.

Tabela 14. Valores relativos de rugosidade em certos terrenos.

<b>Tipo de Terreno</b>	<b>Z<sub>0</sub> (m) min</b>	<b>Z<sub>0</sub> (m) max</b>
Lama / Gelo	10 <sup>-5</sup>	3.10 <sup>-5</sup>
Mar Calmo	2.10 <sup>-4</sup>	3.10 <sup>-4</sup>
Areia	2.10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>
Neve	10 <sup>-3</sup>	6.10 <sup>-3</sup>
Campo de Cereais	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>
Relva Baixa	10 <sup>-2</sup>	4.10 <sup>-2</sup>
Descampados	2.10 <sup>-2</sup>	3.10 <sup>-2</sup>
Relva Alta	4.10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>
Floresta	10 <sup>-1</sup>	3.10 <sup>-1</sup>
Terreno com Árvores	10 <sup>-1</sup>	1
Povoação dos subúrbios	1	2
Centro da Cidade	1	4

Fonte: (CASTRO, 2005)

#### 4.1.5 TURBULÊNCIA

A turbulência causa variações na carga da potência de saída, ocorrida devido a rugosidade e elementos ao seu redor, sendo demonstrado na Tabela 15 a intensidade de turbulência referente a cada terreno, (CUSTÓDIO, 2013).

Tabela 15. Intensidade de Turbulência Referente ao Terreno.

<b>Tipo de Terreno</b>	<b>Intensidade de Turbulência - /</b>
Água Aberta (mar, lago, etc.)	0,10
Plano ou levemente ondulado	0,15
Morro	0,20
Pequenas Montanhas	0,25
Grandes Montanhas	0,30

Fonte: (CUSTÓDIO, 2013)

#### 4.1.6 QUANTIDADE DE PRODUÇÃO

A produção de energia é realizada em tempo anual sendo de acordo com a quantidade de vento, onde o rendimento de uma turbina eólica de pequeno porte encontra-se na média de 35% e de um gerador de corrente contínua na média de 60%, tendo então um rendimento total de 20%, (BRESSAN, 2006) e (FARRET, 2014) e (CUSTÓDIO, 2013).

O rendimento é prejudicado pelas perdas que ocorrem na turbina eólica sendo demonstrado na Tabela 16 os tipos de perdas, (PINTO, 2013).

Tabela 16. Tipos de Perdas.

<b>Dispositivo</b>	<b>Perdas</b>
Gerador	Mecânicas: Atrito entre os componentes (mancais e ventilação);
	Magnéticas: Histerese, correntes parasitas e saturação magnética;
	Elétricas: Correntes no Enrolamento (Efeito Joule)
Multiplicador	Atrito entre as engrenagens: Calor
Sistema Elétrico	Efeito Joule e efeito corona

Fonte: (PINTO, 2013)

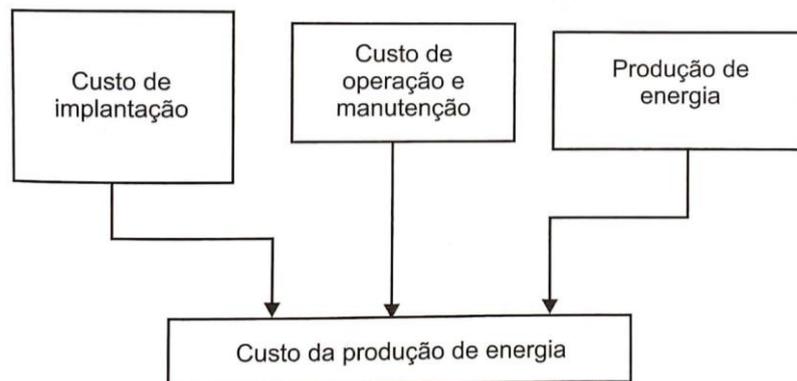
## 4.2 CUSTO

Segundo o Art. 5º da Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015 da Aneel (2015) diz que:

§1º Os custos de eventuais melhorias ou reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de microgeração distribuída não devem fazer parte do cálculo da participação financeira do consumidor, sendo integralmente arcados pela distribuidora, exceto para o caso de geração compartilhada, (ANEEL, 2015, p. 3).

A Figura 57 demonstra uma estrutura referente aos custos de implementação de um projeto eólico.

Figura 57. Estrutura referente aos custos para implementação de um projeto eólico.



Fonte: (MOREIRA, 2018)

Os custos para implementação são, (MOREIRA, 2018):

- Estudo de Viabilidade;
- Negociações de desenvolvimento;
- Projeto de Engenharia;
- Equipamentos;
- Instalação e Infraestrutura;

Um dos problemas referentes ao custo de energia eólica está relacionado aos fabricantes e empresas de turbinas eólicas que não disponibilizam nem compartilham os seus custos de implementação e produção.

O custo para manutenção de um aerogerador está em torno de 1,2 a 2% do investimento inicial para os mais novos e 3% para os aerogerados mais antigos, onde a maioria contém um valor de manutenção fixa sendo em torno de 0,01 \$/kWh, (ENERGIA, 2019).

Segundo Custódio (2013) o custo referente a produção de energia depende dos valores operacionais, de investimento e da quantidade gerada de energia. Onde no Brasil o custo para implantação de um parque eólico está na base de 4.000 R\$/kW.

Segundo Farret (2014) a construção de uma pequena central eólica no ano de 2014 estava em torno de US\$ 1,500.00/kW, levando em consideração que os valores variam de acordo com o tamanho da turbina eólica, com a localização e outros fatores, (FARRET, 2014).

### 4.3 MANUTENÇÃO

A manutenção necessária para um bom funcionamento de uma turbina eólica, podem ser citadas como, (ASSIS, 2015):

- Realizar o monitoramento da produção de energia através do inversor utilizado, verificando possíveis falhas que venham a ocorrer;
- Realizar a verificação periódica do sistema prevenindo de alguma possível vibração visível;
- Realizar o monitoramento em casos de algum possível ruído fora do padrão no sistema;
- Realizar a verificação das pás do aerogerador para o seu devido funcionamento.

### 4.4 PROTEÇÃO

Como já citado no decorrer deste trabalho a velocidade do vento varia de 3 a 25 m/s. Se a velocidade passar de 25 m/s a proteção contra sobrevelocidades deverá ser atuada ou se a velocidade for menos que 3 m/s deverá ser desligada da central para não gerar desgaste no funcionamento do gerador, (FARRET, 2014).

De acordo com o Módulo 3 do PRODIST na seção 3.3 da seção 3.7 é demonstrado na Tabela 17 suas proteções para cada faixa de potência.

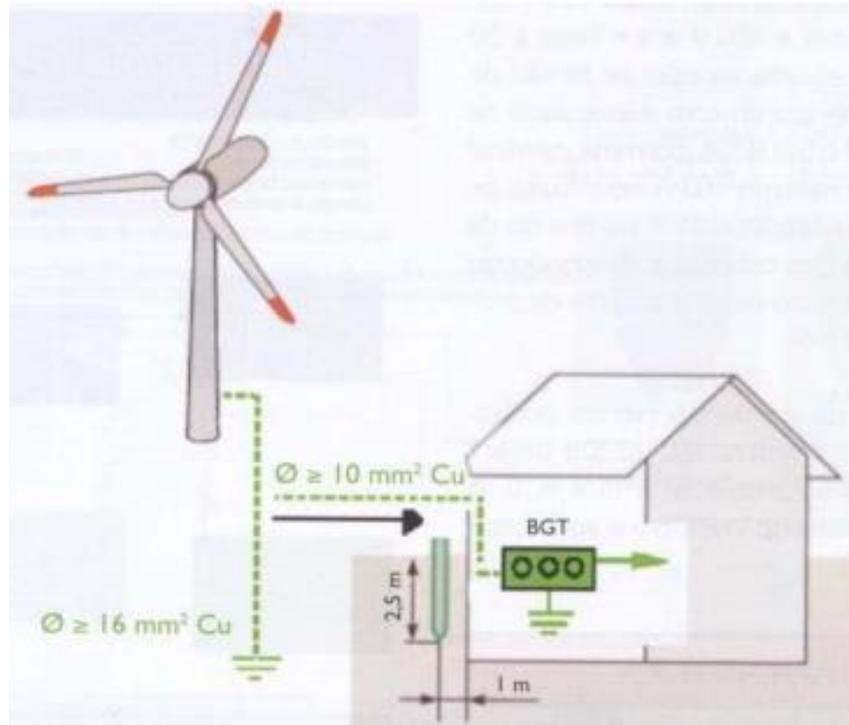
Tabela 17. Requisitos de proteção a cada faixa de potência.

Equipamento	Potência Instalada		
	< 100 kW	100 kW a 500 kW	500 KW a 1 MW
Elemento de Desconexão	Sim	Sim	Sim
Elemento de Interrupção	Sim	Sim	Sim
Transformador de Acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim	Sim	Sim
Proteção conta desequilíbrio de corrente	Sim	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente direcional	Não	Não	Sim
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim
Relé de Sincronismo	Sim	Sim	Sim
Anti-Ilhamento	Sim	Sim	Sim
Estudo de curto-circuito	Não	Sim	Sim
Medição	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes
Ensaio	Sim	Sim	Sim

Fonte: (ANEEL, 2016)

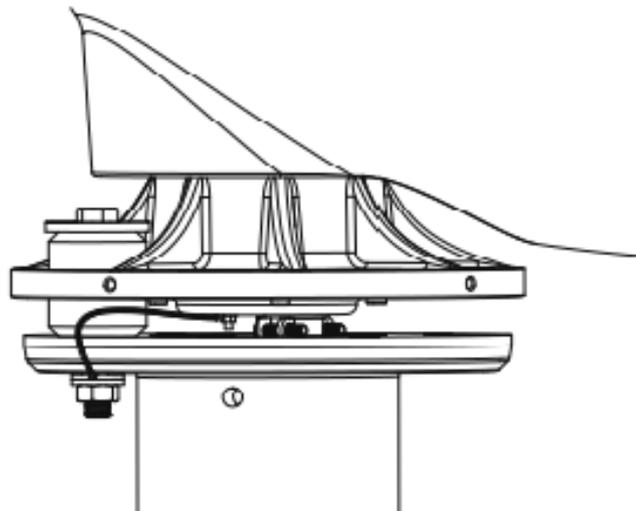
Nas Figuras 58 e 59 são demonstrados esquemas de aterramento no aerogerador.

Figura 58. Esquema de Ligação Terra na Turbina Eólica.



Fonte: (FARIA, 2010)

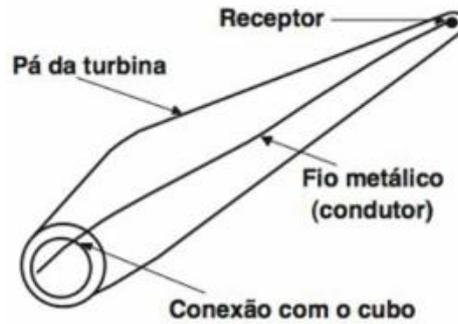
Figura 59. Aterramento do Aerogerador na Torre.



Fonte: (PURA, 2017)

A proteção contra raios é realizada de modo em que um receptor é localizado na ponta da pá onde dentro da pá irá conter um fio metálico que vai conectar o receptor a uma fita metálica flexível do cubo indo então para o aterramento da turbina como demonstrado na Figura 60, (PINTO, 2013).

Figura 60. Proteção Contra Raios.



Fonte: (PINTO, 2013)

A Tabela 18 demonstra as zonas de proteção dos componentes de acordo com a norma IEC 61400-24.

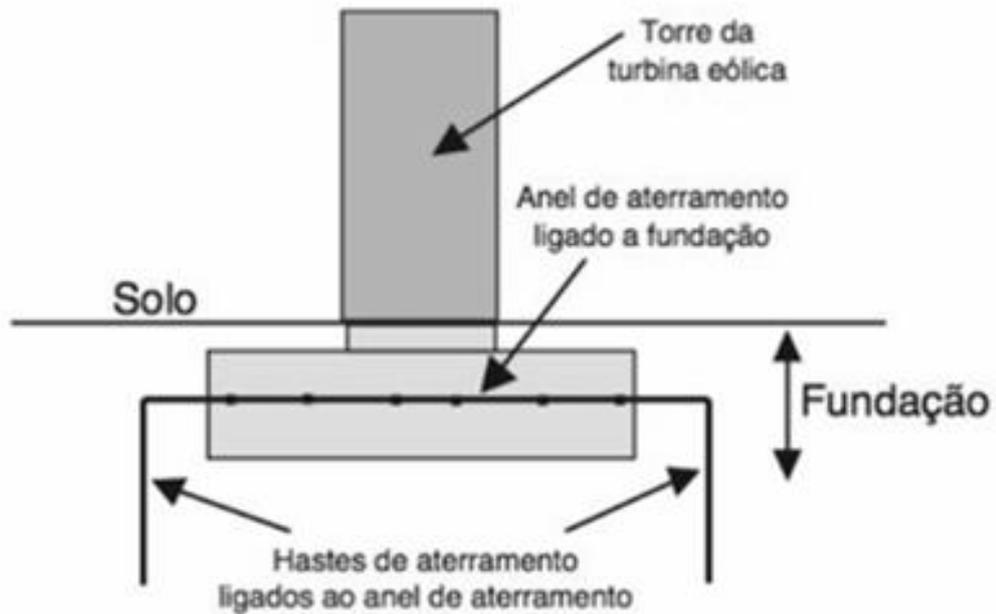
Tabela 18. Zonas de Proteção de Acordo com a Norma IEC 61400-24.

Zona de Proteção 0 <sub>A</sub>	Zona de Proteção 0 <sub>B</sub>	Zona de Proteção 1	Zona de Proteção 2
		Nacele (parte interna) com cobertura condutora: - Gerador; - Sistema de Refrigeração; - Sistema Hidráulico; - Caixa de Engrenagens.	Componentes no quadro de comando principal na base da torre
Pás e Torres	Luzes de Sinalização		
Cubo	Antenas de Rádio	Sistema de Iluminação da Torre	Equipamentos de comunicação na base da torre
Linhas Aéreas	Sensores para medição das condições ambientais	Transformador	Quadro de comando na parte interna da nacele
Cabos Condutores no Solo - Comunicação do Parque; - Ligação com a estação de medição; - Conexão com o Transformador.	Nacele (parte interna) com cobertura não condutora: - Gerador; - Sistema de Refrigeração; - Sistema Hidráulico; - Caixa de Engrenagens.	Cabos de conexão entre a nacele e a base da torre	Quadros de comando para regulação <i>pitch</i> e <i>stall</i>

Fonte: (PINTO, 2013)

O aterramento de um aerogerador é realizado ao redor da base da fundação em forma de anel sendo demonstrado na Figura 61. A fundação é de acordo com o tamanho do aerogerador e das condições do local, (PINTO, 2013).

Figura 61. Aterramento

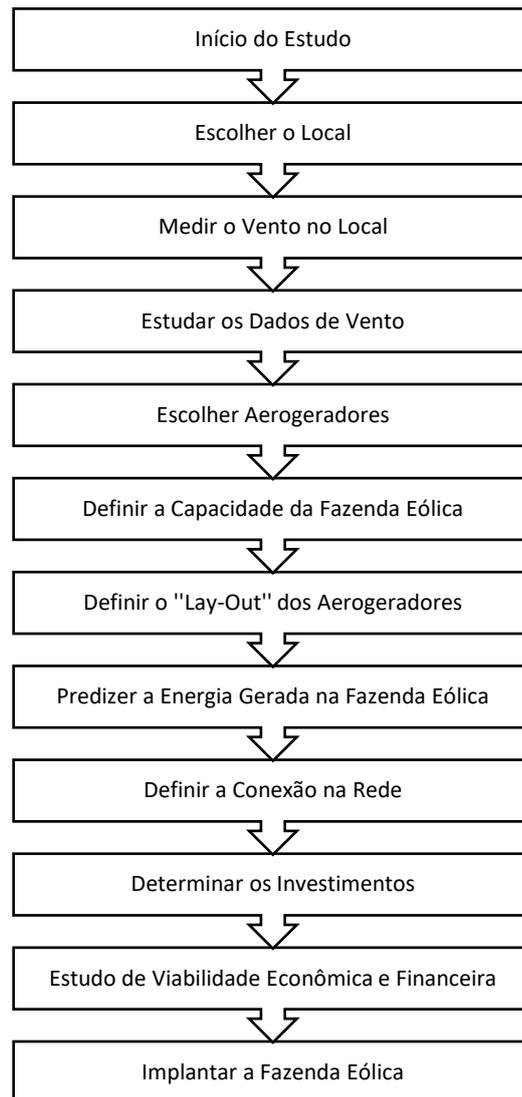


Fonte: (PINTO, 2013)

#### 4.5 IMPLEMENTAÇÃO

O projeto deverá ser realizado por uma empresa responsável no assunto e por profissionais habilitados. A Figura 62 demonstra um esquema de etapas para implantação de um sistema eólico.

Figura 62. Esquema para implantação de um sistema eólico.



Fonte: (CUSTÓDIO, 2013)

Os detalhes para implementação do medidor bidirecional são descritos, como sendo, (FIRSTENERGY, 2019):

- I. Primeiramente é necessário que o consumidor faça um pedido para a concessionária de energia realizar a interconexão da geração.
- II. A quantidade de energia deve atender as especificações e características do medidor de energia.
- III. O medidor bidirecional precisa atender as normas de segurança para sua interconexão na rede elétrica.
- IV. Verificação por responsáveis habilitados para ver se está tudo corretamente antes de energizar na rede elétrica.

- V. Depois da verificação será instalado um novo medidor bidirecional no local por responsáveis habilitados, realizando testes para ver se está tudo corretamente.

Os detalhes para implementação do sistema eólico são descritos, como sendo, (IDEAL, 2015):

- I. Primeiramente é preciso realizar por uma empresa responsável do assunto uma pré-avaliação detalhada do terreno pretendido para realização da instalação do microgerador;
- II. Verificar na prefeitura se é exigido uma licença para esse tipo de instalação na cidade;
- III. O consumidor deverá contratar uma empresa para realizar o procedimento de acordo com as regras da Resolução Normativa nº 482 de 2012 da Aneel.
- IV. A empresa contratada deverá obter junto à distribuidora as normas, os padrões e os procedimentos técnicos para a realização do projeto do microgerador;
- V. Através dos resultados obtidos pela realização das medições de vento escolher o microgerador adequado;
- VI. Enviar o formulário de solicitação de acesso disponível na REN 687/2015 para utilização de microgeração distribuída para a distribuidora de energia anexado com os documentos necessários.
- VII. O parecer de acesso é enviado para o consumidor no prazo de até 15 dias após o pedido.
- VIII. Instalar o microgerador e seguida realizar o teste.
- IX. Solicitar a vistoria da distribuidora em até 120 dias após a emissão do parecer de acesso para realizar a aprovação do ponto de conexão
- X. Acompanhar a vistoria da distribuidora e a aprovação do ponto de conexão, da instalação do novo medidor bidirecional e do início do sistema de compensação de energia.

Segundo a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 da Aneel (2010) é necessário constar na fatura de energia dos consumidores que possuem microgeração ou minigeração distribuída os seguintes itens:

- a) Informação da participação da unidade consumidora no sistema de compensação de energia elétrica;
- b) O saldo anterior de créditos em kWh;
- c) A energia elétrica ativa consumida, por posto tarifário;
- d) A energia elétrica ativa injetada, por posto tarifário;
- e) Histórico da energia elétrica ativa consumida e da injetada nos últimos 12 ciclos de faturamento;
- f) O total de créditos utilizados no ciclo de faturamento, discriminados por unidade consumidora;
- g) O total de créditos expirados no ciclo de faturamento;
- h) O saldo atualizado de créditos;
- i) A próxima parcela do saldo atualizado de créditos a expirar e o ciclo de faturamento em que ocorrerá, (ANEEL, 2012, p. 9).

Segundo o inciso 4 do artº 5 da Resolução Normativa nº 449, de 20 de setembro de 2011 da Aneel (2011) o parâmetro estabelecido para instalação de produtor rural relata que:

- b) o titular da unidade consumidora deve possuir registro de produtor rural expedido por órgão público ou outro documento hábil que comprove o exercício da atividade agropecuária, (ANEEL, 2011, p. 1).

#### 4.5.1 FATOR DE CAPACIDADE

Uma das formas possíveis para avaliar a capacidade de geração é através do fator de capacidade, sendo demonstrado na Equação 10, (PINTO, 2013).

$$FC = \frac{EAG}{8760 * P_n} \quad (10)$$

onde:

*EAG* – Energia Anual Gerada;

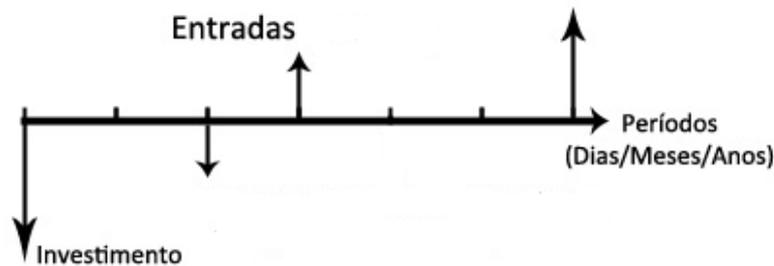
*P<sub>n</sub>* – Potência Nominal do Vento.

## 4.6 VIABILIDADE ECONÔMICA

Os métodos utilizados para realização da viabilidade econômica são: Fluxo de caixa, Valor presente líquido (VPL), *Payback* e Taxa interna de retorno (TIR).

O Fluxo de caixa são todas as entradas e saídas financeiras do projeto durante um determinado tempo sendo demonstrado na Figura 63 onde as setas para baixo representam o investimento inicial e as setas para cima representam o retorno do investimento, (TAVARES, 2016).

Figura 63. Fluxo de Caixa.



Fonte: Adaptado de (TAVARES, 2016)

O Valor presente líquido (VPL) estabelece o valor presente de pagamentos futuros sendo descontado por uma taxa de juros indicando se o projeto é aceitável ou não, sendo aceito quando o VPL for positivo ou igual a zero podendo ser calculado pela Equação 11, (BOTEON; RIBEIRO, 2017) e (MATTE, 2013).

$$VPL = -FC_0 + \sum_{K=1}^N \frac{FC_K}{(1+i)^k} \quad (11)$$

onde:

$FC_K$  – Fluxos de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;

$FC_0$  – Investimento Inicial;

$k = (l; n)$  – Períodos do horizonte de planejamento;

$i$  – Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Segundo Santos (2009), “ a taxa mínima de atratividade é uma taxa de juros, que ao se fazer um investimento o investidor espera obter um retorno pelo menos igual a essa taxa”. Sendo considerado neste trabalho uma TMA de 10%.

O *Payback* descontado é o tempo em que as entradas do fluxo de caixa levam para recuperar o valor investido no projeto, (TAVARES, 2016).

A Taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de desconto que iguala o VPL estimado no momento zero, ou seja, é a taxa que associa o valor investido com o valor recuperado ao fim do investimento onde o projeto se torna viável quando a TIR for igual ou maior que a TMA podendo ser calculado pela Equação 12, (SANTOS, 2009) e (MATTE, 2013).

$$0 = -FC_0 + \sum_{K=1}^N \frac{FC_K}{(1+i)^K} \quad (12)$$

onde:

$FC_K$  – Fluxos de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;

$FC_0$  – Investimento Inicial;

$k = (l; n)$  – Períodos do horizonte de planejamento;

#### 4.6.1 ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Foi realizado um estudo de viabilidade em uma propriedade de um produtor rural na cidade de Palmeira das Missões no Rio Grande do Sul sendo demonstrada na Figura 64 tendo como concessionária responsável na região a Rio Grande Energia (RGE). Esta residência possui um consumo médio de 340 kWh/mês sendo então elaborado o estudo de viabilidade através dos cálculos realizados pela autora com custos obtidos através dos fabricantes dos componentes, exceto o do aerogerador que foi obtido pelo Mercado Livre devido aos fabricantes não divulgarem os valores.

Figura 64. Cidade onde foi realizada a viabilidade econômica.



Fonte: (MAPS, 2019)

O Aerogerador possui uma potência de 2 kW, com 2,8 m de diâmetro das hélices, 48 V, gerando até 350 kWh/mês com uma média de vento de 6,5 m/s. Então, levando em consideração uma residência no Rio Grande do Sul, onde o consumo médio é de 340 kWh/mês, e o valor da tarifa no referente local é de R\$ 0,55, foi realizado o estudo de viabilidade econômica sendo demonstrado na Tabela 19 o orçamento elaborado pela autora, onde, a partir dos valores demonstrados na Tabela 19 foi realizado o cálculo do fluxo de caixa utilizando o valor total do aerogerador operando de maneira *on-gridd* investido ao longo de 25 anos sendo o tempo de vida útil do aerogerador sendo demonstrado na Tabela 20.

Tabela 19. Orçamento *on-gridd*

<b>Componente</b>	<b>Valor</b>
Aerogerador	R\$ 12.999,00
Inversor ABB	R\$ 7.890,00
Anemômetro	R\$ 350,00
Instalação	R\$ 2.000,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 23.239,00</b>

Fonte: (A AUTORA, 2019)

Tabela 20. Fluxo de Caixa do investimento ao longo de 25 anos

Ano	Tarifa de Energia (Reais)	Consumo Médio kWh/mês	Valor da Fatura Mensal (Reais)	Compensação Energética Anual (Reais)	Valor do Fluxo de Caixa (Reais)
0					-R\$ 23.239,00
1	0,55	340	187	R\$ 2.244,00	-R\$ 20.995,00
2	0,58	340	198,22	R\$ 2.378,64	-R\$ 18.616,36
3	0,62	340	210,11	R\$ 2.521,36	-R\$ 16.095,00
4	0,66	340	222,72	R\$ 2.672,64	-R\$ 13.422,36
5	0,69	340	236,08	R\$ 2.833,00	-R\$ 10.589,36
6	0,74	340	250,25	R\$ 3.002,98	-R\$ 7.586,39
7	0,78	340	265,26	R\$ 3.183,16	-R\$ 4.403,23
8	0,83	340	281,18	R\$ 3.374,15	-R\$ 1.029,08
9	0,88	340	298,05	R\$ 3.576,60	R\$ 2.547,51
10	0,93	340	315,93	R\$ 3.791,19	R\$ 6.338,70
11	0,98	340	334,89	R\$ 4.018,66	R\$ 10.357,37
12	1,04	340	354,98	R\$ 4.259,78	R\$ 14.617,15
13	1,11	340	376,28	R\$ 4.515,37	R\$ 19.132,52
14	1,17	340	398,86	R\$ 4.786,29	R\$ 23.918,81
15	1,24	340	422,79	R\$ 5.073,47	R\$ 28.992,28
16	1,32	340	448,16	R\$ 5.377,88	R\$ 34.370,15
17	1,40	340	475,05	R\$ 5.700,55	R\$ 40.070,70
18	1,48	340	503,55	R\$ 6.042,58	R\$ 46.113,28
19	1,57	340	533,76	R\$ 6.405,14	R\$ 52.518,42
20	1,66	340	565,79	R\$ 6.789,45	R\$ 59.307,87
21	1,76	340	599,73	R\$ 7.196,81	R\$ 66.504,68
22	1,87	340	635,72	R\$ 7.628,62	R\$ 74.133,30
23	1,98	340	673,86	R\$ 8.086,34	R\$ 82.219,64
24	2,10	340	714,29	R\$ 8.571,52	R\$ 90.791,16
25	2,23	340	757,15	R\$ 9.085,81	R\$ 99.876,96

Fonte: (A AUTORA, 2019)

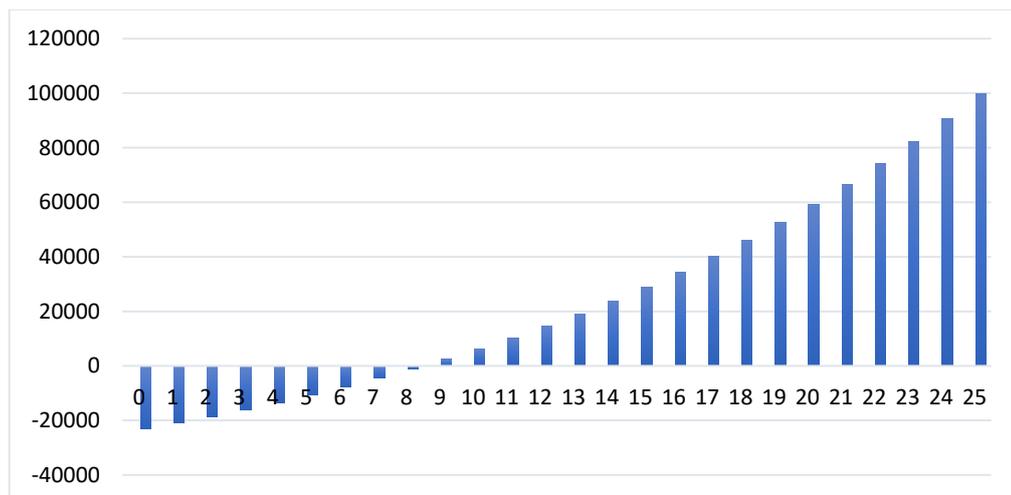
Através da Tabela 20 foi possível elaborar o cálculo do VPL, TIR e do *payback* demonstrados na Tabela 21.

Tabela 21. Análise Econômica do valor investido

Reajuste da Tarifa de Energia	6%
Investimento Inicial	R\$ 23.239,00
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	10%
VPL	R\$ 24.841,37
TIR	12%
<i>Payback</i>	8 anos e 3 meses

Fonte: (A AUTORA, 2019)

É importante ressaltar que a RGE cobra um custo de disponibilidade de energia referente ao tipo de instalação onde neste caso o consumidor é obrigado a pagar 30 kWh devido a instalação ser monofásica, mesmo sem utilizar energia. Então para saber qual foi o rendimento do sistema é necessário descontar o custo de disponibilidade multiplicando pela tarifa onde o resultado é descontado do valor do fluxo de caixa ao longo de 25 anos obtendo então um rendimento no valor de R\$ 99.464,46. Portanto pode-se perceber que o estudo para instalação do aerogerador operando de forma *on-grid* se torna viável devido ao TIR ser maior que o TMA, onde é demonstrado na Figura 65 que o valor investido é recuperado em 8 anos e 3 meses.

Figura 65. *Payback*

Fonte: (A AUTORA, 2019)

Na Tabela 22 é demonstrado o orçamento do aerogerador operando de maneira *off-grid* realizado pela autora, onde, a partir dos valores descritos no orçamento é demonstrado na

Tabela 23 o fluxo de caixa do valor total investido ao longo de 25 anos sendo o tempo de vida útil do aerogerador.

Tabela 22. Orçamento *off-gridd*

<b>Componente</b>	<b>Valor</b>
Aerogerador	R\$ 12.999,00
Inversor ABB	R\$ 7.890,00
Bateria Heliar	R\$ 1.110,00
Anemômetro	R\$ 350,00
Instalação	R\$ 2.000,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 24.349,00</b>

Fonte: (A AUTORA, 2019)

Tabela 23. Fluxo de Caixa do investimento ao longo de 25 anos

<b>Ano</b>	<b>Tarifa de Energia (Reais)</b>	<b>Consumo Médio kWh/mês</b>	<b>Valor da Fatura Mensal (Reais)</b>	<b>Compensação Energética Anual (Reais)</b>	<b>Valor do Fluxo de Caixa (Reais)</b>
0					-R\$ 24.349,00
1	0,55	340	187	R\$ 2.244,00	-R\$ 22.105,00
2	0,58	340	198,22	R\$ 2.378,64	-R\$ 19.726,36
3	0,62	340	210,11	R\$ 2.521,36	-R\$ 17.205,00
4	0,66	340	222,72	R\$ 2.672,64	-R\$ 14.532,36
5	0,69	340	236,08	R\$ 2.833,00	-R\$ 11.699,36
6	0,74	340	250,25	R\$ 3.002,98	-R\$ 8.696,39
7	0,78	340	265,26	R\$ 3.183,16	-R\$ 5.513,23
8	0,83	340	281,18	R\$ 3.374,15	-R\$ 2.139,08
9	0,88	340	298,05	R\$ 3.576,60	R\$ 1.437,51
10	0,93	340	315,93	R\$ 3.791,19	R\$ 5.228,70
11	0,98	340	334,89	R\$ 4.018,66	R\$ 9.247,37

12	1,04	340	354,98	R\$ 4.259,78	R\$ 13.507,15
13	1,11	340	376,28	R\$ 4.515,37	R\$ 18.022,52
14	1,17	340	398,86	R\$ 4.786,29	R\$ 22.808,81
15	1,24	340	422,79	R\$ 5.073,47	R\$ 27.882,28
16	1,32	340	448,16	R\$ 5.377,88	R\$ 33.260,15
17	1,40	340	475,05	R\$ 5.700,55	R\$ 38.960,70
18	1,48	340	503,55	R\$ 6.042,58	R\$ 45.003,28
19	1,57	340	533,76	R\$ 6.405,14	R\$ 51.408,42
20	1,66	340	565,79	R\$ 6.789,45	R\$ 58.197,87
21	1,76	340	599,73	R\$ 7.196,81	R\$ 65.394,68
22	1,87	340	635,72	R\$ 7.628,62	R\$ 73.023,30
23	1,98	340	673,86	R\$ 8.086,34	R\$ 81.109,64
24	2,10	340	714,29	R\$ 8.571,52	R\$ 89.681,16
25	2,23	340	757,15	R\$ 9.085,81	R\$ 98.766,96

Fonte: (A AUTORA, 2019)

Através da Tabela 23 foi possível elaborar o cálculo do VPL, TIR e do *payback* demonstrados na Tabela 24.

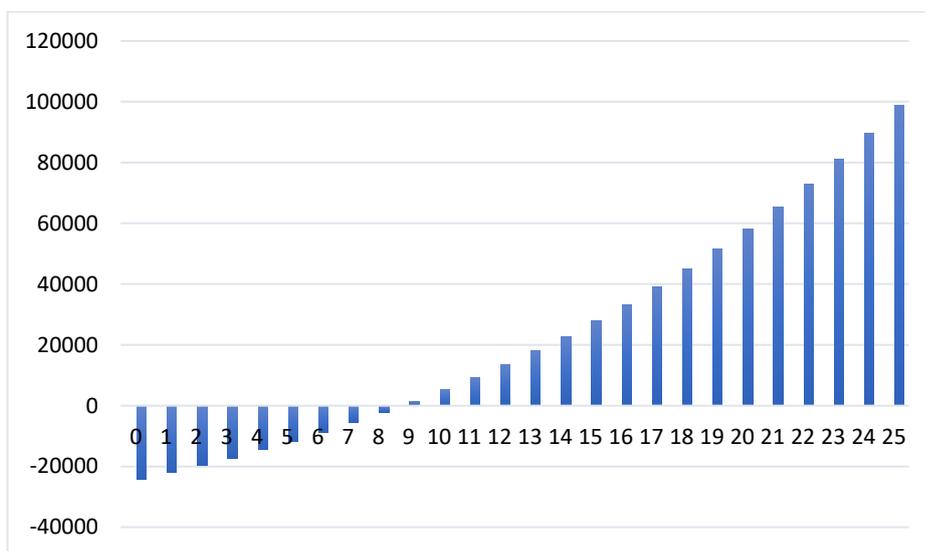
Tabela 24. Análise Econômica do valor investido

Reajuste da Tarifa de Energia	6%
Investimento Inicial	R\$ 24.349,00
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	10%
VPL	R\$ 13.655,85
TIR	11 %
<i>Payback</i>	8 anos e 6 meses

Fonte: (O AUTOR, 2019)

Então para saber qual foi o rendimento do sistema é utilizado o mesmo procedimento descrito acima onde é necessário descontar o custo de disponibilidade multiplicando pela tarifa onde o resultado é descontando do valor do fluxo de caixa ao longo de 25 anos obtendo então um rendimento no valor de R\$ 98.354,46. Onde pode-se perceber que o estudo para instalação do aerogerador operando de forma *off-gridd* se torna viável devido ao TIR ser maior que o TMA, onde é demonstrado na Figura 66 que o valor investido é recuperado em 8 anos e 6 meses.

Figura 66. *Payback*



Fonte: (A AUTORA, 2019)

Também foi realizado o cálculo utilizando o fator de capacidade citado no item acima, onde será realizado o cálculo com o aerogerador de 2 kW tendo um fator de capacidade de 30% funcionando 24 horas ao dia. Para saber quanto ele irá produzir por ano é demonstrado no cálculo abaixo, (MOREIRA; BASTOS; SANTOS, 2018).

$$0,30 * 2 \text{ kW} * 24 \text{ horas} * 365 \text{ dias} = 5256 \text{ kWh por ano}$$

$$5256 \text{ kWh} * 9 \text{ anos} = 47.304 \text{ MWh}$$

Podemos perceber através do cálculo realizado que em um ano o aerogerador irá produzir 5256 kWh, então em 9 anos com um fator de capacidade de 30% essa energia gerada será de 47.304 MWh. Utilizando o custo do investimento *off-gridd* realizado pela autora demonstrada no item da viabilidade de R\$ 24.349,00 podemos perceber que a relação de custo total versus a energia gerada será de, (MOREIRA, BASTOS, SANTOS, 2018):

$$\frac{R\$ 24.349,00}{47304 kWh} = R\$ 514,73 R\$/MWh$$

#### 4.6.2 COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Os valores investidos para a implementação do sistema eólico foram aplicados em um banco privado que contém uma taxa de juros de 6% ao ano tendo como intuito realizar uma comparação desses investimentos através do rendimento no banco com o rendimento obtido no fluxo de caixa.

O valor de investimento para implementação do sistema eólico operando de maneira *on-gridd* possui um custo total de R\$ 23.239,00 onde a Tabela 25 demonstra qual seria o rendimento deste valor se fosse aplicado ao banco ao longo de 25 anos.

Tabela 25. Rendimento bancário do investimento para o sistema *on-gridd*.

Ano	Valor Investido ao Banco (Reais)	Taxa de Juros Anual	Saldo Anual (Reais)	Rendimento (Reais)
1	R\$ 23.239,00	6%	R\$ 24.633,34	R\$ 1.394,34
2	R\$ 0,00	6%	R\$ 26.111,34	R\$ 1.478,00
3	R\$ 0,00	6%	R\$ 27.678,02	R\$ 1.566,68
4	R\$ 0,00	6%	R\$ 29.338,70	R\$ 1.660,68
5	R\$ 0,00	6%	R\$ 31.099,02	R\$ 1.760,32
6	R\$ 0,00	6%	R\$ 32.964,97	R\$ 1.865,94
7	R\$ 0,00	6%	R\$ 34.942,86	R\$ 1.977,90
8	R\$ 0,00	6%	R\$ 37.039,44	R\$ 2.096,57
9	R\$ 0,00	6%	R\$ 39.261,80	R\$ 2.222,37
10	R\$ 0,00	6%	R\$ 41.617,51	R\$ 2.355,71
11	R\$ 0,00	6%	R\$ 44.114,56	R\$ 2.497,05
12	R\$ 0,00	6%	R\$ 46.761,43	R\$ 2.646,87
13	R\$ 0,00	6%	R\$ 49.567,12	R\$ 2.805,69
14	R\$ 0,00	6%	R\$ 52.541,15	R\$ 2.974,03
15	R\$ 0,00	6%	R\$ 55.693,62	R\$ 3.152,47
16	R\$ 0,00	6%	R\$ 59.035,23	R\$ 3.341,62
17	R\$ 0,00	6%	R\$ 62.577,35	R\$ 3.542,11
18	R\$ 0,00	6%	R\$ 66.331,99	R\$ 3.754,64
19	R\$ 0,00	6%	R\$ 70.311,91	R\$ 3.979,92

20	R\$ 0,00	6%	R\$ 74.530,62	R\$ 4.218,71
21	R\$ 0,00	6%	R\$ 79.002,46	R\$ 4.471,84
22	R\$ 0,00	6%	R\$ 83.742,61	R\$ 4.740,15
23	R\$ 0,00	6%	R\$ 88.767,16	R\$ 5.024,56
24	R\$ 0,00	6%	R\$ 94.093,19	R\$ 5.326,03
25	R\$ 0,00	6%	R\$ 99.738,78	R\$ 5.645,59
<b>Total</b>			<b>R\$ 76.499,78</b>	

Fonte: (A AUTORA, 2019)

Na Tabela 26 é demonstrado a comparação dos investimentos, tornando possível perceber que o investimento para a implementação do sistema eólico *on-gridd* se torna mais viável devido ao seu tempo de retorno ser em 8 anos e 3 meses gerando um rendimento de fluxo de caixa no valor de R\$ 99.464,46.

Tabela 26. Comparação do investimento.

Investimento no banco	R\$ 76.499,78
Investimento na implementação do sistema eólico <i>on-gridd</i>	R\$ 99.464,46

Fonte: (A AUTORA, 2019)

O valor de investimento para implementação do sistema eólico operando de maneira *off-gridd* possui um custo total de R\$ 24.349,00 onde a Tabela 27 demonstra qual seria o rendimento deste valor se fosse aplicado ao banco ao longo de 25 anos.

Tabela 27. Rendimento bancário do investimento para o sistema *off-gridd*

Ano	Valor Investido ao Banco (Reais)	Taxa de juros Anual	Saldo Anual (Reais)	Rendimento (Reais)
1	R\$ 24.349,00	6%	R\$ 25.809,94	R\$ 1.460,94
2	R\$ 0,00	6%	R\$ 27.358,54	R\$ 1.548,60
3	R\$ 0,00	6%	R\$ 29.000,05	R\$ 1.641,51
4	R\$ 0,00	6%	R\$ 30.740,05	R\$ 1.740,00
5	R\$ 0,00	6%	R\$ 32.584,45	R\$ 1.844,40
6	R\$ 0,00	6%	R\$ 34.539,52	R\$ 1.955,07
7	R\$ 0,00	6%	R\$ 36.611,89	R\$ 2.072,37
8	R\$ 0,00	6%	R\$ 38.808,61	R\$ 2.196,71
9	R\$ 0,00	6%	R\$ 41.137,12	R\$ 2.328,52

10	R\$ 0,00	6%	R\$ 43.605,35	R\$ 2.468,23
11	R\$ 0,00	6%	R\$ 46.221,67	R\$ 2.616,32
12	R\$ 0,00	6%	R\$ 48.994,97	R\$ 2.773,30
13	R\$ 0,00	6%	R\$ 51.934,67	R\$ 2.939,70
14	R\$ 0,00	6%	R\$ 55.050,75	R\$ 3.116,08
15	R\$ 0,00	6%	R\$ 58.353,80	R\$ 3.303,05
16	R\$ 0,00	6%	R\$ 61.855,02	R\$ 3.501,23
17	R\$ 0,00	6%	R\$ 65.566,32	R\$ 3.711,30
18	R\$ 0,00	6%	R\$ 69.500,30	R\$ 3.933,98
19	R\$ 0,00	6%	R\$ 73.670,32	R\$ 4.170,02
20	R\$ 0,00	6%	R\$ 78.090,54	R\$ 4.420,22
21	R\$ 0,00	6%	R\$ 82.775,97	R\$ 4.685,43
22	R\$ 0,00	6%	R\$ 87.742,53	R\$ 4.966,56
23	R\$ 0,00	6%	R\$ 93.007,08	R\$ 5.264,55
24	R\$ 0,00	6%	R\$ 98.587,51	R\$ 5.580,43
25	R\$ 0,00	6%	R\$ 104.502,76	R\$ 5.915,25
			<b>Total</b>	<b>R\$ 80.153,76</b>

Fonte: (A AUTORA, 2019)

Na Tabela 28 é demonstrado a comparação dos investimentos, tornando possível perceber que o investimento para a implementação do sistema eólico *off-gridd* se torna mais viável devido ao seu tempo de retorno ser em 8 anos e 6 meses gerando um rendimento de fluxo de caixa no valor de R\$ 98.354,46.

Tabela 28. Comparação do investimento.

Investimento no banco	R\$ 80.153,76
Investimento na implementação do sistema eólico <i>off-gridd</i>	R\$ 98.354,46

Fonte: (A AUTORA, 2019)

## 4.7 EQUIPAMENTOS QUE PODERIAM SER UTILIZADOS PARA IMPLEMENTAÇÃO

### 4.7.1 MODELO ELV-H3.8 – 2 kW

O Modelo ELV-H3.8 – 2 kW é um produto da Eletrovento sendo demonstrado na Tabela 29 suas especificações técnicas onde os itens que contém (/) são utilizados isolados da rede. A Figura 67 demonstra o modelo de turbina eólica e a Figura 68 demonstra a curva de potência deste modelo.

Tabela 29. Especificações Técnicas do Modelo ELV-H3.8 2 kW

Potência Nominal	2.000 W
Potência Máxima	3.200 W
Tensão do Banco de Baterias (/)	120 V
Número de Pás	3
Material das Pás	Fibra de Vidro Reforçado
Diâmetro das Pás	3,8 metros
Velocidade do Vento de Partida	3 m/s
Velocidade Nominal do Vento	9 m/s
Faixa de Velocidade de Operação	3 – 25 m/s
Velocidade de Vento de Segurança	50 m/s
Rotação Nominal das Pás	450 RPM
Modo de Controle de Velocidade	Yawing e Freio Eletromagnético
Frenagem	Furling Mecânico e Eletromagnética
Coefficiente de Performance (Cp)	0,45
Eficiência do Gerador	> 80%
Peso no Topo da Torre	85,0 Kg
Baterias Sugeridas (/)	150 / 200 Ah

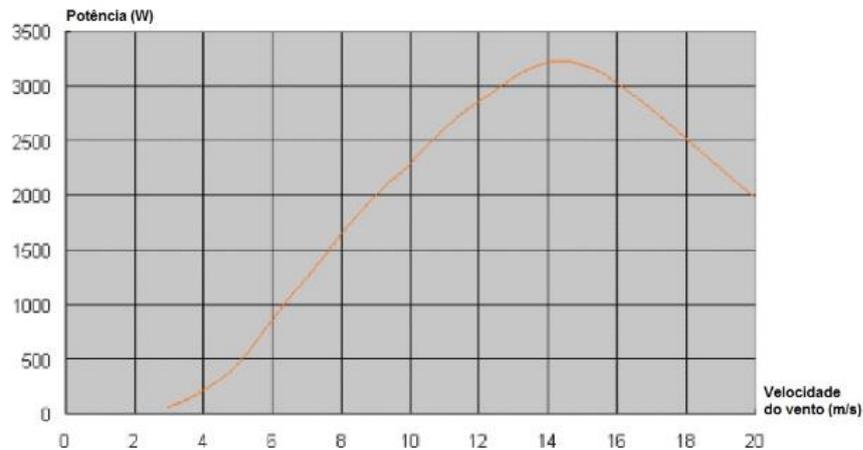
Fonte: (ELETROVENTO, 2019)

Figura 67. Modelo ELV-H3.8 - 2 kW.



Fonte: (ELETROVENTO, 2019)

Figura 68. Curva de Potência do Modelo escolhido.



Fonte: (ELETROVENTO, 2019)

#### 4.7.2 MODELO H3.8 – 2000 W

O Modelo H3.8 – 2000 W é um produto da Energybras sendo demonstrado na Tabela 30 suas especificações técnicas, na Figura 69 seu modelo de turbina eólica e na Figura 70 sua curva de geração.

Tabela 30. Especificações do Modelo H3.8 - 2000 W

Potência Nominal	2000 W
Potência Máxima de Saída	3200
Voltagem Banco de Baterias (Vdc) (Sistema Off-grid)	120
Voltagem de Saída (Vac)	110/220
Velocidade do Vento na Partida	3 m/s
Velocidade do Vento Nominal	9 m/s
Faixa de Velocidade de Operação	3 - 25 m/s
Velocidade de Vento de Segurança	50 m/s
Eficiência do Gerador	> 0,8
Coeficiente Aerodinâmico do Rotor (Cp)	0,45
Tipo do Gerador	Gerador de Imã Permanente
Peso do Gerador	25 kg
	Torre Fixada com Cabos de Aço:
	10 m
Altura da Torre	Torre Estrutural: 10 m Torre Hidráulica: 10,64 m

Material da Pá	GRP (Fibra de Vidro Reforçada com plástico)
Quantidade de Pá	3
Diâmetro da Pá	3,8 m
Método de Regulagem da Velocidade	“Yawing” + Freio Eletromagnético (Opção de Freio Hidráulico)
Método de Desligamento	Manual e Automático

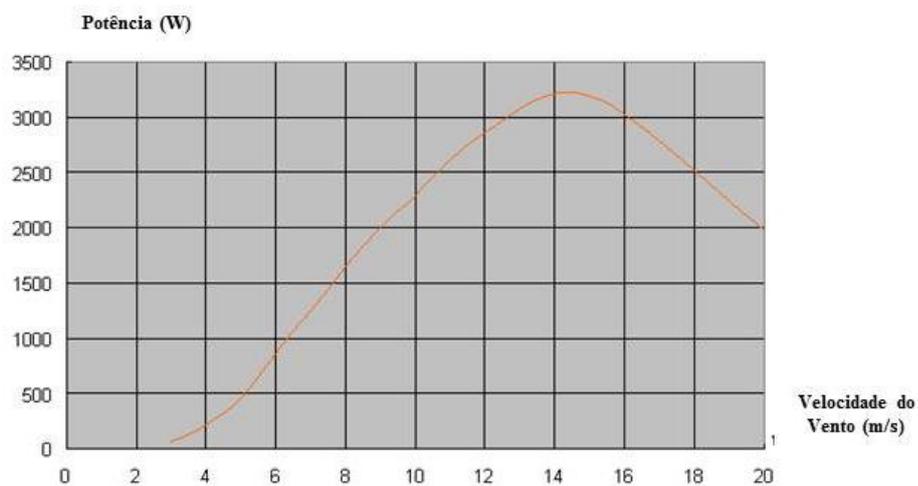
Fonte: (ENERGYBRAS, 2015)

Figura 69. Modelo H3.8 - 2000 W



Fonte: (ENERGYBRAS, 2015)

Figura 70. Curva de Geração do Modelo H3.8 - 2000 W



Fonte: (ENERGYBRAS, 2015)

### 4.7.3 MODELO ANTARIS 2.5 kW

A turbina ANTARIS é fabricada pela empresa BRAUN Windturbinen utilizada principalmente em locais no interior, contendo menos componentes rotativos com o intuito de reduzir a carga mecânica e aumentar a vida operacional técnica, tendo como vida útil 20 anos, sendo demonstrado na Tabela 31 suas especificações técnicas, na Figura 71 o Modelo ANTARIS 2.5 kW, na Figura 72 sua curva de potência e na Figura 73 sua ferramenta de medição de dados, (WINDTURBINEN, 2013).

Tabela 31. Especificações Técnicas do Modelo ANTARIS 2.5 kW

<b>Gerador</b>	
Rotor	Íman Permanente, sem escova, sem engrenagens, sem manutenção com ímãs permanentes resistentes a temperatura de até 150 °C
Corrente	Trifásica
Tensão	0 – 400 V
Início de Alimentação	Aproximadamente 145 rpm
Potência	2700 W a 380 rpm e 330 V
Peso	30 kg
Material da Carcaça	Alumínio
Classe de Proteção	IP56
<b>Rotor</b>	
Conexão do Cubo	Flange de Alumínio e Placa de Alívio de Pressão
Conexões de Parafuso	Aço Inoxidável com Contraporcas
Perfil Aerodinâmico	Projetado por Computador
Lâmina	Aproximadamente 3,00 m de diâmetro (opcionalmente 2,35 m)
Peso de cada Lâmina	3,2 kg aproximadamente
Sentido de rotação	Sentido anti-horário visto de frente
Velocidade máxima de rotação	410 rpm

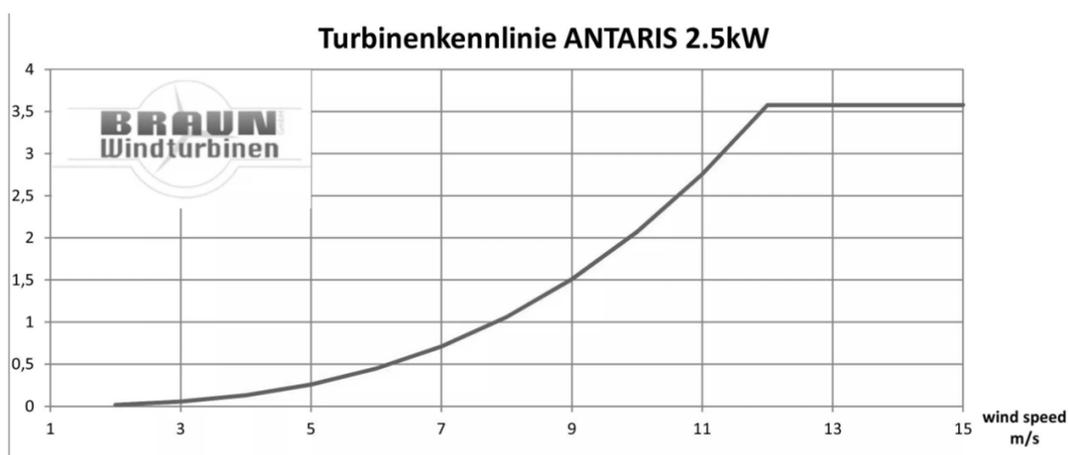
Fonte: (WINDTURBINEN, 2013)

Figura 71. Modelo ANTARIS 2.5 kW



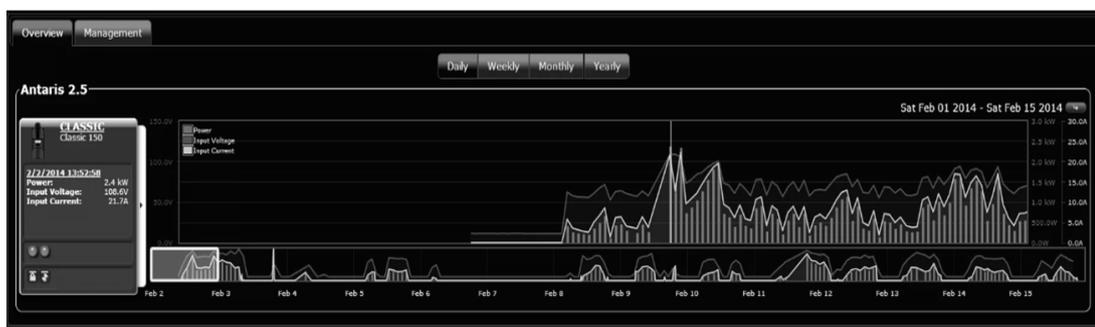
Fonte: (WINDTURBINEN, 2013)

Figura 72. Curva de Potência ANTARIS 2.5 kW



Fonte: (WINDTURBINEN, 2013)

Figura 73. Ferramenta de medição de dados.



Fonte: (WINDTURBINEN, 2013)

#### 4.7.4 ANEMÔMETRO ESTACIONÁRIO MODELO AN-1B

O Anemômetro estacionário Modelo NA-1B é fabricado pela empresa brasileira S&E Instrumentos utilizado para realizar a medição da velocidade do vento. A Figura 74 demonstra o modelo AN-1B.

Figura 74. Anemômetro Modelo AN-1B



Fonte: (S&E, 2019)

#### 4.7.5 INVERSOR MODELO UNO-DM-5.0-TL-PLUS-SB

A Figura 75 demonstra o Inversor Modelo UNO-DM-5.0-TL-PLUS-SB fabricado pela ABB, com um custo referente ao site online Aldo de R\$ 7.890,00, (ALDO, 2019).

Figura 75. Inversor UNO-DM-5.0-TL-PLUS-SB



Fonte: (ABB, 2019)

#### 4.7.6 BATERIA ESTACIONÁRIA MODELO HELIAR FREEDOM DF4001

A bateria estacionária é utilizada para sistemas isolados sendo demonstrado na Figura 76 o modelo, tendo um valor de acordo com o site das Casas Bahia de R\$1.109,44, (BAHIA, 2019).

Figura 76. Bateria Estacionária Modelo Heliar Freedom DF4001.



Fonte: (HELIAR, 2019)

## 5 CONCLUSÃO

O avanço na tecnologia nos permite aprimorar o sistema elétrico que utilizamos trazendo melhorias e benefícios para o consumidor devido à crescente evolução da geração distribuída com integração de fontes de energia renováveis, tornando-a como uma nova alternativa para o consumidor tornando-o como o próprio produtor de energia trazendo mais lucratividade, não prejudicando ao meio ambiente.

A energia eólica é uma fonte de energia com grandes implementações de parques eólicos no mundo. Com a criação da geração distribuída e com a evolução das fontes renováveis os fabricantes passaram a fabricar aerogeradores para consumidores de pequeno e médio porte podendo implementarem na rede elétrica trazendo muitos benefícios para o consumidor devido a ser uma fonte renovável que não prejudica o meio ambiente se tornando viável sua implementação mesmo com o seu elevado custo inicial devido que o consumidor terá seu retorno financeiro após alguns anos depois da sua implementação.

A geração distribuída traz muitos benefícios para o sistema elétrico, diminuindo suas perdas e trazendo benefícios tanto para o consumidor como para a concessionária de energia elétrica.

Foi realizado um estudo de viabilidade econômica para dois estudos onde no primeiro o sistema eólico opera em modo *on-gridd* e o segundo opera de modo *off-gridd*, onde pode-se perceber o tempo de retorno do investimento. Deste modo, para o sistema eólico *on-gridd* o *payback* é de 8 anos e 3 meses e o para o sistema eólico *off-gridd* o *payback* é de 8 anos e 6 meses.

Também foi realizado um estudo de viabilidade econômica em um banco privado onde foi realizada uma comparação para saber qual obteria um maior rendimento entre o valor total do investimento aplicado ao banco e o valor total do investimento aplicado na implementação do sistema operando de maneira *on-gridd* e *off-gridd* ao longo de 25 anos sendo o tempo de vida útil do aerogerador. O rendimento do valor investido aplicado ao banco para o sistema *on-gridd* foi no valor de R\$ 76.499,78 e para o sistema *off-gridd* no valor de R\$ 80.153,76 onde para a implementação do sistema eólico o valor do rendimento obtido pelo fluxo de caixa para o sistema *on-gridd* foi no valor de R\$ 99.464,46 e para o sistema *off-gridd* no valor de R\$ 98.354,46, onde pode-se perceber que a implementação do sistema eólico se torna mais viável devido a ter um maior rendimento.

Pode-se concluir que a implementação do sistema eólico aplicado ao produtor rural é viável devido ao tempo de retorno do investimento ser de 8 anos 3 meses para o sistema *on-*

*gridd* e 8 anos e 6 meses para o sistema *off-gridd* sendo um bom tempo de retorno do investimento devido ao tempo de vida útil do aerogerador ser de 25 anos sendo um sistema renovável que não irá prejudicar o meio ambiente diminuindo a poluição.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A GERADORA,. **O que é Energia Eólica? Como os Geradores de energia são utilizados em parques eólicos?** 2017. Disponível em: <<https://www.ageradora.com.br/o-que-e-energia-eolica/>>. Acesso em: 14 maio 2019.

ABB. **Detailed information for: 3P259901000A.** Disponível em: <<https://new.abb.com/products/6AGC063456/uno-dm-5-0-tl-plus-sb-inverter>>. Acesso em: 08 maio 2019.

ABEEÓLICA. **Energia Eólica ultrapassa marca de 14 GW de capacidade instalada.** Disponível em: <<http://abeeolica.org.br/noticias/energia-eolica-ultrapassa-marca-de-14-gw-de-capacidade-instalada/>>. Acesso em: 05 maio 2019.

ALDO. **Inversor Solar ABB Aldo Solar: 3P259901000A UNO-DM-5.0-TL-PLUS-SB 5.0KW MONOFASICO 220V 2 MPPT MONITORAMENTO.** 2019. Disponível em: <<http://www.aldo.com.br/Produto/?c=31476&d=inversor-solar-abb-aldo-solar-3P259901000A>>. Acesso em: 08 maio 2019.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica no Brasil.** 2. ed. Brasília: 2005. 243 p. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005\\_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b](http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2005_AtlasEnergiaEletricaBrasil2ed/06b7ec52-e2de-48e7-f8be-1a39c785fc8b)>. Acesso em: 06 maio 2019.

ANEEL. **Capacidade de Geração do Brasil.** 2019. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 05 maio 2019.

ANEEL. **Resolução Normativa N° 414, de 9 de setembro de 2010.** 2010. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2019.

ANEEL. **Resolução Normativa N° 449, de 20 de setembro de 2011.** 2011. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2011449.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

ANEEL. **Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012.** 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2019.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015.** 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2019.

ANEEL. **Seção 3.7 - Acesso de Micro e Minigeração Distribuída.** 2016. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2011/042/documento/minuta\\_secao\\_3.7\\_modulo\\_3\\_prodist.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2011/042/documento/minuta_secao_3.7_modulo_3_prodist.pdf)>. Acesso em: 20 maio 2019.

ASSIS, Anderson de. **A Energia Eólica para o consumo residencial.** 2015. 33 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Economia e Meio Ambiente, Departamento de Economia Rural e Extensão, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

BAHIA, Casas. **Bateria Estacionária Freedom DF4001.** 2019. Disponível em: <[https://www.casasbahia.com.br/automotivo/Ignicao/Bateria/bateria-estacionaria-freedom-df4001-14215812.html?utm\\_medium=Cpc&utm\\_source=GP\\_PLA&IdSku=14215812&idLojista=25017&utm\\_campaign=auto\\_outros\\_shopping&gclid=EAIaIQobChMI4XPqo-M4gIVkoKRCh2XwwCnEAQYBiABEgKSwwD\\_BwE](https://www.casasbahia.com.br/automotivo/Ignicao/Bateria/bateria-estacionaria-freedom-df4001-14215812.html?utm_medium=Cpc&utm_source=GP_PLA&IdSku=14215812&idLojista=25017&utm_campaign=auto_outros_shopping&gclid=EAIaIQobChMI4XPqo-M4gIVkoKRCh2XwwCnEAQYBiABEgKSwwD_BwE)>. Acesso em: 08 maio 2019.

BENÍCIO, General. **Energia Elétrica no Brasil: Da primeira lâmpada a Eletrobrás.** Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército, 1977.

BOTEON, Margarete; RIBEIRO, Renato. **Análise financeira: fluxo de caixa, valor presente, TIR e financiamento agrícola (PARTE I).** 2017. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2737325/mod\\_resource/content/4/FINANCEIRO.PDF](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2737325/mod_resource/content/4/FINANCEIRO.PDF)>. Acesso em: 13 jun. 2019.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia: Energias renováveis no Brasil.** 2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/proinfa/o-programa/energias-renovaveis>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia**: CMSE: Consumo total de energia volta a crescer. 2018. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/cmse-consumo-total-de-energia-volta-a-crescer](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/cmse-consumo-total-de-energia-volta-a-crescer)>. Acesso em: 03 set. 2018.

BRESSAN, Natália Trevizoli. **Análise do crescimento da geração distribuída brasileira com ênfase no potencial energético da região Norte**. 2016. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

BURTON, Tony et al. **Wind Energy Handbook**. Chichester - England: John Wiley & Sons, 2001.

CABRAL, Isabel Cavalcanti. **Especificação e Análise das avarias que influenciam no funcionamento dos Aerogeradores**. 2015. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - Rn, 2015.

CARNEIRO, Joaquim A. O.. **Energia : do carbono às renováveis : 3.º ano da licenciatura em ciências do ambiente**. Braga - Portugal: 2013. 47 slides, color. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/22408/1/Energia%20E%C3%B3lica.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2019.

CASER, Eduardo Spalenza; PAIVA, Giuseppe da Mota. **Projeto Aerodinâmico de uma turbina eólica de eixo vertical (TEEV) para ambientes urbanos**. 2016. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico., Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

CASTRO, Rui M. G.. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada: Introdução a Energia Eólica**. 2005. 3 v. Secção de Energia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2005.

CCEE. **Geração de energia eólica cresce 17,8% em 2018**. 2018. Disponível em: <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/noticias-opiniao/noticias/noticia leitura?contentid=CCEE\\_642832&\\_afLoop=27713474972463&\\_adf](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/noticias-opiniao/noticias/noticia leitura?contentid=CCEE_642832&_afLoop=27713474972463&_adf)>.

ctrl-

state=7o93uwlst\_46#!%40%40%3Fcontentid%3DCCEE\_642832%26\_afrLoop%3D27713474972463%26\_adf.ctrl-state%3D7o93uwlst\_50>. Acesso em: 06 dez. 2018.

CELESC. **Medidor eletrônico bidirecional**. 2018. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas-tecnicas/equipamentos-medicao/E-321.0010-MEDIDOR-ELETRONICO-BIDIRECIONAL.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2019.

COMPLETTEC. **Energia Fotovoltaica - Microgeração**. Disponível em: <<https://complettec.webs.com/energiasrenovveis.htm>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

CORREIA, Ismael Ricardo Durães da Rocha. **Caracterização aerodinâmica de uma pá para rotor de micro-eólica**. 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga - Portugal, 2014.

COUNCIL, World Energy. **Renewable Energy Projects Handbook**. 2004. Disponível em: <[https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2012/10/PUB\\_Renewable\\_Energy\\_Projects\\_Handbook\\_2004\\_WEC.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2012/10/PUB_Renewable_Energy_Projects_Handbook_2004_WEC.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2019.

CRESESB. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. 2001. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf)>. Acesso em: 04 maio 2019.

CRESESB. **Aplicações dos Sistemas Eólicos**. 2005. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=251](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=251)>. Acesso em: 06 maio 2019.

CRESESB. **Coordenada Geográfica**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 04 maio 2019.

CRESESB. **FAQ Eólica: Pode-se utilizar baterias automotivas em sistemas eólicos autônomos?**. 2012. Disponível em:

<[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&catid\[\]=1&catid\[\]=5](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid[]=1&catid[]=5)>.

Acesso em: 08 maio 2019.

CRESESB. **Quais são os componentes de um aerogerador?** 2014. Disponível em:

<[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=13&filter%5B%5D=>](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=13&filter%5B%5D=>).

Acesso em: 14 maio 2019.

CUSTÓDIO, Ronaldo dos Santos. **Energia Eólica para produção de energia elétrica.** 2. ed.

Rio de Janeiro: Synergia, 2013. 319 p.

DEWI, Instituto Alemão de Energia Eólica (tradução Eletrobras). **Energia Eólica.**

Wilhelmshaven, Germany, 1998.

DUTRA, Ricardo. **Energia Eólica - Princípios e Tecnologia.** 2008. Centro de Referência para

Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em:

<[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_eolica\\_2008\\_e-book.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf)>. Acesso

em: 21 abr. 2019.

ECOSOCH. **How to read a Bidirectional meter?** 2017. Disponível em:

<<https://www.ecosoch.com/read-bidirectional-meter/>>. Acesso em: 08 maio 2019.

ELETROBRÁS. **Potencial Hidrelétrico Brasileiro em cada Estágio por Bacia Hidrográfica.** 2017. Disponível em:

<[http://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/geracao/sipot/PotencialHidrel%C3%A9tricoBrasileiro-Bacia-](http://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/geracao/sipot/PotencialHidrel%C3%A9tricoBrasileiro-Bacia-Dezembro2017.pdf#search=potencial%20hidrel%C3%A9trico%20brasileiro%20por%20bacia%20hidrografica)

[Dezembro2017.pdf#search=potencial%20hidrel%C3%A9trico%20brasileiro%20por%20bacia%20hidrografica](http://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/geracao/sipot/PotencialHidrel%C3%A9tricoBrasileiro-Bacia-Dezembro2017.pdf#search=potencial%20hidrel%C3%A9trico%20brasileiro%20por%20bacia%20hidrografica)>. Acesso em: 06 dez. 2018.

ELETROVENTO. **Energias Renováveis ou Energias Alternativas.** 2019. Disponível em:

<<http://www.eletrovento.com.br/pagina/saiba-mais/sobre-energia-eolica/47/>>. Acesso em: 21

abr. 2019.

ELETROVENTO. **Modelo ELV-H3.8 – 2 kW**. Disponível em: <<http://www.eletovento.com.br/produto/modelo-elv-h3-8-2-kw/8/>>. Acesso em: 13 maio 2019.

ENERGIA, Portal. **Economia**. Disponível em: <[https://www.portal-energia.com/downloads/aulas/Aula10\\_Economia.pdf](https://www.portal-energia.com/downloads/aulas/Aula10_Economia.pdf)>. Acesso em: 14 jun. 2019.

ENERGYBRAS. **Modelo H3.8 - 2000 W**. 2015. Disponível em: <<http://energybras.com.br/produtos/aerogeradores/modelo-h38-2000w>>. Acesso em: 13 maio 2019.

EPE. **Participação de empreendimentos eólicos nos leilões de energia no Brasil**: Evolução dos projetos cadastrados e suas características técnicas. 2018. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-394/NT\\_EPE-DEE-NT-041\\_2018-r0.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-394/NT_EPE-DEE-NT-041_2018-r0.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2019.

EPE. **Primeiro leilão de energia eólica do país viabiliza a construção de 1.805,7 MW**. 2009. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-90/20091214\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-90/20091214_1.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2019.

FÁCIL, Eólica. **Que tipo de turbina posso comprar?** Disponível em: <<https://www.eolicafacil.com.br/qual-comprar>>. Acesso em: 08 maio 2019.

FADIGAS, Eliane A. Faria Amaral. **Energia Eólica**. Barueri - São Paulo: Manole, 2011. 356 p. (Sustentabilidade).

FARIA, Ricardo Jorge Outor Castro. **Estudo técnico relativo a instalação de micro eólicas em edifícios urbanos para microprodução de energia eléctrica**. 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica, Departamento de Engenharia Electrotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto - Portugal, 2010.

FARRET, Felix A.. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. 3. ed. Santa Maria: Editora da Ufsm, 2014. 320 p.

FERREIRA, Abel António de Azevedo. **Sistema de produção de energia eólica**. 2011. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto - Portugal, 2011.

FILGUEIRAS, Alexandre Rocha; BRANCO, Tadeu da Mata Medeiros; MOURA, Ailson Pereira de. Modelagem de Rotor de Turbina Eólica para utilização em fluxo de carga. In: SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2007, Rio de Janeiro. **Grupo de Estudo de produção térmica e fontes não convencionais**. Rio de Janeiro: 2007. Disponível em: <<http://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/03/MODELAGEM-DO-ROTOR-DE-TURBINA-EO%CC%81LICA-PARA-UTILIZAC%CC%A7A%CC%83O-EM-FLUXO-DE-CARGA.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2019.

FIRSTENERGY. **Bi-Directional Metering**. Disponível em: <<https://www.firstenergycorp.com/content/dam/feconnect/files/retail/Net-Metering-Primer.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2019.

GARCIA, Marcelo. **Como gerar energia eólica em casa?** 2016. Disponível em: <<https://casa.abril.com.br/materiais-construcao/como-gerar-energia-eolica-em-casa/>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

GAVINO, Natália Azevedo. **Energia Eólica: uma análise dos incentivos à produção (2002-2009)**. 2011. 117 f. Monografia (Especialização) - Curso de Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

GWEC. **Webcast on Wind: 'Fazendo negócios no... Brasil' (21 de junho de 2018, 15h CEST)**. 2018. Disponível em: <<https://gwec.net/webcast-on-wind-doing-business-in-brazil-21-june-2018-15h-cest/>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

HAMILTON, Duda; MARKUN, Paulo. **Celesc: 50 anos de Luz**. 18. ed. Florianópolis: Abecelesc, 2006.

HAU, Erich. **Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics**. Munich, Germany: Springer, 2006.

HELIAR. **Freedom by Heliar**. Disponível em: <<https://www.heliar.com.br/pt-br/produtos/estacionaria/heliar-freedom>>. Acesso em: 08 maio 2019

IDEAL, Instituto. **Como faço para ter energia eólica em minha casa?** 2015. Disponível em: <<https://institutoideal.org/guiaeolica/>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

INEE. **O que é geração distribuída**. Disponível em: <[http://www.inee.org.br/forum\\_ger\\_distrib.asp?Cat=gd](http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp?Cat=gd)>. Acesso em: 29 abr. 2019.

INMETRO. **Portaria Inmetro nº 375, de 27 de setembro de 2011**. 2011. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001738.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2019.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61400-2: Wind turbines – Part 2: Design requirements for small wind turbines**. 2 ed. Switzerland: Iec 2006 Copyright, 2006. Disponível em: <[https://webstore.iec.ch/preview/info\\_iec61400-2%7Bed2.0%7Den\\_d.pdf](https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61400-2%7Bed2.0%7Den_d.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2019.

KALTSCHMITT, Martin; STREICHER, Wolfgang; WIESE, Andreas. **Renewable Energy: Technology, Economics and Environment**. Leipzig - Germany: Springer, 2007. 564 p.

LOUREIRO, Mario. **Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos**. 2001. Disponível em: <<http://www.energiasrenovaveis.com/images/upload/MicroEolicas.pdf>>. Acesso em: 06 maio 2019.

MAGALHÃES, Murilo Vill. **Estudo de utilização da energia eólica como fonte geradora de energia no Brasil**. 2009. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Econômicas, Departamento de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

MAPS, Google. **Palmeira das Missões**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Palmeira+das+Miss%C3%B5es,+Palmeira+das+Miss%C3%B5es+-+RS,+98300-000/@-27.9043173,-53.310643,5518m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x94fc8b52927ce365:0x70a651c9e8bde871!8m2!3d-27.9001784!4d-53.3140353>>. Acesso em: 28 maio 2019.

MATTE, Djessica Karoline. **Administração Financeira e Orçamentária II: Técnicas de Orçamento de Capital**. 2013.

MELO, Natália Rodrigues de. **Dimensionamento e simulação de uma microrrede em um condomínio residencial utilizando geração eólica e solar**. 2016. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Formiga, Formiga - Mg, 2016.

MERGULHÃO. **Estação Eólica**. Disponível em: <<http://mergulhao.no.comunidades.net/estacao-eolica>>. Acesso em: 14 maio 2019.

MME, Ministério de Minas e Energia -. **DECRETO Nº 5.163 DE 30 DE JULHO DE 2004**. 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm)>. Acesso em: 01 maio 2019.

MME, Ministério de Minas e Energia -; EPE, Empresa de Pesquisa Energética -. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/0/PDE2026.pdf/474c63d5-a6ae-451c-8155-ce2938fbf896>>. Acesso em: 09 maio 2019.

MOREIRA, Carlos Coelho Leal. **Identification and development of microgrids emergency control procedures**. 2008. 279 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Department Of Electrical And Computer Engineering, University Of Porto, Porto - Portugal, 2008.

MOREIRA, Hugo Lima; BASTOS, Augusto Mendes; SANTOS, Romualdo Barbosa. **Análise Comparativa da Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos e Eólicos para**

**Microgeração de Energia Elétrica.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2018, Gramado. 2018. p. 1 - 10.

**MPSC. Distributed Generation (Net Metering) Program.** Disponível em: <[https://www.michigan.gov/mpsc/0,4639,7-159-16393\\_48212\\_58124---,00.html](https://www.michigan.gov/mpsc/0,4639,7-159-16393_48212_58124---,00.html)>. Acesso em: 08 maio 2019.

**NEIVA, Antonio Carlos de Barros. Tecnologias de Operação e Controle de Aero geradores.** Disponível em: <[http://www.creasp.org.br/arquivos/camaras/ceemm/CEEMM\\_Eolica\\_CREASP3\\_02-05-2016.pdf](http://www.creasp.org.br/arquivos/camaras/ceemm/CEEMM_Eolica_CREASP3_02-05-2016.pdf)>. Acesso em: 17 maio 2019.

**ONS. Carga e Geração.** 2019. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/energia-agora/carga-e-geracao>>. Acesso em: 05 maio 2019.

**ONS. O Sistema em Números.** 2017. Disponível em: <<http://ons.org.br/pt/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

**ONS. Sistemas Isolados.** 2018. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/sistemas-isolados>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

**PASSOS, Rodrigo Silveira dos. Estudo de caso do impacto da microgeração na tensão e nas perdas de um sistema de distribuição.** 2014. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

**PEDRO, Andressa Elisa Bade de Castro. Perspectivas da Geração Distribuída no Brasil.** 2018. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

**PEREIRA, I.Q.G. Condições de viabilidade da microgeração eólica em zonas urbanas.** Porto, Portugal, 2010.

**PINTO, Milton de Oliveira. Fundamentos de Energia Eólica.** Rio de Janeiro: Ltc, 2013.

PISNI, Francine. **Energia Eólica**: São Paulo, 2017. 19 slides, color. ABEEólica - Associação Brasileira de Energia Eólica. Disponível em: <[http://www.smartgrid.com.br/eventos/smartgrid2017/francine\\_pisni.pdf](http://www.smartgrid.com.br/eventos/smartgrid2017/francine_pisni.pdf)>. Acesso em: 22 abr. 2019

PLANALTO. Decreto no 5163 de 30 de Julho de 2004. Diário Oficial, Brasília, 30 de Julho de 2004.

PURA, Energia. **Manual do proprietário 60HZ**. 2017. Disponível em: <<https://www.energiapura.com/wp-content/uploads/2017/10/manual-skystream-portugues.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2019.

RIBEIRO, Márcio Lunardelli. **Estratégia de Reposição de Serviço utilizando Micro-Redes**. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

RODRIGUES, José Carlos; COLAREJO, José Manuel Padinha. Versão Digital Comemorativa dos 40 Anos de edição: **Aeromodelismo Teórico e Prático**. C.A.L. – 2004. Disponível em: <<http://www.e-voo.com/downloads/>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

SANTOS, Ieda Maria Antunes dos. **Análise de investimentos**. 2009. Disponível em: <[http://vigo.ime.unicamp.br/Projeto/2009-2/MS777/ms777\\_ieda.pdf](http://vigo.ime.unicamp.br/Projeto/2009-2/MS777/ms777_ieda.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2019.

SANTOS, Silvio Coelho dos; REIS, Maria José. **Memória do Setor Elétrico na Região Sul**. Florianópolis: Editora da Ufsc, 2002.

S&E, Instrumentos. **Anemômetro Estacionário Com Unidade Controladora Modelo AN-1B**. Disponível em: <[https://www.seinstrumentos.com.br/pdf/anemometro\\_an1.pdf](https://www.seinstrumentos.com.br/pdf/anemometro_an1.pdf)>. Acesso em: 06 maio 2019.

SILVA, Leonardo Perpétuo da. **Inversor de Frequência**. 2011. 42 f. Monografia (Especialização) - Curso de Oficial de Máquinas, Centro de Instrução Almirante Graça Aranha,

Marinha do Brasil, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.redebim.dphdm.mar.mil.br/vinculos/000008/000008bd.pdf>>. Acesso em: 09 maio 2019.

TAVARES, Estevão. **Energia Eólica: Viabilidade Técnica e Econômico-Financeira**. 2016. 50 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, Mg, 2016.

TROEN, I.; PETERSEN, E. Lundtang. **European Wind Atlas**. Riso Nacional Laboratory. Roskilde, Risø Publication, Dinamarca, 1989.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

WENZEL, Guilherme München. **Projeto Aerodinâmico de pás de Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal**. 2007. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica – Demm, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – Pucrs, Porto Alegre, 2007.

WINDTURBINEN, Brau. **ANTARIS small wind turbines**. 2013. Disponível em: <<https://www.braun-windturbinen.com/products/antaris-small-wind-turbines/>>. Acesso em: 07 maio 2019.

WINDTURBINEN, Braun. **ANTARIS 2.5 kW: Technical Specifications ANTARIS 2.5 kW**. 2013. Disponível em: <<https://www.braun-windturbinen.com/products/antaris-small-wind-turbines/antaris-2-5-kw/>>. Acesso em: 13 maio 2019.

WOLSKI, Belmiro. **Curso técnico em eletrotécnica: Eletricidade Básica**. 3. ed. Curitiba: Base Didáticos, 2007.

**ANEXO A – CATÁLOGO ANEMÔMETRO ESTACIONÁRIO MODELO AN-1B**

# Anemômetro estacionário com unidade controladora



## Modelo AN-1B

O Anemômetro Estacionário modelo AN-1B é um instrumento para indicação e alarme de velocidade do vento, composto por unidade sensora tipo "pás" e unidade controladora digital que possui display de LED com 4 dígitos e 2 presets de velocidade do vento. É um instrumento fundamental para a segurança pessoal, da caga e do equipamento, sinalizando ao operador a utilização em momentos de risco conforme definido nas normas de segurança do trabalho. Seus presets podem ser programados para atender a NR-18 em 42km/h e 72km/h, a NR-12 em 35km/h ou a qualquer outra velocidade definida pelo usuário. Pode ser configurado em outras unidades de medida como m/s ou Knots (nós).

### Aplicações

Pode ser utilizado no setor de construção civil, agrícola, parques eólicos, setor naval / portos, aeroportos, setor petrolífero, torres de energia e outros. São ideais para uso em máquinas de transporte instaladas em ambientes externos para elevação ou movimentação de objetos ou cargas (esteiras rolantes, pontes rolantes, guindastes, guas, balancins, cestos suspensos, etc.).

### Principais características

A **unidade sensora** é construída para resistir a severas condições ambientais. Possui três pás de alumínio com pintura epóxi eletrostática, rotor em alumínio com parafusos em inox, eixo giratório de aço inoxidável e encoder com invólucro injetado em poliamida com 33% de fibra de vidro de alta resistência mecânica, a raios UV e IR.

A **unidade controladora** possui instalação simples e segura. É ideal para a instalação em painéis para monitoramento e predeterminação de valores.

Display de LED vermelho de alto brilho, com dígitos de 14,3mm de altura que permitem excelente visualização da medição.

Alta precisão e estabilidade térmica, alta imunidade a ruídos e transientes elétricos.

A velocidade pode ser mostrada em km/h, m/s ou nós, ambas com 1 casa decimal.

Possui 2 presets que trabalham por comparação de maior ou igual atuando relés com contatos reversíveis tipo SPDT com proteção antifaísca.

Opcional: diversos modelos de suportes de fixação de aço carbono bicromatizado com pintura epóxi eletrostática.

Opcional: saída analógica proporcional em 0~20 ou 4~20mA para cargas de até 500 Ohms (10 Volts).

Produto nacional, 2 anos de garantia contra defeitos de fabricação e assistência técnica permanente.

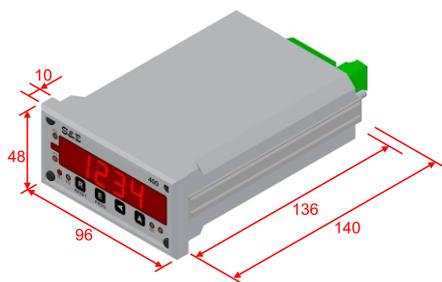
### Especificações Técnicas - Unidade sensora

Velocidade máxima	150km/h
Temperatura de operação	0 ~ 60°C
Invólucro do encoder	Poliamida com 33% de fibra de vidro
Pás	Alumínio com pintura epóxi
Eixo giratório	Aço inox
Grau de proteção	IP65
Peso aproximado (com 2 metros de cabo)	0,42 kg

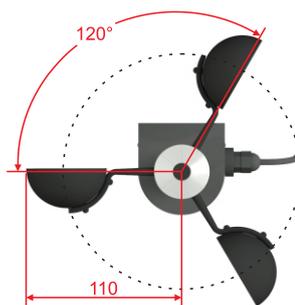
### Unidade controladora

Display	4 dígitos com 14,3 mm de altura
Precisão na faixa de 2 a 20m/s ou 7,2 a 72 km/h ou 4 a 40 nós	+/- 3% da leitura + 0,3m/s ou + 1km/h ou + 0,6 nó
Painel frontal	Policarbonato
Caixa	ABS cinza alto impacto
Dimensões da caixa	48 x 96 x 136 mm
Alimentação	88 ~ 264 Vac ou 9 ~ 28 Vdc ou 90 ~ 160 Vdc
Frequência (Vac)	50 ~ 400Hz
Consumo máximo	5 V.A.
Temperatura de operação	0 ~ 60°C
Umidade relativa máxima	90% não condensado
Fonte auxiliar	12Vdc / 50mA
Relés SPDT	5A / 250Vac
Grau de proteção	IP60
Peso aproximado	0,25 kg

# DIMENSÕES E CONEXÕES



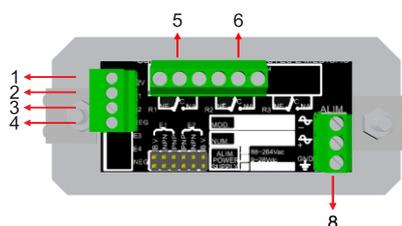
UNIDADE CONTROLADORA  
Caixa 48 x 96 mm  
Recorte do painel: 43 x 91 (+/- 1 mm)



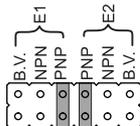
UNIDADE SENSORA

\*medidas em mm

## Descritivo dos bornes de ligação



Jumpers de polarização de entrada

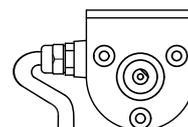


Nº	Borne	Fios unidade sensora	Função
1	+12V	Vermelho	12 Vcc máx. 50 mA
2	E1	Laranja	*Clock
3	E2	—	*Clock enable
4	NEG.	Marrom / blindagem	Comum
5	R1	—	Relé 1 (NF / C / NA)
6	R2	—	Relé 2 (NF / C / NA)
8	ALIM.	—	Vac: fase / neutro / terra Vdc: + / - / terra

\*Clock - Entrada de pulsos

\*Clock enable - Habilita / desabilita a entrada E1 (Normalmente habilitado pelo jumper PNP da entrada E2)

## Unidade sensora



MARROM/BLINDAGEM: COMUM / NEG.  
LARANJA: ENT. 1 / E1  
VERMELHO: +12V

## Suportes de Fixação

### SP-01



Suporte de fixação a 90° de baixo custo, ideal para instalação nas arestas de paredes verticais ou colunas de sustentação.

Indicado para fixação em balancins, mastros, torres, hastes, etc.

Suporta severas condições climáticas pois é feito em aço carbono com tratamento galvânico e pintura epóxi eletrostática.

### SP-04



Suporte de fixação horizontal que permite o afastamento da unidade sensora do ponto de fixação para evitar os erros que possam ser gerados pelo turbilhonamento do ar.

Indicado para guias, navios, prédios, pontes-rolantes, etc.

Suporta severas condições climáticas pois é feito em aço carbono com tratamento galvânico e pintura epóxi eletrostática.

### SP-06



Suporte de fixação giratório para a utilização em guindastes onde a unidade sensora se mantém alinhada horizontalmente independente da inclinação do braço do guindaste.

Possui sistema de fixação que permite a fácil retirada quando o guindaste não está em uso ou está sendo transportado (apenas uma cupilha).

Suporta severas condições climáticas pois é feito em aço carbono com tratamento galvânico e pintura epóxi eletrostática.

### SP-05



Suporte de fixação vertical que permite a elevação da unidade sensora do ponto de fixação para evitar os erros que possam ser gerados pelo turbilhonamento do ar, devido a obstáculos

Indicado para guias, navios, prédios, pontes-rolantes, etc.

Suporta severas condições climáticas pois é feito em aço carbono com tratamento galvânico e pintura epóxi eletrostática.

**S&E** Instrumentos de Testes e Medição Ltda.

Rua Manguaba, 46 - Jardim Umuarama - São Paulo - SP - 04650-020

Telefones: (11) 5522-3877 / 5681-4946 - Whatsapp: 11 99234-1725 Site: [www.seinstrumentos.com.br](http://www.seinstrumentos.com.br)

**ANEXO B – CATÁLOGO INVERSOR MODELO UNO-DM-5.0-TL-PLUS-SB**

SOLAR INVERTERS

## ABB string inverters

UNO-DM-3.3/4.0/4.6/5.0-TL-PLUS  
3.3 to 5.0 kW



UNO-DM-3.3/4.0/4.6/5.0-TL-PLUS outdoor string inverter

### One size fits all

The new design wraps ABB's quality and engineering into a lightweight and compact package thanks to technological choices optimized for installations with different orientation.

All power ratings share the same overall volume, allowing higher performance in a minimum space, and have a dual Maximum Power Point Tracker (2 MPPT).

### Easy to install, fast to commission

The presence of plug and play connectors, both on the DC and AC side, as well as the wireless communication, enable a simple, fast and safe installation without the need of opening the front cover of the inverter.

The featured easy commissioning routine removes the need for a long configuration process, resulting in lower installation time and costs.

Improved user experience thanks to a built-in User Interface (UI), which enables access to features such as advanced inverter configuration settings, dynamic feed-in control and load manager, from any WLAN-enabled devices (smartphone, tablet or PC).

### Smart capabilities

The embedded logging capabilities and direct transferring of the data to Internet (via Ethernet or WLAN) allow customers to enjoy the whole Aurora

The new UNO-DM-PLUS single-phase inverter family, with power ratings from 3.3 to 5.0 kW, is the optimal solution for residential installations.

Vision® remote monitoring experience.

The advanced communication interfaces (WLAN, Ethernet, RS485) combined with an efficient Modbus (RTU/TCP) communication protocol, Sunspec compliant, allow the inverter to be easily integrated within any smart environment and with third party monitoring and control systems.

A complete set of control functions with the embedded efficient algorithm, enabling dynamic control of the feed-in (i.e. zero injection), make the inverter suitable for worldwide applications in compliance with regulatory norms and needs of the utilities.

The future-proof and flexible design enables integration with current and future devices for smart building automation.

### Highlights

- Wireless access to the embedded Web User Interface
- Easy commissioning capability
- Future-proof with embedded connectivity for smart building and smart grid integration
- Dynamic feed-in control (for instance "zero injection")
- Remote Over The Air (OTA) firmware upgrade for inverter and components
- Modbus TCP/RTU Sunspec compliant
- Remote monitoring via Aurora Vision® cloud
- Dual input section with independent MPPT

# ABB string inverters

## UNO-DM-3.3/4.0/4.6/5.0-TL-PLUS

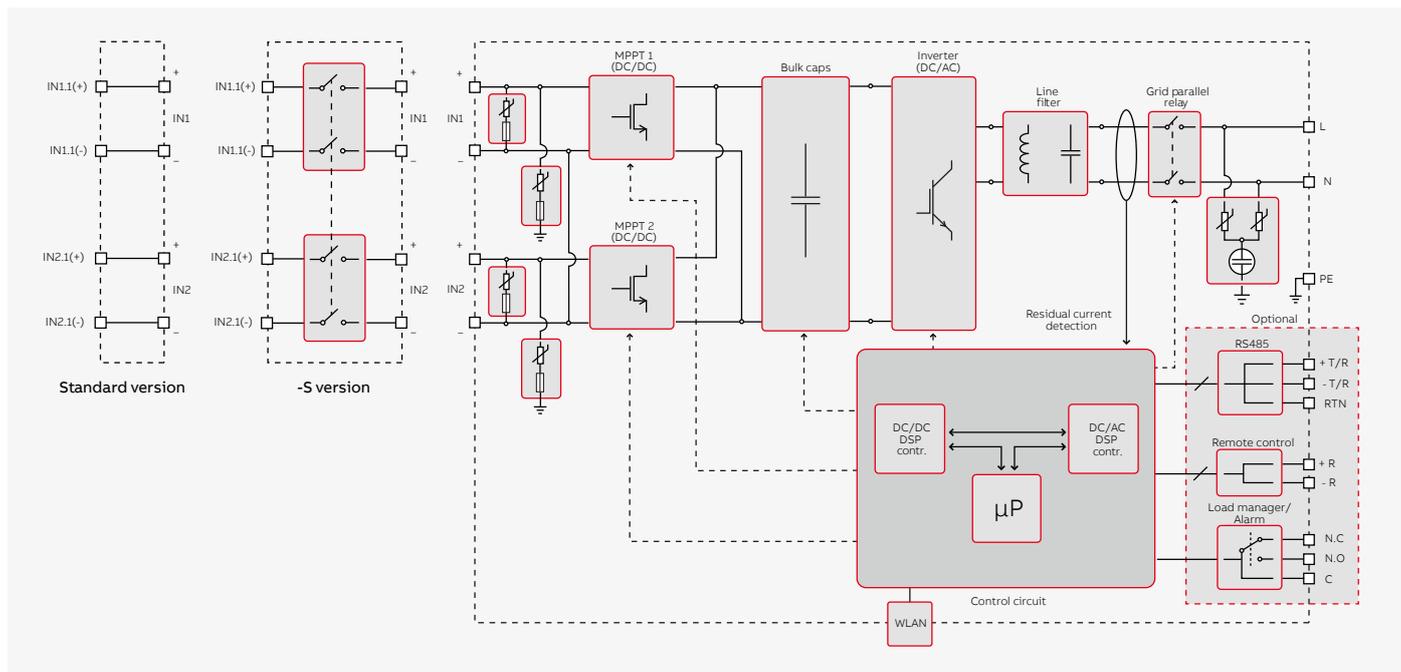
### 3.3 to 5.0 kW



#### Technical data and types

Type code	UNO-DM-3.3-TL-PLUS	UNO-DM-4.0-TL-PLUS	UNO-DM-4.6-TL-PLUS	UNO-DM-5.0-TL-PLUS
<b>Input side</b>				
Absolute maximum DC input voltage ( $V_{max,abs}$ )	600 V			
Start-up DC input voltage ( $V_{start}$ )	200 V (adj. 120...350 V)			
Operating DC input voltage range ( $V_{dcmin}...V_{dcmax}$ )	0.7 x $V_{start}...580$ V (min 90 V)			
Rated DC input voltage ( $V_{dcr}$ )	360 V			
Rated DC input power ( $P_{dcr}$ )	3500 W	4250 W	4750 W	5150 W
Number of independent MPPT	2			
Maximum DC input power for each MPPT ( $P_{MPPTmax}$ )	2000 W	3000 W	3000 W	3500 W
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at $P_{dcr}$	170...530 V	130...530 V	150...530 V	145...530 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	Linear derating from Max to Null [ $530V \leq V_{MPPT} \leq 580V$ ]			
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at $P_{dcr}$ , max unbalance example	2000 W [ $200 V \leq V_{MPPT} \leq 530 V$ ] the other channel: $P_{dcr}-2000$ W [ $112 V \leq V_{MPPT} \leq 530 V$ ]	3000 W [ $190 V \leq V_{MPPT} \leq 530 V$ ] the other channel: $P_{dcr}-3000$ W [ $90 V \leq V_{MPPT} \leq 530 V$ ]	3000 W [ $190 V \leq V_{MPPT} \leq 530 V$ ] the other channel: $P_{dcr}-3000$ W [ $90 V \leq V_{MPPT} \leq 530 V$ ]	3500 W [ $200 V \leq V_{MPPT} \leq 530 V$ ] the other channel: $P_{dcr}-3500$ W [ $90 V \leq V_{MPPT} \leq 530 V$ ]
Maximum DC input current ( $I_{dcmax}$ ) / for each MPPT ( $I_{MPPTmax}$ )	20.0 / 10.0	32.0 / 16.0 A	32.0 / 16.0 A	38.0 / 19.0 A
Maximum input short circuit current for each MPPT	12.5	20.0	20.0	22.0
Number of DC input pairs for each MPPT	1			
DC connection type <sup>1)</sup>	Quick Fit PV Connector			
<b>Input protection</b>				
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source			
Input over voltage protection for each MPPT-varistor	Yes			
Photovoltaic array isolation control	According to local standard			
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	25 A / 600 V			
<b>Output side</b>				
AC grid connection type	Single-phase			
Rated AC power ( $P_{acr}@cos\phi=1$ )	3300 W	4000 W	4600 W	5000 W
Maximum AC output power ( $P_{acmax}@cos\phi=1$ )	3300 W	4000 W <sup>2)</sup>	4600 W	5000 W
Maximum apparent power ( $S_{max}$ )	3300 VA	4000 VA <sup>2)</sup>	4600 VA	5000 VA
Rated AC grid voltage ( $V_{acr}$ )	230 V			
AC voltage range <sup>3)</sup>	180...264 V			
Maximum AC output current ( $I_{ac,max}$ )	14.5 A	17.2 A	20.0 A	22.0 A
Contributory fault current	16.0 A	19.0 A	22.0 A	24.0 A
Rated output frequency ( $f_r$ ) <sup>4)</sup>	50/60 Hz			
Output frequency range ( $f_{min}...f_{max}$ ) <sup>4)</sup>	47...53/57...63 Hz			
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, adj. $\pm 0.1 - 1$ (over/under excited)			
Total current harmonic distortion	< 3.5			
AC connection type	Female connector from panel			
<b>Output protection</b>				
Anti-islanding protection	According to local standard			
Maximum external AC overcurrent protection	20.0 A	25.0 A	25.0 A	32.0 A
Output overvoltage protection - varistor	2 (L - N / L - PE)			

ABB UNO-DM-3.3/4.0/4.6/5.0-TL-PLUS string inverter block diagram



Technical data and types

Type code	UNO-DM-3.3-TL-PLUS	UNO-DM-4.0-TL-PLUS	UNO-DM-4.6-TL-PLUS	UNO-DM-5.0-TL-PLUS
<b>Operating performance</b>				
Maximum efficiency ( $\eta_{max}$ )	97.0%	97.0%	97.0%	97.4%
Weighted efficiency (EURO/CEC)	96.5% / -	96.5% / -	96.5% / -	97.0% / -
Feed in power threshold	8 W			
Night consumption	<0.4 W			
<b>Embedded communication</b>				
Embedded communication interface <sup>5)</sup>	Wireless			
Embedded communication protocol	ModBus TCP (SunSpec)			
Commissioning tool	Web User Interface, Display, Aurora Manager Lite			
Monitoring	Plant Portfolio Manager, Plant Viewer, Plant Viewer for Mobile			
Optional board UNO-DM-COM kit	RS485 (use with meter for dynamic feed-in control), Alarm/Load manager relay, Remote ON/OFF			
Optional communication interface	ModBus RTU (SunSpec), Aurora Protocol			
Optional board UNO-DM-PLUS Ethernet COM kit	Ethernet, RS485 (use with meter for dynamic feed-in control), Alarm/Load manager relay, Remote ON/OFF			
Optional communication interface	ModBus TCP (SunSpec), ModBus RTU (SunSpec), Aurora Protocol			
Optional communication protocol				
<b>Environmental</b>				
Ambient temperature range	25...+60°C /-13...140°F with derating above 50°C/122°F	-25...+60°C /-13...140°F with derating above 50°C/122°F	-25...+60°C /-13...140°F with derating above 45°C/113°F <sup>6)</sup>	-25...+60°C /-13...140°F with derating above 45°C/113°F
Relative humidity	0...100 % condensing			
Maximum operating altitude without derating	2000 m / 6560 ft			
<b>Physical</b>				
Environmental protection rating	IP 65			
Cooling	Natural			
Dimension (H x W x D)	553 x 418 x 175 mm / 21.8" x 16.5" x 6.9"			
Weight	15 kg / 33 lbs			
Mounting system	Wall bracket			
<b>Safety</b>				
Isolation level	Transformerless			
Marking	CE, RCM			
Safety and EMC standard	IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2, AS/NZS 4777.2, EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-6-4, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12			
Grid standard (check your sales channel for availability) <sup>7)</sup>	CEI 0-21, DIN V VDE V 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, G83/2, G59/3, RD 413, ITC-BT-40, AS/NZS 4777.2, C10/11, IEC 61727, IEC 62116			
<b>Available products variants</b>				
Standard	UNO-DM-3.3-TL-PLUS-B	UNO-DM-4.0-TL-PLUS-B	UNO-DM-4.6-TL-PLUS-B	UNO-DM-5.0-TL-PLUS-B
With DC switch	UNO-DM-3.3-TL-PLUS-SB	UNO-DM-4.0-TL-PLUS-SB	UNO-DM-4.6-TL-PLUS-SB	UNO-DM-5.0-TL-PLUS-SB

<sup>1)</sup> "Refer to the document "String inverter – Product Manual appendix" available at [www.abb.com/solarinverters](http://www.abb.com/solarinverters) to know the brand and the model of the quick fit connector"

<sup>2)</sup> For UK G83/2 setting, maximum output current limited to 16 A up to a maximum output Pacr of 3600 W and a maximum apparent power of 3600 VA

<sup>3)</sup> The AC voltage range may vary depending on specific country grid standard

<sup>4)</sup> The Frequency range may vary depending on specific country grid standard;

CE is valid for 50Hz only

<sup>5)</sup> As per IEEE 802.11 b/g/n standard

<sup>6)</sup> Pacr = 4200 W @ 45°C/113°F

<sup>7)</sup> Further grid standard will be added, please refer to ABB Solar page for further details  
**Remark. Features not specifically listed in the present data sheet are not included in the product**

---

For more information please contact  
your local ABB representative or visit:

**[www.abb.com/solarinverters](http://www.abb.com/solarinverters)**  
**[www.abb.com](http://www.abb.com)**

---

We reserve the right to make technical  
changes or modify the contents of this  
document without prior notice. With  
regard to purchase orders, the agreed  
particulars shall prevail. ABB AG does not  
accept any responsibility whatsoever for  
potential errors or possible lack of  
information in this document.

We reserve all rights in this document and  
in the subject matter and illustrations  
contained therein. Any reproduction,  
disclosure to third parties or utilization of  
its contents – in whole or in parts – is  
forbidden without prior written consent of  
ABB AG. Copyright© 2017 ABB  
All rights reserved



**ANEXO C – CATÁLOGO TÉCNICO BATERIA ESTACIONÁRIA MODELO HELIAR  
FREEDOM DF4001**

# CATÁLOGO TÉCNICO BATERIA ESTACIONÁRIA

# FREEDOM<sup>®</sup>



[www.heliar.com.br](http://www.heliar.com.br)

Homologada pela



BATERIA ESTACIONÁRIA

**FREEDOM®**



**Johnson  
Controls** 

As baterias Estacionárias Freedom® são fabricadas na planta da Johnson Controls, o fabricante que mais entende de baterias no mundo.

Na cidade de Sorocaba, interior do estado de São Paulo, numa área de 600 mil metros quadrados fica localizada a fábrica da Johnson Controls no Brasil. Esta é a maior e mais moderna fábrica de baterias da América do Sul.

As baterias Estacionárias Freedom® são produzidas com alto padrão de qualidade e respeito ao meio ambiente. São homologadas pela Anatel e certificações ISO9002, ISO14000 e ISOTS16949. Todos os títulos conferem à Freedom® qualidade e confiabilidade de ordem internacional.

**FREEDOM®**

# Características Elétricas

## Principais Características Elétricas

MODELOS		DF300	DF500	DF700	DF1000	DF1500	DF2000	DF2500	DF3000	DF4001
Capacidade a 25°C (Ah)	10 h	24	30	41	54	76	94	130	156	200
	20 h	26	36	45	60	80	105	150	170	220
	100 h	30	40	50	70	93	115	165	185	240
Dimensões (mm)	Comprimento	175	175	210	244	330	330	511	511	525
	Largura	175	175	175	175	172	172	213	213	275
	Altura	175	175	175	175	240	240	230	230	250
Peso (kg)		8,8	9,7	12,5	14,7	23,9	27,1	44,6	48,3	60,3
Torque	Mínimo	9 N.m	9 N.m	9 N.m	9 N.m	13,6 N.m	13,6 N.m	9 N.m	9 N.m	9 N.m
	Máximo	11 N.m	11 N.m	11 N.m	11 N.m	20,3 N.m	20,3 N.m	11 N.m	11 N.m	11 N.m
Tensão de Flutuação						de 13,2 a 13,8 V a 25°C				
Tensão de carga / equalização						de 14,4 a 15,5 V a 25°C				
Compensação de Temperatura						para cada 1°C acima de 25°C, subtrair 0,033V para cada 1°C abaixo de 25°C, adicionar 0,033V				

## Correntes de descarga (A) em diferentes regimes a 25°C (tensão final 10,5V)

MODELO	HORAS																MINUTOS		
	100 h	20 h	10 h	9 h	8 h	7 h	6 h	5 h	4,5 h	4 h	3,5 h	3 h	2,5 h	2 h	1,5 h	1 h	45'	30'	15'
Bateria	0,3	1,3	2,4	2,6	2,9	3,3	3,8	4,4	4,9	5,4	6	7	8,2	10	12,8	18	21	25	40
DF300	0,4	1,8	3	3,3	3,7	4,2	4,9	5,8	6,2	6,8	7,6	8,6	9,9	12	15	20	25,3	33	52
DF700	0,5	2,3	4,1	4,5	5	5,6	6,5	7,5	8,2	9,2	10	11,5	13,6	16,3	21	27	32	43	65
DF1000	0,7	3	5,4	5,8	6,4	7,3	8,2	9,8	10,5	11,5	12,5	14,5	17	19	25,2	35	42,5	55	84
DF1500	0,93	4	7,6	8,2	9	10	11,5	13,2	14,5	16	18,2	21	25	29,5	38	54	69	90	130
DF2000	1,2	5,3	9,4	10,2	11,5	13	14,5	17	18,4	20,3	22,6	25	29,5	34,5	44	60	75	96	150
DF2500	1,7	7,5	13	14,4	16,2	18	20	23	25	28	31	34	40	47	58	81	99	130	200
DF3000	1,9	8,5	15,6	17	19	21,4	24,7	28	30	33	36	41	48	57	72	95	112	152	231
DF4001	2,4	11	20	21,5	24	26,5	30	35	38	41,5	46	52	60	72	90	120	145	191	290

## Capacidade em ampère-hora (Ah) a 25°C em diferentes regimes de descarga (tensão final 10,5V)

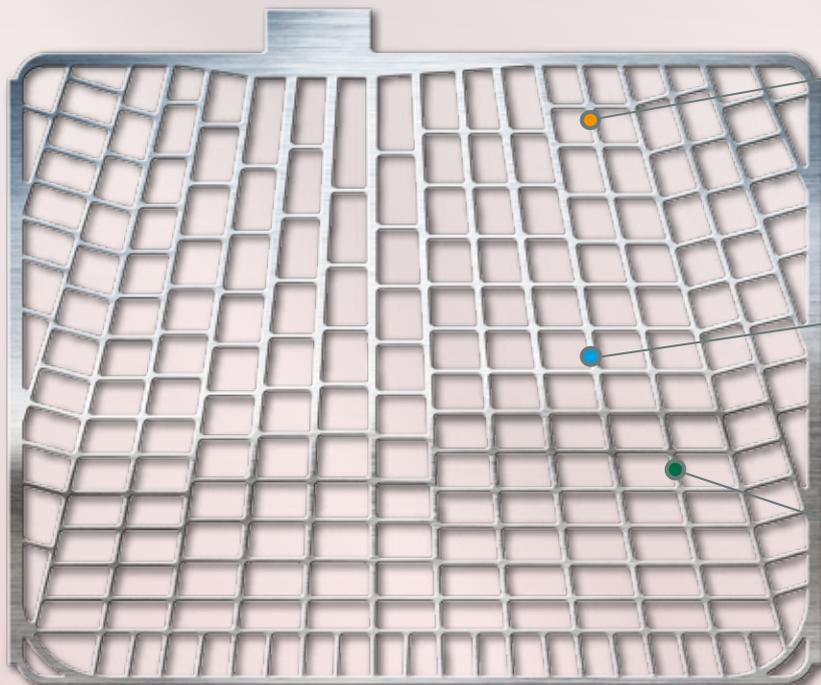
MODELO	HORAS																MINUTOS		
	100 h	20 h	10 h	9 h	8 h	7 h	6 h	5 h	4,5 h	4 h	3,5 h	3 h	2,5 h	2 h	1,5 h	1 h	45'	30'	15'
Bateria	30	26	24	23,8	23,5	23,1	22,8	22	21,9	21,6	21	21	20,5	20	19,2	18	15,8	12,5	10
DF300	40	36	30	29,9	29,8	29,7	29,4	28,8	27,7	27	26,6	25,8	24,8	24	22,5	20	19	16,5	13
DF700	50	45	41	40,5	40	39,5	39,2	37,5	37,1	36,8	35	34,5	34	32,5	31,5	27	24	21,5	16,3
DF1000	70	60	54	51,8	51,6	51,1	49,2	49	47,3	46	43,8	43,5	42,5	38	37,8	35	31,9	27,5	21
DF1500	93	80	76	73,8	72	70	69	66	65,3	64	63,7	63	62,5	59	57	54	51,8	45	32,5
DF2000	115	105	94	92	91,8	91	87	85	82,8	81,2	79,1	75	73,8	69	66	60	56,3	48	37,5
DF2500	165	150	130	129,8	129,6	126	120	115	112,5	112	108,5	102	100	94	87	81	74,3	65	50
DF3000	185	170	156	153	152	150	148,2	140	135	132	126	123	120	114	108	95	84	76	57,8
DF4001	240	220	200	193,5	192	185,5	180	175	171	166	161	156	150	144	135	120	108,8	95,5	72

## Watts-hora (Wh) a 25°C (tensão final 10,5V)

MODELO	HORAS																MINUTOS		
	100 h	20 h	10 h	9 h	8 h	7 h	6 h	5 h	4,5 h	4 h	3,5 h	3 h	2,5 h	2 h	1,5 h	1 h	45'	30'	15'
Bateria	3	16	25	28	32	35	37	45	46	47	50	65	68	75	90	125	145	175	300
DF300	5	22	36	40	43	48	53	65	67	70	75	92	95	107	130	167	200	250	510
DF700	6	29	45	51	55	62	68	84	82	85	94	118	120	135	165	210	250	300	550
DF1000	7	36	63	69	76	84	96	111	121	133	148	168	194	233	248	257	278	487	712
DF1500	10	51	94	100	113	125	140	170	185	190	205	250	255	300	342	400	492	598	960
DF2000	13	65	104	118	126	139	160	188	192	200	217	270	268	310	372	490	582	694	1200
DF2500	19	93	155	170	181	202	224	269	273	287	311	378	381	441	581	698	817	989	1638
DF3000	25	110	179	197	217	238	251	306	311	333	382	437	448	517	637	798	958	1148	1917
DF4001	28	139	217	240	264	285	315	376	381	406	441	536	547	643	768	995	1185	1424	2374

## Tecnologia

A tecnologia PowerFrame® é a maior evolução que a produção de baterias no Brasil já alcançou.



**TECNOLOGIA MUNDIAL:**  
É comprovado que nas baterias o fator que mais a desgasta é a corrosão, e a grade é o componente mais atacado pela corrosão. As novas grades da bateria Estacionária Freedom® são comprovadamente mais resistentes à corrosão, devido as grades PowerFrame®.

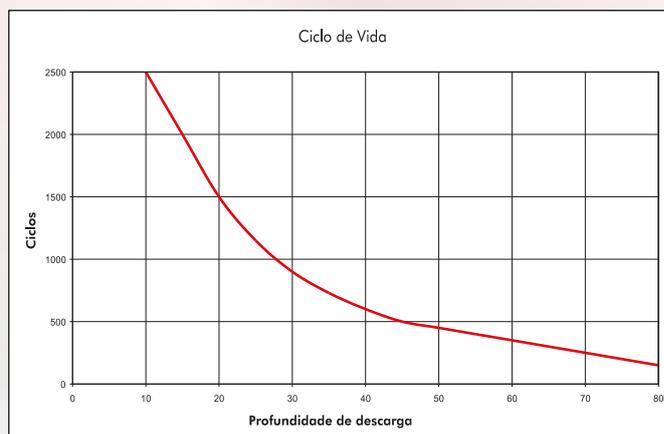
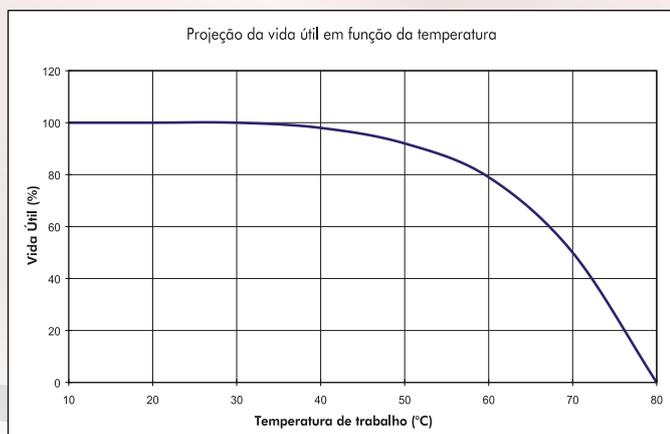
**MAIS ENERGIA E CAPACIDADE DE CICLAGEM:**  
PowerFrame® melhora a condutividade elétrica e capacidade de ciclagem porque o processo de fabricação resulta em um desenho otimizado e grades com material altamente homogêneo.

**RESPEITO AO MEIO AMBIENTE:**  
Além de melhorar a performance da bateria, a tecnologia de grades PowerFrame® é ecológica porque reduz em até 20% o uso de recursos naturais como energia elétrica.



## Vida Útil

As baterias Estacionárias Freedom® foram projetadas para uma vida útil superior a 4 anos (a uma temperatura de 25 °C e profundidade de descarga de 20%).



# FREEDOM®

## Aplicações

Este manual destina-se às aplicações em:  
Ups / No-Break, Pabx, Centrais Telefônicas, Sinalização,  
Iluminação de Emergência, Energia Solar, Energia Eólica,  
Monitoramento Remoto, Alarmes, Vigilância Eletrônica, Subestações  
Elétricas, Telecomunicações e outras.

## Características

As características de construção das baterias Estacionárias Freedom® são:

### TAMPA\*

Tampa selada com sistema de labirinto, com grande superfície interna, permite que gotículas de eletrólito originadas na carga sejam condensadas em sua superfície e retorne às respectivas células, evitando escape de eletrólito para o exterior.

### FILTRO ANTICHAMA\*

Pastilhas em material poroso que permitem o escape de gases para fora da bateria e impedem a penetração de chamas para o seu interior, que pode causar explosão.

### GRADES

Com exclusiva tecnologia PowerFrame®. Mais energia e capacidade de reciclagem porque são produzidas com precisão e material altamente homogêneo.

### ELETRÓLITO FLUIDO

Diferentemente das baterias VRLA, as baterias Freedom® têm eletrólito em forma fluida, que permite melhor dissipação térmica da bateria, conferindo vantagens em relação às baterias VRLA, que são mais sensíveis à variação de temperatura.

### SOLDA INTERCELULAR

Conexão entre elementos com área de solda 36% maior que as baterias do mercado. Permite melhor condução de corrente e melhor eficiência elétrica da bateria em processo de carga e descarga.

### SEPARADOR

Separador de polietileno microporoso de alta resistência mecânica, menor resistência elétrica, maior resistência às ações químicas do ácido, aumentando significativamente a vida útil da bateria.

### INDICADOR DE TESTE (charge eye)\*

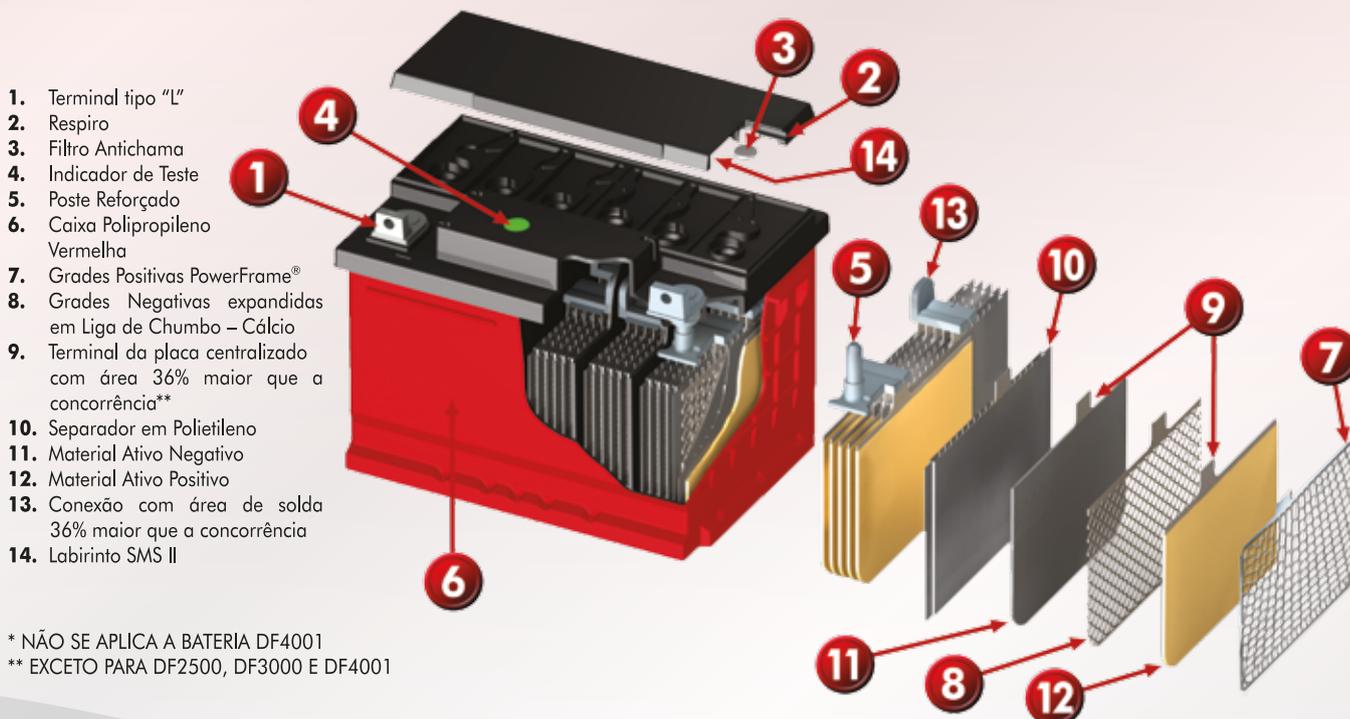
Permite imediata visualização das condições da bateria para teste, orientando seu diagnóstico:

- Indicação verde: a bateria está carregada e pode ser submetida a teste;
- Indicação escura: a bateria está descarregada e deve ser recarregada;
- Indicação clara: nível do eletrólito está baixo, esta bateria não deve ser submetida a teste e recarga, pode ter sido danificada pelo sistema de carga, exposta à temperatura elevada por um longo período de tempo ou por dano que ocasionou vazamento; a bateria deve ser substituída.

### TIPOS DE TERMINAIS

- DF300, DF500, DF700, DF1000, DF2500, DF3000, DF4001: Terminal "L", de chumbo;
- DF1500 e DF2000: rosqueados, de aço inoxidável (rosca de 3/8" 16 unc).

As baterias Estacionárias Freedom® são produzidas em fábrica certificada ISO9002, ISO14000, ISOTS16949 e Certificação na Resolução Anatel nº 379 - Homologação 1216-07-3962.



**Linha  
Completa**



DF4001



DF2500



DF3000



DF1000



DF1500



DF2000



DF300



DF500



DF700

Distribuidor Autorizado



BATERIA ESTACIONÁRIA

**FREEDOM**<sup>®</sup>

Produzido por:

**Johnson Controls - Divisão de Baterias**

Av. Independência, 2757 - Bairro Éden - Sorocaba - SP - CEP 18087-101  
SAC: 0800 16 16 44

[www.heliar.com.br](http://www.heliar.com.br)