



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

IGOR DE PAULA MAIA

**ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO EÓLICA: ESTUDO
DE CASO EM UMA EMPRESA DE LIMOEIRO DO NORTE/CE**

RUSSAS - CE
2022

IGOR DE PAULA MAIA

ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO EÓLICA: ESTUDO DE
CASO EM UMA EMPRESA DE LIMOEIRO DO NORTE/CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará – Campus Russas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Teles Viana.

RUSSAS – CE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M186a Maia, Igor de Paula.
Análise Econômica do Sistema de Microgeração Eólica : Estudo de caso em uma empresa de Limoeiro do Norte/CE / Igor de Paula Maia. – 2022.
59 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas,
Curso de Engenharia Mecânica, Russas, 2022.
Orientação: Profa. Dra. Silvia Teles Viana.

1. energia eólica . 2. fontes renováveis. 3. microgeração. 4. análise de investimento. 5. geração distribuída.
I. Título.

CDD 620.1

IGOR DE PAULA MAIA

ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO EÓLICA: ESTUDO DE
CASO EM UMA EMPRESA DE LIMOEIRO DO NORTE/CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará – Campus Russas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Silvia Teles Viana (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Camilo Augusto Santos Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Ms. Rochelly Sirremes Pinto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Irene e Washington.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus por ter me dado saúde e força para superar todos os obstáculos.

Aos meus pais, Irene e Washington, à minha irmã, Bianca Maia, à minha esposa, Vera Lúcia, à minha filha Maria e aos meus familiares e amigos, que com palavras de força e coragem me ajudaram a terminar o meu curso.

À minha orientadora Profa. Dra. Silvia Teles Viana, pela confiança, apoio e orientação na execução deste trabalho.

“A persistência é o caminho do êxito.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

Diante da necessidade dos países de reduzirem a dependência dos combustíveis fósseis para a produção de energia, não só por questões ambientais como também pela preocupação com a escassez, a energia eólica vem se tornando uma alternativa cada vez mais promissora. O Ceará é um dos estados brasileiros que apresenta alto potencial do recurso eólico e um dos que mais investe no setor. Com a normatização da geração distribuída em 2012, o consumidor passou a poder produzir sua própria energia elétrica através de fontes renováveis, mais uma forma de estimular a indústria dos recursos renováveis. Este trabalho tem como objetivo principal realizar uma análise de investimento de um sistema de microgeração eólica conectada a rede, que tem por finalidade abastecer a demanda energética de uma empresa de cultivo de camarões no município de Limoeiro do Norte-CE. A pesquisa consiste em um estudo de caso e utiliza uma metodologia quantitativa para análise dos dados coletados. Ao final da pesquisa os resultados demonstraram que o investimento era economicamente inviável, apresentando um elevado tempo de retorno, aproximando-se da vida útil dos equipamentos.

Palavras-chave: energia eólica; fontes renováveis; microgeração; análise de investimento; microgeração; geração distribuída.

ABSTRACT

Faced with the need for countries to reduce dependence on fossil fuels for energy production, not only for environmental reasons but also for concern about scarcity, wind energy has become an increasingly promising alternative. Ceará is one of the Brazilian states that has high potential for wind power and one of the states that invests the most in the sector. With the regulation of distributed generation in 2012, consumers started to be able to produce their own electricity through renewable sources, another way to stimulate the industry of renewable resources. The main objective of this work is to carry out an investment analysis of a grid-connected wind microgeneration system, which aims to supply the energy demand of a shrimp farming company in the Limoeiro do Norte city (Ceará/Brazil). The research consists of a case study and uses a quantitative methodology to analyze the collected data. At the end of the research, the results showed that the investment was economically unfeasible, with a high payback time, approaching the useful life of the equipment.

Keywords: wind energy; renewable sources; microgeneration; investment analysis; distributed generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição geral dos ventos.....	20
Figura 2 - Ruínas de um moinho de vento Persa.....	24
Figura 3 - Utilização rudimentar para bombeamento de água na China (2000 a.C.).....	24
Figura 4 - Aerogerador Bruch (1888).....	25
Figura 5 - Forças aerodinâmicas.....	27
Figura 6 - Turbina de eixo Horizontal.....	27
Figura 7 - Componentes de uma turbina eólica de eixo horizontal.....	28
Figura 8 - Turbina de eixo vertical.....	29
Figura 9 - Etapas do Processo de Produção.....	35
Figura 10 - Aerador de 2 CV.....	41
Figura 11 - Bomba D'água de 7,5 CV.....	41
Figura 12 - Aerogerador Modelo HUMMER ELV-H13.2 – 20 kW.....	42
Figura 13 - Configuração do Sistema Eólico conectado a Rede.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Participação de renováveis na matriz energética no Brasil e no mundo.....	13
Gráfico 2 - Evolução da geração eólica.....	14
Gráfico 3 - Micro e Minigeração Distribuída (MMGD)	18
Gráfico 4 - Instalações totais Onshore e Offshore.....	19
Gráfico 5 - Novas instalações.....	19
Gráfico 6 - Distribuição do coeficiente de potência C_p em função de v^2/v_1	22
Gráfico 7 - Coeficiente de potência em função da relação de velocidades e ângulo de passo.....	23
Gráfico 8 - Emissão de CO ₂ proveniente de geração elétrica.....	30
Gráfico 9 - Velocidade média do vento mensal na altura de 10m	39
Gráfico 10 - Velocidade média do vento mensal na altura de 50m	40
Gráfico 11 - Curva de Potência do Aerogerador	43
Gráfico 12 - Consumo versus Geração de Energia Elétrica	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo Energético Diário e Mensal.....	42
Tabela 2 - Especificações Técnicas do Aerogerador	44
Tabela 3 - Geração Mensal de Energia Elétrica do Sistema Eólico	46
Tabela 4 - Custo de Implementação do Sistema Eólico	48
Tabela 5 - Valor Monetário da Manutenção e Depreciação do Sistema Eólico.....	48
Tabela 6 - Valor Mensal da Conta de Energia Elétrica	49
Tabela 7 - Valores Presentes a uma Taxa de Desconto de 6,17% ao ano.	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	15
1.2	Objetivos.....	15
1.2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>15</i>
1.2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>15</i>
1.3	Metodologia.....	15
1.4	Estrutura do trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	Microgeração	17
2.2	Energia Eólica.....	18
2.2.1	<i>Recurso Eólico.....</i>	<i>20</i>
2.2.2	<i>Potencial Eólico.....</i>	<i>21</i>
2.2.3	<i>História da Energia Eólica</i>	<i>23</i>
2.2.4	<i>Tipos de Turbinas Eólicas</i>	<i>26</i>
2.2.5	<i>Meio Ambiente e Energia Eólica</i>	<i>29</i>
3	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	31
3.1	Etapas para Viabilização do Acesso.....	31
3.2	Impostos Estaduais e Federais	32
3.3	Perspectiva do Crescimento da Geração Distribuída	32
4	CARCINICULTURA.....	34
4.1	Sistema de Produção em Geral	34
5	FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO	36
5.1	Payback	36
5.2	VPL – Valor Presente Líquido.....	36
6	ESTUDO DE CASO.....	38
6.1	Localização.....	38
6.2	Potencial Eólico na região de Limoeiro do Norte-CE	38
6.3	Consumo Energético	40
6.4	Aerogerador	42
6.5	Cálculo da Potência do sistema eólico	45
6.6	Geração Mensal de Energia Elétrica	45
6.7	Análise de Viabilidade Econômica	47

6.7.1	<i>Custo de Implementação do Sistema Eólico</i>	47
6.7.2	<i>Conta de Energia Elétrica</i>	48
6.7.3	<i>Método – Payback</i>	49
6.7.3.1	<i>Resultados</i>	50
6.7.4	<i>Método – Valor Presente Líquido (VPL)</i>	50
6.7.4.1	<i>Resultados</i>	53
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54

1 INTRODUÇÃO

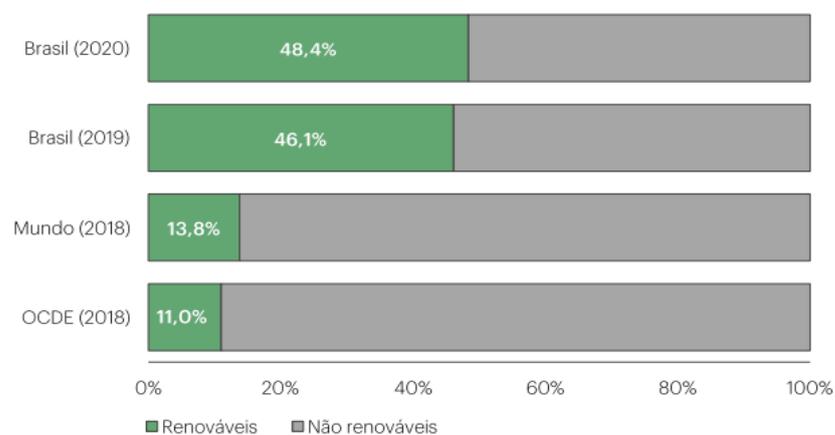
A energia está presente de forma fundamental em nossas vidas. Ela pode ser encontrada em forma de energia nuclear, química, elétrica, térmica, mecânica ou magnética. As fontes primárias de energia podem ser divididas em dois grandes grupos, renováveis e não renováveis (AQUINO et al, 2015).

Dentre as fontes não renováveis encontra-se o petróleo que é um combustível fóssil que apresenta grande potencial energético, grande parte da produção da energia mundial é baseada nesse combustível. Porém a sua exploração e utilização causam diversos impactos ambientais, tais como: aumento das emissões de gases do efeito estufa, morte de animais, além de comprometer a qualidade do ar, solo e das águas (MARTINS et al, 2015).

Devido ao baixo preço do petróleo e construção de usinas hidrelétricas e termelétricas, até a década de 1970, os projetos de pesquisa em torno de outras fontes de energia não tiveram muito estímulo. Nos anos seguintes a década de 70, a escassez de combustíveis fósseis, sua concentração em poucos países e as preocupações ambientais foram fatores que fizeram com que as políticas energéticas necessitassem ser revisadas, dando início à busca por fontes alternativas de energia que pudessem suprir esta escassez (RAMOS, 2016).

O Brasil vem buscando soluções para diminuir a dependência da energia gerada usando combustíveis fósseis. Conforme apresenta o Gráfico 1, houve um aumento da participação das fontes renováveis na matriz energética nacional.

Gráfico 1 - Participação de renováveis na matriz energética no Brasil e no mundo

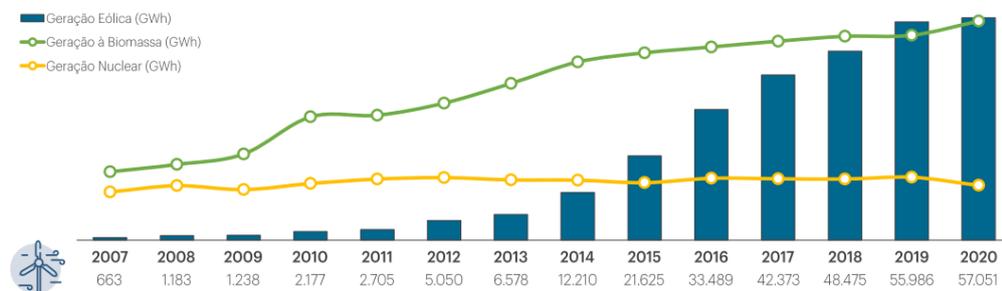


Fonte: EPE, 2021.

A energia eólica tem demonstrado um crescimento muito elevado ao longo dos anos, tem contribuído bastante, juntamente com outras energias renováveis, para o desenvolvimento e preservação do planeta.

A produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 57.051 GWh em 2020, cerca de 1065 GWh em relação a 2019, ultrapassando a geração nuclear em 2015 e a geração à biomassa em 2019, consolidando a liderança entre as três fontes (EPE, 2021), conforme mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2 - Evolução da geração eólica



Fonte: EPE, 2021

A produção de energia eólica não ocorre apenas através dos grandes parques eólicos, atualmente a microprodução de energia eólica através dos aerogeradores de pequeno porte tem se tornado uma realidade no Brasil. A microgeração de energia elétrica por fontes renováveis é mais popular no meio acadêmico e empresarial, a população brasileira não tem muito conhecimento sobre esse tipo de geração devido à falta de incentivo financeiro e político para sua implementação.

Todavia esse cenário de desinteresse vem sendo modificado. Em 17 de abril de 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANNEE) aprovou a Resolução Normativa N° 482 que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. A aprovação dessa resolução foi um passo importante para o desenvolvimento da consciência socioambiental.

Este trabalho objetiva apresentar os principais aspectos dos sistemas de microgeração e da energia eólica e fazer um estudo a respeito da viabilidade de implementar este tipo de geração em uma empresa de criação de camarões.

1.1 Justificativa

Este trabalho se justifica, pois aborda vários pontos importantes do cenário energético da atualidade, tais como: Fontes alternativas de energia; Microgeração de energia; Geração Distribuída e Eficiência energética.

O trabalho demonstra aos investidores do setor das renováveis que com ferramentas simples de matemática financeira é possível fazer uma análise de investimento de qualidade e confiança.

Portanto, fornece material de estudo para incentivar o crescimento da microgeração de energia elétrica no Brasil.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como principal objetivo analisar a viabilidade econômica para implementar geração distribuída com sistema eólico em uma unidade consumidora relacionada à carcinicultura.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos consistem em:

- Apresentar os principais aspectos dos sistemas de microgeração e da energia eólica.
- Conceituar Geração Distribuída
- Fazer a análise de viabilidade econômica de um sistema de microgeração de energia eólica

1.3 Metodologia

O Presente trabalho tem caráter descritivo, onde dados coletados serão analisados juntamente com informações já existentes no mercado com o objetivo de gerar resultados para tomada de decisões. Uma característica desse tipo de pesquisa é o princípio da naturalidade, que implica no estudo dos fatos em seu modo natural, que dizer: sem influências.

O trabalho está baseado em fontes secundárias, dentre as quais: trabalhos acadêmicos, artigos científicos, com ênfase no autor Ricardo Marques Dutra, conteúdos online e em documentos oficiais da Agência Nacional de Energia Elétrica. Em fontes primárias que

consistiram em entrevista livre e visita a propriedade onde foi feita a simulação da instalação do sistema de microgeração de energia eólica, com a finalidade de obter maiores informações sobre o consumo energético e dados relacionados à qualidade do vento no local.

Será feita uma análise quantitativa dos dados coletados, com o auxílio de ferramentas de engenharia econômica, para saber o retorno do investimento e a viabilidade de aplicar um sistema de microgeração eólica para abastecimento do empreendimento.

1.4 Estrutura do trabalho

No Capítulo 1 é apresentada a Introdução contendo os objetivos gerais e específicos, a metodologia e a estruturação geral do trabalho.

No Capítulo 2 é feita a fundamentação teórica a respeito da Microgeração e dos principais aspectos da Energia Eólica.

No Capítulo 3 é apresentado o conceito de Geração Distribuída, vantagens, desvantagens e perspectiva do cenário de implementação.

O Capítulo 4 apresenta uma explanação geral sobre a atividade da carcinicultura.

No capítulo 5 é apresentadas as ferramentas de análise econômica utilizadas no presente trabalho.

Já no Capítulo 6 descreve-se o estudo de caso a respeito da viabilidade econômica de implementar um sistema eólico em uma unidade consumidora relacionada à carcinicultura e os resultados.

Por fim, no Capítulo 7, as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Microgeração

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a microgeração distribuída consiste na central geradora com potência instalada menor ou igual a 75KW e que utilize geração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica. Através de um medidor bidirecional é possível aferir a energia elétrica ativa consumida e a energia elétrica ativa gerada por unidade consumidora, permitindo que o excedente possa ser injetado na rede da distribuidora por meio de empréstimo gratuito, gerando um crédito que pode posteriormente ser utilizado.

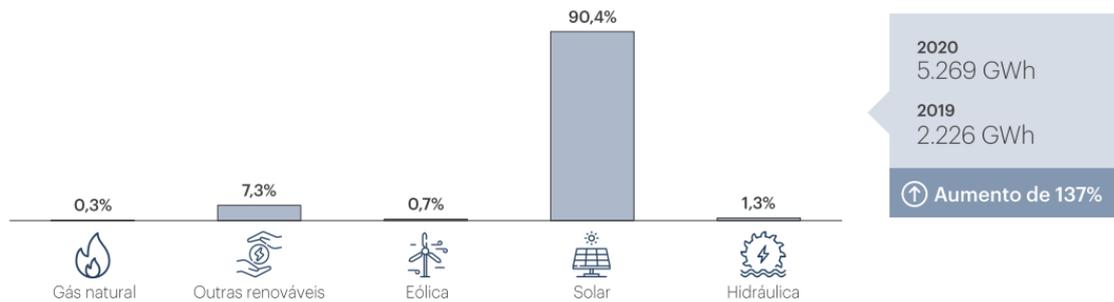
Além do mais, segundo a ANEEL, ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será necessário pagar o valor referente ao custo de disponibilidade - valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50kWh (bifásico) ou 100kWh (trifásico). Esses valores são referentes aos consumidores de baixa tensão. Para os consumidores de alta tensão será devida apenas a parcela da fatura correspondente à demanda contratada.

A microgeração e minigeração distribuída de energia elétrica já estão consolidadas em alguns países europeus há mais de 20 anos, assumindo, a cada dia, um novo papel no setor elétrico, passando de uma atividade centralizada e de exclusividade de grandes e médios grupos empresariais para uma atividade cada vez mais democrática e acessível a todos os indivíduos (URSAIA, 2016).

A geração distribuída de energia, baseada em fontes renováveis, como solar, eólica, biomassa e biogás já é uma realidade em vários países de primeiro mundo, como é o caso da Dinamarca. A legislação escandinava prevê a utilização de energia renovável como prioridade, devido à segurança energética e combate as mudanças climáticas, incentivando os consumidores a produzirem a sua própria energia.

No Brasil o cenário da micro e minigeração distribuída apresentou, em 2020, um significativo aumento de 137% em relação a 2019, sendo a energia solar a principal responsável por esse expressivo aumento neste segmento de geração, conforme mostram os dados do Gráfico 3:

Gráfico 3 - Micro e Minigeração Distribuída (MMGD)



Fonte: EPE, 2021

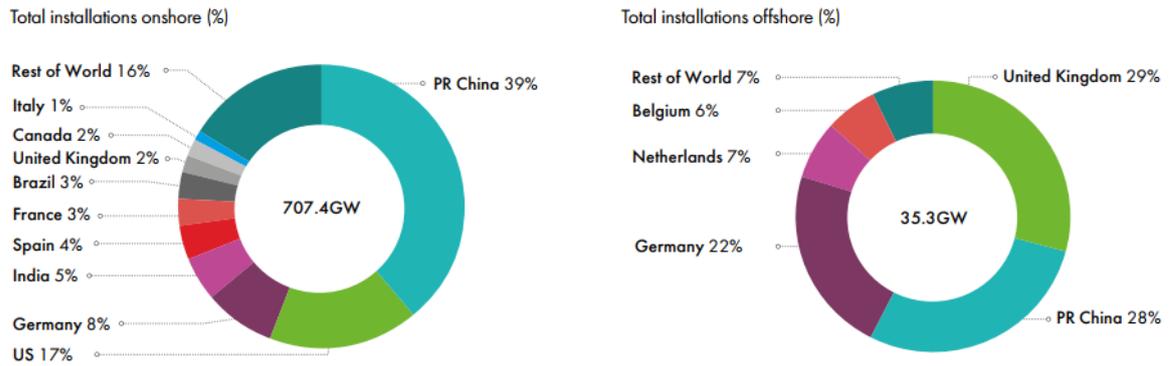
2.2 Energia Eólica

A energia eólica é aquela obtida a partir da força do vento. Ao utilizar um aerogerador é possível transformar energia cinética das correntes de ar em energia elétrica. O processo de extração é realizado principalmente graças ao rotor (que transforma a energia cinética em energia mecânica) e ao gerador (que transforma a energia mecânica em elétrica). (IBERDROLA, 2021).

O cenário atual da energia eólica é muito promissor, vários países estão investindo em políticas que incentivam sua expansão, principalmente os governos que se preocupam com o meio ambiente e com a produção de energia a partir de fontes renováveis.

De acordo com o Gráfico 4, a capacidade de energia eólica mundial atingiu em 2020 o valor de aproximadamente 743 GW, 707.4 GW em aplicações Onshore (parques de geração em que as turbinas estão localizadas em terra) e 35.3 GW em Offshore (estruturas montadas no mar, aproveitando-se da alta velocidade do vento nesses locais para a produção de energia). Desses 707.4 GW produzidos em parques Onshore, o Brasil tem 3% de participação (GWEC, 2021).

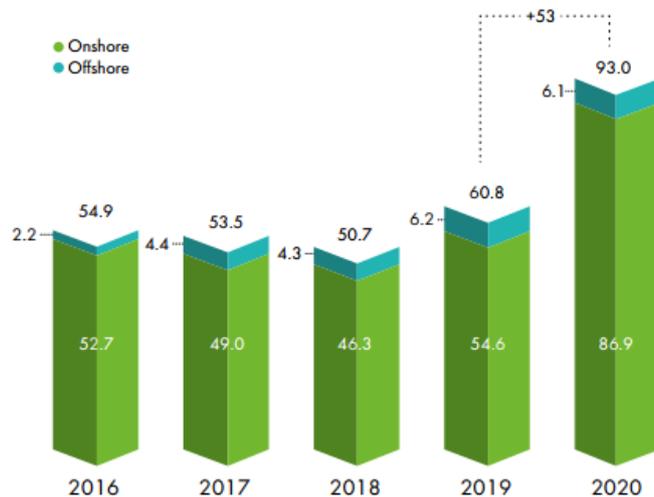
Gráfico 4 - Instalações totais Onshore e Offshore



Fonte: GWEC, 2021

A indústria global eólica atingiu no ano de 2020 um recorde de 93 GW de nova capacidade instalada (Gráfico 5), que corresponde a um aumento de 53% em relação ao ano anterior. China e Estados Unidos (os dois maiores mercados de energia eólica do mundo) instalaram quase 75 % dos novos parques em 2020 e os dois juntos produzem mais da metade da energia eólica mundial (GWEC, 2021).

Gráfico 5 - Novas instalações



Fonte: GWEC, 2021

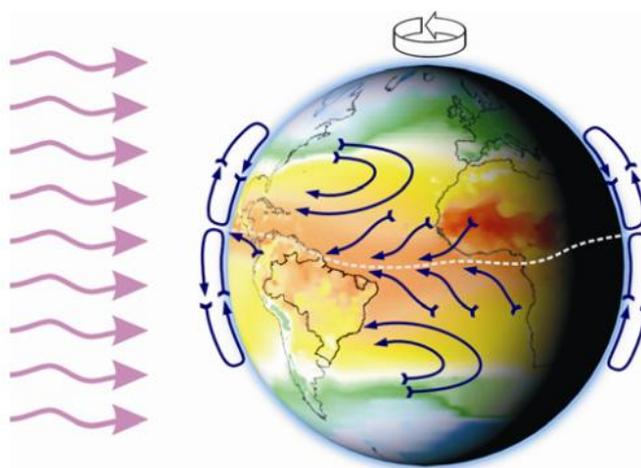
Além da construção de grandes parques eólicos, existe também, nos dias de hoje, a possibilidade de um usuário comum, através de aerogeradores de pequeno porte, produzir sua própria energia (microgeração de energia), e então diminuir sua dependência em relação às concessionárias.

2.2.1 Recurso Eólico

Os ventos são causados por diferenças de pressão ao longo da superfície terrestre. Essas diferenças se devem ao fato de que a radiação solar recebida na terra é maior nas regiões tropicais que nas polares. A origem do vento é, portanto, a radiação solar.

As regiões tropicais, que recebem os raios solares quase que perpendicularmente, são mais aquecidas do que as regiões polares. Como consequência o ar quente, que se encontra nas menores altitudes das regiões tropicais, tende a subir para os polos, sendo substituído por uma massa de ar frio que se desloca das regiões polares. Esse deslocamento de massas de ar determina a formação dos ventos (DUTRA, 2008).

Figura 1 - Distribuição geral dos ventos



Fonte: CEPTEL, 2001

Existem também ventos que são originados por outros fatores, são os denominados ventos locais. Os mecanismos que os formam são resultantes das condições locais, que os tornam bastante singulares. A mais conhecida manifestação local dos ventos é observada nos vales e montanhas. Durante o dia, o ar quente nas encostas da montanha se eleva e o ar mais frio desce sobre o vale para substituir o ar que subiu (DUTRA, 2007).

Fatores regionais devem ser analisados quando se for avaliar o local no qual se deseja instalar aerogeradores, tendo em vista que a velocidade do vento pode variar significativamente em curtas distâncias. Os principais fatores que influenciam no regime dos ventos são: relevo (que pode causar efeito de aceleração ou desaceleração no escoamento), rugosidade (que esta relacionada à vegetação e construções no entorno) e altura da turbina

eólica.

Os dados necessários para o levantamento das condições regionais podem ser obtidos a partir de uma visita ao local onde será possível avaliar e modelar a rugosidade e os obstáculos (DUTRA, 2007).

Uma avaliação correta do potencial eólico com vista à produção de energia elétrica tem que se basear em medidas de vento efetuadas especificamente para esse efeito. Segundo Castro (2009) uma das principais etapas na seleção de potenciais locais está em aplicar algumas regras básicas: topos de montanhas são, em geral, locais muito ventosos; os planaltos e as planícies elevadas podem ser locais com bastante vento; os vales são normalmente locais com menos vento, mas às vezes ocorrem efeitos de concentração local.

2.2.2 *Potencial Eólico*

Podemos definir a energia cinética de uma massa de ar m em movimento a uma velocidade v como:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

A energia disponível para uma turbina eólica é a energia cinética associada a uma coluna de ar que se desloca a uma velocidade uniforme e constante v (m/s). A potência disponível no vento está relacionada à energia disponível por unidade de tempo.

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

Considerando que o volume V é a área A de um círculo varrido pelas pás da turbina vezes o comprimento L :

$$\frac{dV}{dT} = A \cdot \frac{dL}{dT} = A \cdot v \quad (3)$$

Dessas relações podemos extrair que a Potência Eólica disponível (P_{disp}) é:

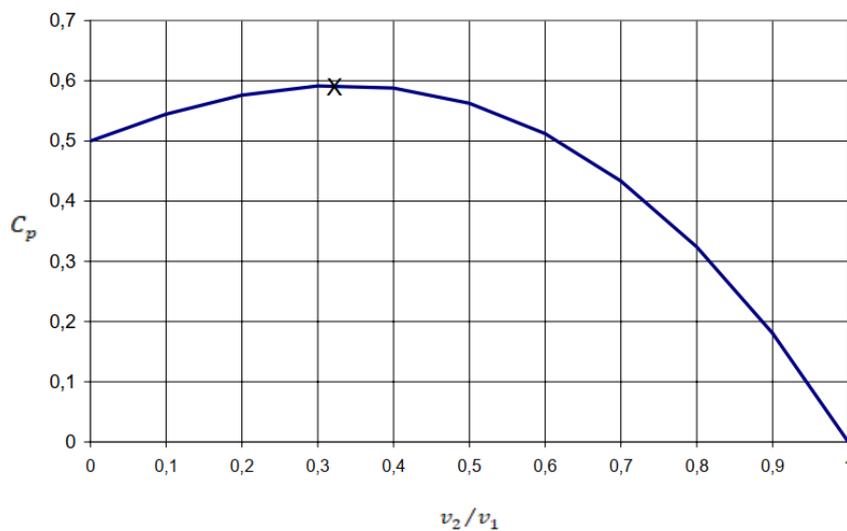
$$P_{disp} = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot v^3 \quad (4)$$

Esta potência não pode ser integralmente convertida em potência mecânica, uma vez

que o ar, depois de atravessar o plano das pás, tem de sair com velocidade não nula. O físico alemão Albert Betz chegou a um coeficiente de potência (C_p) que demonstra um máximo teórico para o rendimento da conversão eólica-mecânica: o seu valor é 59,3%, e é conhecido por Limite de Betz (CASTRO, 2009).

O Gráfico 6 representa a variação do coeficiente de potência (C_p) em função das velocidades de entrada (v_1) e de saída (v_2) do vento que passa pelas pás da turbina eólica.

Gráfico 6 - Distribuição do coeficiente de potência C_p em função de v_2/v_1



Fonte: CASTRO, 2009

Ou seja, o máximo de potência extraída do vento se verifica quando v_2 é aproximadamente igual a $\frac{1}{3}v_1$.

A potência mecânica produzida por uma turbina eólica depende da velocidade do vento (v) que é medida em metros por segundo e da velocidade de rotação na ponta da pá (ω) em radianos por segundo. A relação de velocidades (λ) é justamente o parâmetro adimensional que relaciona essas duas grandezas:

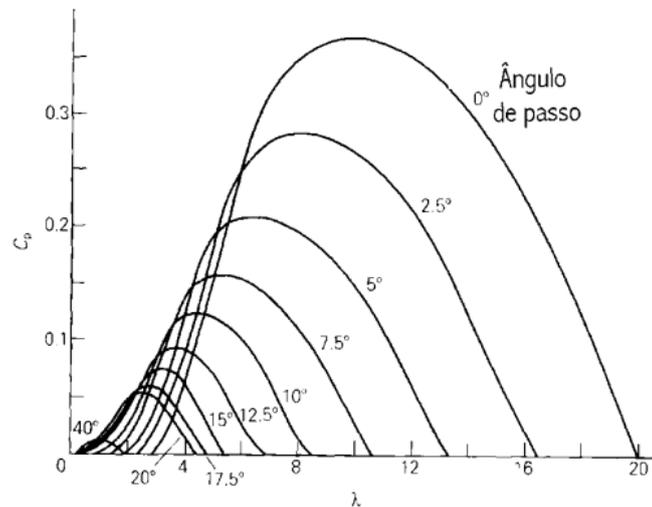
$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{v} \quad (5)$$

Onde R é o raio do rotor eólico.

Ao relacionarmos o coeficiente de potência (C_p), a relação de velocidades (λ) e o ângulo de passo (β), é possível fazer uma análise em termos de máxima eficiência e de faixa

de velocidades rotacionais, conforme o Gráfico 7:

Gráfico 7 - Coeficiente de potência em função da relação de velocidades e ângulo de passo



Fonte: SILVA, 2013

Se houver um aumento do ângulo de passo (β), ocorre um aumento da força de arraste e consequente diminuição da potência da turbina. As turbinas eólicas modernas apresentam um mecanismo de variação do ângulo de passo, a fim de controlar a velocidade e, portanto, regular a potência gerada (SILVA, 2013).

Como foi visto a potência que vai ser extraída do vento depende não só da energia cinética disponível como também das características operacionais da turbina. Dessa forma a potência de saída de um sistema eólico pode ser expressa por:

$$P_{saída} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot Cp(\lambda, \beta) \quad (6)$$

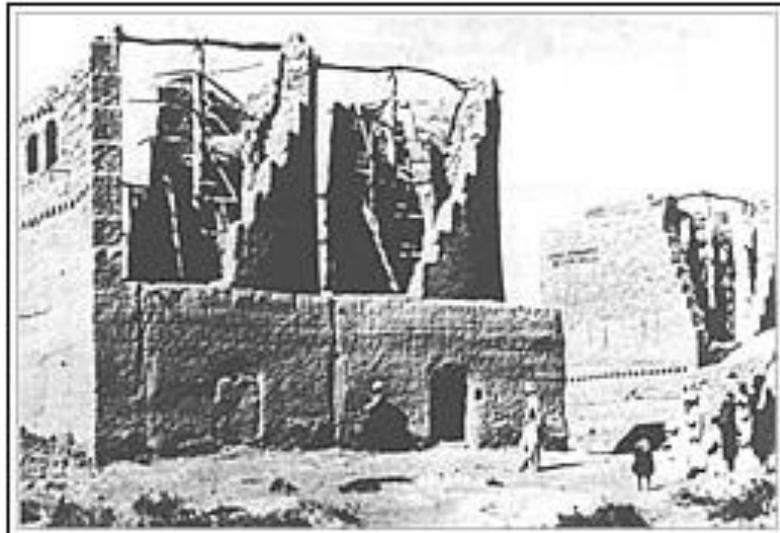
2.2.3 História da Energia Eólica

O homem utiliza a energia proveniente do movimento do vento nos seus engenhos desde os primórdios da civilização (LOPEZ, 2002). Com o desenvolvimento da agricultura, tarefas como moer grãos e bombear água exigiam determinado esforço braçal e animal, isso levou ao desenvolvimento de uma forma primitiva de moinho (DUTRA, 2008).

O primeiro registro histórico da utilização da energia eólica para bombeamento de

água e moagem de grãos através de moinhos de vento é proveniente da Pérsia (Figura 2), por volta de 200 a.C. (DUTRA, 2008). O sistema consistia em converter a energia do vento em energia mecânica.

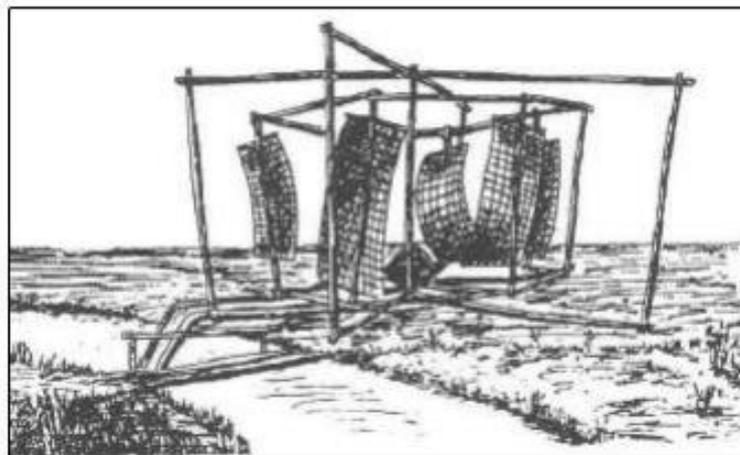
Figura 2 - Ruínas de um moinho de vento Persa



Fonte: DUTRA, 2012

Acredita-se que antes da invenção dos moinhos de vento na Pérsia, a China (por volta de 2000 a.C.) e o Império Babilônico (por volta 1700 a.C) também utilizavam cata-ventos rústicos para irrigação, como mostrado da Figura 3:

Figura 3 - Utilização rudimentar para bombeamento de água na China (2000 a.C.)

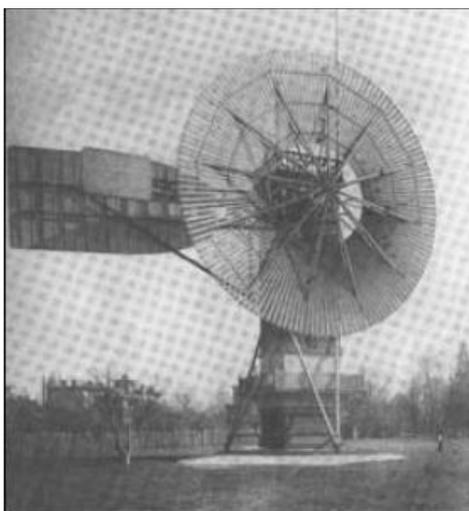


Fonte: DUTRA, 2012

Na Europa, entre os séculos XVII e XIX, após as cruzadas, houve o desenvolvimento e utilização dos moinhos para bombeamento na Holanda e diversificação do seu uso em toda a Europa. Porém, com o surgimento da máquina a vapor, durante a Revolução Industrial, a utilização dos moinhos começou a entrar em declínio, a mudança nos processos de produção nesta época provocou a utilização em massa de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo, gás natural, etc.), caracterizados pelo alto teor energético e facilidade de transporte (CUNHA et al, 2019).

Contudo, no final do século XIX, no ano de 1888, foi erguido o primeiro cata-vento destinado à geração de energia elétrica na cidade de Cleveland, Ohio, pelo Americano Charles F. Brush. Esse aerogerador fornecia 12kW em corrente contínua para carregamento de baterias, as quais eram destinadas, sobretudo, para o fornecimento de energia para 350 lâmpadas incandescentes (DUTRA, 2008).

Figura 4 - Aerogerador Brush (1888)



Fonte: DUTRA, 2012

O desenvolvimento de aerogeradores em escala comercial, contudo, só foi possível cerca de um século depois, em decorrência da crise do petróleo nos anos 70 e da preocupação com as mudanças climáticas intensificadas pelo uso dos combustíveis fósseis (CUNHA et al, 2019). Nesse novo cenário os investimentos no setor eólico voltam a ser atrativos e a ganhar espaço no mercado mundial de energia até os dias de hoje.

2.2.4 Tipos de Turbinas Eólicas

Existem no mercado, atualmente, diversos tipos de aerogeradores. Quando estamos falando de turbinas eólicas de grande porte, a maioria esmagadora são máquinas tripás de eixo horizontal, porém há modelos monopás, bipás, quadripás e multipás de eixo horizontal. Já os dispositivos de eixo vertical são normalmente utilizados em aplicações que demandam menores potências.

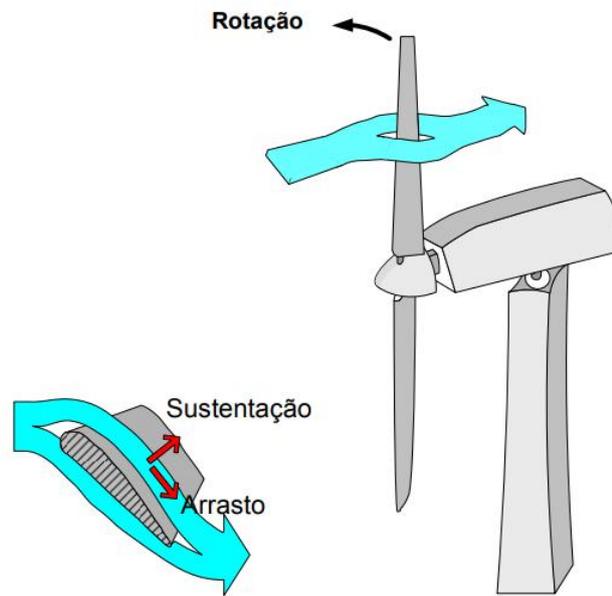
De acordo com a legislação da ANEEL as turbinas eólicas são classificadas em três faixas de acordo com sua potência nominal, sendo elas:

- Pequena - potência nominal menor que 500kW;
- Média - potência nominal entre 500kW a 1.000kW;
- Grande - potência nominal maior que 1MW.

Os rotores de eixo horizontal são movidos por forças aerodinâmicas chamadas de forças de sustentação e forças de arrasto. A resultante dessas forças produz o torque da turbina eólica. Um corpo que obstrui o movimento do vento sofre a ação de forças que atuam perpendicularmente ao escoamento (forças de sustentação) e de forças que atuam na direção do escoamento (forças de arrasto). Ambas são proporcionais ao quadrado da velocidade relativa do vento (DUTRA, 2007).

Na Figura 5 são ilustrados os dois tipos de forças aerodinâmicas (arraste e sustentação) que podem ocorrer no rotor de uma turbina eólica.

Figura 5 - Forças aerodinâmicas



Fonte: ROCHA, 2008

Os rotores de eixo horizontal são predominantemente movidos por forças de sustentação. Os mais utilizados para geração de energia elétrica são os de eixo horizontal do tipo hélice, normalmente composto por três pás.

Figura 6 - Turbina de eixo Horizontal

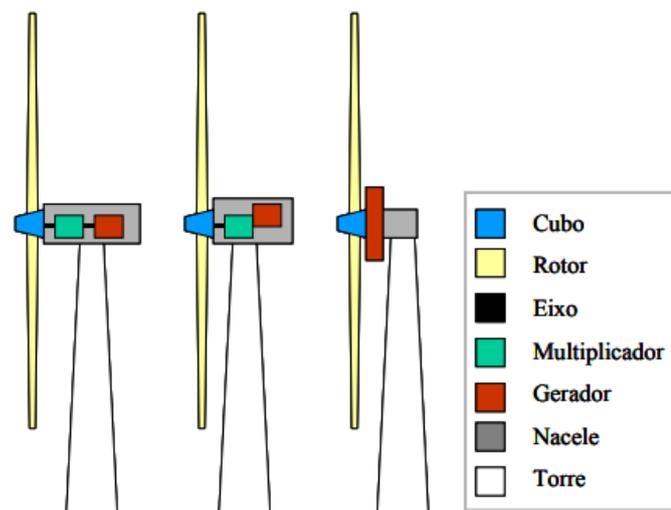


DUTRA, 2007

Os aerogeradores de eixo horizontal são compostos basicamente pelos seguintes subconjuntos:

- Rotor - No rotor são fixadas as pás da turbina, todo o conjunto é então conectado a um eixo que transmite a rotação das pás para o gerador, muitas vezes através de uma caixa multiplicadora.
- Nacele - é o compartimento no alto da torre e que guarda todo o mecanismo do gerador.
- Torre - é o elemento que sustenta o rotor e a nacela na altura adequada ao funcionamento da turbina eólica.

Figura 7 - Componentes de uma turbina eólica de eixo horizontal



Fonte: DUTRA, 2007

As turbinas de eixo vertical têm o eixo de rotação perpendicular em relação ao solo e ao sentido em que o vento se desloca. Elas são usadas principalmente por ter um melhor comportamento em ventos turbulentos e baixas emissões de ruídos em comparação às turbinas eólicas de eixo horizontal, possuindo diversas vantagens, como o fato de funcionarem independentemente da direção que se encontra o vento e a possibilidade de se instalar a caixa multiplicadora e o gerador na base da torre, facilitando sua manutenção (PAIVA, 2016)

As principais desvantagens em comparação com as de eixo horizontal são: menor desempenho; as torres de sustentação são baixas, diminuindo o aproveitamento de maiores

velocidades do vento, cargas aerodinâmicas cíclicas, aumentando assim a fadiga (PAIVA, 2016)

Os principais tipos de rotores de eixo vertical são Darrieus, Savonius e turbinas com torre de vórtices. Os rotores do tipo Darrieus são movidos por forças de sustentação e constituem-se de lâminas curvas (duas ou três) de perfil aerodinâmico, atadas pelas duas pontas ao eixo vertical. Possuem esforços severos sobre as pás, frenagem complexa e não são turbinas comerciais.

Já os do tipo Savonius predomina as forças de arrasto, possui baixa eficiência ($C_{pm\acute{a}x} = 10\%$), simples construção e consideradas inadequadas para geração de eletricidade.

Figura 8 - Turbina de eixo vertical



Fonte: DUTRA, 2007

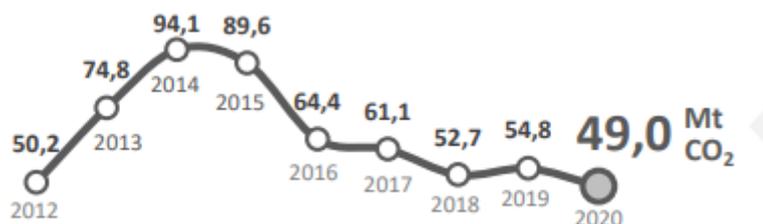
2.2.5 Meio Ambiente e Energia Eólica

Quando o assunto é produção de energia através de geradores eólicos, o impacto ambiental causado pela produção de CO_2 é quase desprezível, levando em conta apenas as baixas taxas geradas na produção e instalação de aerogeradores. Em 2019, a energia eólica economizou 118 milhões de toneladas de CO_2 na Europa e poderia economizar até 270 milhões de toneladas em 2030 - o equivalente às emissões anuais de CO_2 da Espanha (EWEA, 2021).

Conforme mostra o Gráfico 8, houve no Brasil uma redução de mais de 10% nas emissões de CO_2 em 2020 quando comparado com o ano de 2019, e muito se deve ao

crescimento de fontes como a eólica e a solar.

Gráfico 8 - Emissão de CO₂ proveniente de geração elétrica



Fonte: EPE, 2021

Outra característica favorável dessa tecnologia energética é não necessitar de água como elemento motriz ou mesmo como fluido de refrigeração, além de não produzir lixo radioativo.

Porém, características desfavoráveis ao meio ambiente também estão relacionadas à utilização da energia eólica, principalmente quando estamos falando de grandes parques eólicos, tais como: impacto visual, ruídos e impactos sobre a fauna.

O aspecto visual costuma causar opiniões divergentes. Alguns recebem muito bem as turbinas eólicas por relacionar elas à ideia de energia limpa e preservação do meio ambiente, em contrapartida, há também comentários negativos.

Existem, basicamente, dois tipos de ruídos causados pelos aerogeradores: o mecânico que está relacionado à caixa de velocidades (responsável por multiplicar a rotação das pás) e motores auxiliares; e o aerodinâmico que está diretamente ligado ao movimento das pás no ar (CASTRO, 2009). Há muitos aspectos a serem analisados e testados com o fito de reduzir ruídos aerodinâmicos. A escolha de um local para instalação de um parque eólico deve levar em consideração todos esses fatores.

Em relação aos impactos sobre a fauna, algumas considerações também precisam ser feitas. No início da utilização dos aerogeradores não se imaginou o impacto que eles causariam no fenômeno de migração das aves e o resultado foi a ocorrência de acidentes e a morte de algumas espécies. Mas o que se foi observado é que outros fenômenos como o tráfego de veículos e a colisão com torres de alta voltagem e janelas de edifícios possuem uma taxa de mortalidade de aves maior que as mortes por parque eólico.

3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Pode-se definir geração distribuída como a produção de energia elétrica através de centrais geradoras, normalmente utilizando fontes renováveis, situados junto ou nas proximidades do consumidor. A geração distribuída é uma solução alternativa à geração centralizada de energia, e pode ser a chave para solucionar vários problemas de fornecimento de energia que as companhias do setor energético enfrentam.

Muitos benefícios estão associados a esse sistema, nesse cenário destacam-se a postergação de investimento em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão, diversificação da matriz energética com aumento das renováveis, baixo impacto ambiental e melhoria do nível de tensão na rede no período de carga pesada (VIEIRA et al, 2016). Além de todos os benefícios já citados, há também uma redução das perdas elétricas associadas ao transporte da energia e menor investimento para reforçar o sistema de rede.

Porém, segundo Vieira et al, 2016, algumas dificuldades são encontradas no aumento de pequenas unidades geradoras, tais como: o aumento da complexidade de operação na rede de distribuição, dificuldade na cobrança pelo uso do sistema elétrico e a necessidade de adequação das distribuidoras para operar, controlar e proteger suas redes.

3.1 Etapas para Viabilização do Acesso

A central geradora classificada como microgeração necessita, obrigatoriamente, passar pelas etapas de solicitação de acesso e parecer de acesso.

A solicitação de acesso é o requerimento formulado pelo acessante (consumidor ou central geradora com instalações que se conectam ao sistema de distribuição), e que, uma vez entregue à acessada (distribuidora detentora das instalações às quais o acessante conecta suas instalações próprias), implica a prioridade de atendimento de acordo com a ordem cronológica do protocolo.

A distribuidora deve disponibilizar em sua página na internet os modelos de formulário de solicitação de acesso para microgeração e minigerção distribuída, contendo a relação das informações que o acessante deve apresentar na solicitação de acesso.

Em resposta a solicitação, a distribuidora deve emitir o parecer de acesso, que é um documento formal obrigatório apresentado pela acessada, sem ônus para o acessante, em que são informadas as condições de acesso e os requisitos técnicos que permitam a conexão das instalações do acessante com os respectivos prazos. É de responsabilidade da distribuidora a

realização de todos os estudos para a integração de microgeração, sem ônus ao acessante.

Após a emissão do parecer de acesso é realizada a compra e instalação do gerador e solicitada a vistoria pelo acessante. Feita a vistoria é produzido o relatório com as pendências a serem resolvidas e por fim é aprovado o ponto, coloca-se o sistema de medição adequado e inicia-se o sistema de compensação. É de responsabilidade da acessada adquirir e instalar o sistema de medição, sem custos para o consumidor no caso de microgeração distribuída, assim como pela sua operação e manutenção (VIEIRA et al, 2016).

3.2 Impostos Estaduais e Federais

Não está entre as competências da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a cobrança dos tributos e impostos Federais e Estaduais, essa matéria é reservada à Receita Federal e às Secretárias de Fazenda Estaduais.

O ICMS (Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços) é um tributo Estadual aplicável à energia elétrica. Em relação à microgeração distribuída, após interações da ANEEL com o Ministério da Fazenda, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Ministério de Minas e Energia e com o Congresso Nacional, o Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) publicou o Convênio ICMS 16, de 22/4/2015, que autorizou as unidades federadas a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o sistema de compensação de energia. Dessa forma, aos Estados que aderirem, o ICMS incide somente sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede (VIEIRA et al, 2016).

Essa forma de cobrança tributária é mais uma forma de estimular o consumidor a investir em geração distribuída e ampliação do uso das renováveis, diversificando a matriz energética nacional e contribuindo com a preservação do meio ambiente.

Já no caso da apuração do PIS (Programa de Integração Social) e do COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade social) a cobrança passou a ser apenas entre a diferença positiva entre a energia consumida e a injetada na rede, e por ser um tributo Federal sua incidência tem igual aplicação em todos os Estados.

3.3 Perspectiva do Crescimento da Geração Distribuída

A geração distribuída vem crescendo de forma muito rápida e tudo indica que continuará a crescer. Primeiramente, o avanço tecnológico permitiu que o custo na produção de geradores de potência reduzida diminuísse, facilitando os investimentos e garantido um

retorno mais rápido para quem decide investir nesse setor.

O desenvolvimento sustentável também é uma realidade dos dias de hoje, e a geração distribuída a partir de fontes renováveis cumpre um papel muito importante na preservação do meio ambiente (SANTOS, 2008).

O aumento na demanda por energia é outro fator que tem ajudado na expansão da geração distribuída. Esse aumento constante do consumo de energia em várias regiões do planeta faz com que a qualidade da energia acabe diminuindo e muitas vezes não consiga atender às necessidades do cliente. Surge assim a oportunidade para a geração distribuída ser uma opção rápida para solucionar tais necessidades.

Como resultado do avanço na regulamentação do setor de microgeração distribuída, reestruturação das políticas ambientais e avanço da tecnologia dos sistemas de geração de energia, o cenário de expansão da geração distribuída mostra-se muito promissor.

4 CARCINICULTURA

O cultivo de camarões recebe o nome técnico de carcinicultura. A criação de camarões pode ser tanto de espécies marinhas quanto de espécies de água doce. No Brasil a predominância da produção é de uma espécie marinha, o *Litopenaeus vannamei*, popularmente conhecido como camarão cinza. Já a principal espécie de água doce é o *Macrobrachium rosenbergii*, conhecido como Camarão da Malásia.

O *Litopenaeus vannamei* é o que predomina pelos seguintes aspectos: a grande quantidade de informações presentes sobre o cultivo dessa espécie, o que auxilia os produtores durante o empreendimento; muitos laboratórios especializados em fornecer a pós-larva (PL), o que acaba baixando o custo de aquisição das PLs e a fácil adaptação a diferentes condições ambientais dessa espécie. Além de todas essas características a uma grande aceitação do mercado o que facilita sua comercialização.

Dentre as espécies de água doce o *Macrobrachium rosenbergii* possui um desenvolvimento satisfatório e é considerado economicamente viável. Para ser considerada economicamente interessante, uma espécie de camarão tem que apresentar algumas características, tais como: tamanho grande, rápida taxa de crescimento, grande tolerância às variações ambientais e valor comercial considerável (IGARASHI, 2007).

A região Nordeste é o principal centro produtor de camarões marinhos do Brasil, tendo os estados do Ceará e Rio Grande do Norte o domínio da região. Segundo dados do SEBRAE o Estado do Ceará liderou, em 2015, a estatística da produção do camarão marinho, com 40.718 mil toneladas, representando 58,3% da produção no país.

4.1 Sistema de Produção em Geral

A larvicultura é a primeira etapa do processo de cultivo do camarão em cativeiro. Larvas são cultivadas através de 11 estágios larvais até a metamorfose para o pós-larva. Para dar início ao processo de larvicultura, é preciso ter domínio dos estágios larvais do camarão para conduzir de maneira correta o seu processo de cultivo (ORMOND et. al, 2004).

No Brasil, atualmente, existem pelo menos 10 laboratórios comerciais que distribuem pós-larvas em todo o País e o milheiro de pós-larvas é vendido a US \$ 20-30, representando cerca de 20% dos custos de produção (IGARASHI, 2021).

A engorda é a segunda etapa do processo produtivo. Uma prática que está se tornando comum entre os produtores é a utilização de tanques berçários para que a pós-larva tenha uma

melhor adaptação ao novo ambiente antes que venham ocupar os viveiros de engorda. Os berçários podem ser realizados em viveiros de fundo natural, em tanques internos ou em tanques-redes instalados sobre os próprios viveiros de engorda. O ciclo total de engorda pode durar de 90 a 150 dias a depender do peso que se deseja alcançar e das condições de cultivo.

Após a engorda, a fase final é a despesca, onde o camarão vai ser retirado do viveiro após atingir o peso adequado para sua comercialização. Após ser capturado o camarão é colocado em contato com temperaturas muito baixas para que ocorra o choque térmico. Em seguida são colocados em caixas com gelo para posterior beneficiamento (ORMOND et. al, 2004).

Figura 9 - Etapas do Processo de Produção



Fonte: Autor, 2022

Os investimentos iniciais para o cultivo do camarão podem ser altos a depender da área reservada para produção. Elaboração do projeto, terraplanagem, construção das canaletas de captação e drenagem, materiais de apoio (freezer, caixa de pescado, isopor, rede, tarrafa, balança, etc.) são alguns dos custos iniciais do negócio. Nesse cenário a economia de energia através da utilização de microgeração de energia com fontes renováveis pode se mostrar muito interessante para o abastecimento do empreendimento.

5 FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO

O investimento pode ser descrito como um desembolso que visa a conquistar benefícios futuros para a empresa, de forma a compensar o sacrifício inicial feito. Quando a empresa opta por investir em um projeto começa-se a coleta de dados para posterior análise de viabilidade econômica (ROSS, WESTERFIELD E JAFFE, 2007).

A saúde financeira de uma empresa tem estreita relação com a tomada de decisões por parte dos administradores. Dessa forma, antes do setor financeiro decidir fazer um investimento é necessário analisar com cuidado todos os cenários possíveis, maximizando os resultados e diminuindo os riscos, para isso algumas ferramentas simples de matemática financeira que são utilizadas serão citadas a seguir.

5.1 *Payback*

Quando se planeja fazer um investimento é de extrema importância saber em quanto tempo o capital investido será recuperado, o período em que o valor presente dos fluxos de caixa será o mesmo do valor investido. O método utilizado para calcular esse tempo, seja em dias, meses ou ano, é o *payback*, que na tradução para o português significa retorno.

Segundo Lima et.al (2015) o *payback* pode ser interpretado como uma medida de risco, com o aumento do prazo de devolução do capital investido, o risco aumenta e o investimento se torna menos atrativo para investidores mais seguros.

O cálculo consiste em dividir o valor do investimento inicial pelo saldo do fluxo de caixa no período desejado.

5.2 **VPL – Valor Presente Líquido**

O método do Valor Presente Líquido (VPL) consiste na somatória dos fluxos de caixa que serão ajustados para a data inicial do investimento através de uma taxa de desconto denominada de Taxa mínima de atratividade (TMA). A TMA pode ser definida como a melhor taxa de retorno, visto que, está associada a um baixo risco. Para investidores individuais costuma-se utilizar a remuneração da poupança (LIMA et.al, 2015).

Utilizar o método do VPL para a tomada de decisões facilita o alcance do principal objetivo do administrador financeiro, que é de maximizar a riqueza. Ressalta-se que o VPL é o método de análise de investimentos em projetos mais utilizado por profissionais de finanças, uma vez que, permite interpretar facilmente os resultados (DASSI et.al, 2015).

O projeto que apresenta o VPL maior que zero (positivo) é economicamente viável, sendo considerado o melhor aquele que apresentar maior VPL. O Cálculo do VPL é feito através da Equação (7):

$$VPL = FC_0 + \sum_{t=1}^Z \frac{FC_t}{(1+TMA)^t} \quad (7)$$

Onde,

FC_0 é o Investimento Inicial;

Z é o Numero de períodos;

T é o período de cada fluxo de caixa;

FC_t é o Fluxo de caixa no instante t;

TMA é a Taxa Mínima de Atratividade;

6 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso consiste em um método de pesquisa a respeito de um assunto específico, permitindo aprofundar o conhecimento a respeito da área em estudo e oferecer subsídios para novas investigações na mesma temática (FUNDAÇÃO INSTITUTO DE ADMINISTRAÇÃO, 2020).

Neste capítulo será feita uma simulação de um caso de aplicação de um sistema de microgeração de energia eólica que será utilizado para abastecimento energético de uma empresa que cultiva camarões na cidade de Limoeiro do Norte-CE.

O objetivo deste capítulo é analisar a viabilidade de implementar o sistema de microgeração de energia eólica e para isso será feita uma análise de investimento. O estudo de caso pode trazer respostas positivas ou negativas, seu fundamento está baseado em oferecer respostas e orientar novas pesquisas.

6.1 Localização

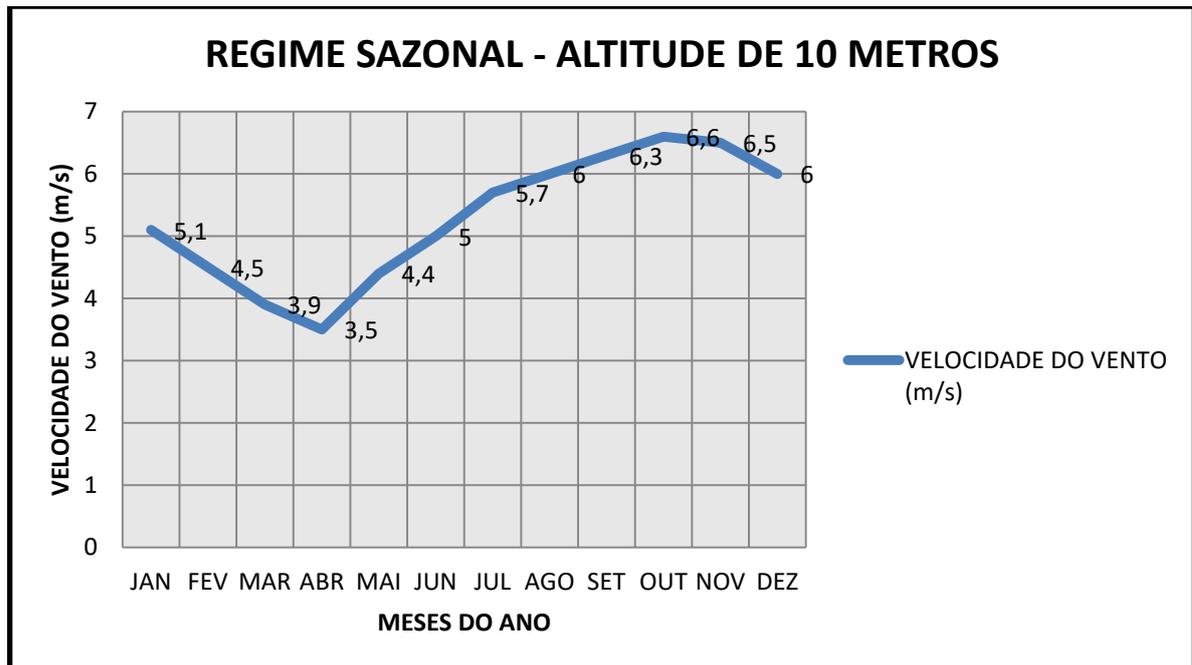
O estudo foi desenvolvido no município de Limoeiro do Norte-CE com um produtor local de camarões da espécie *Litopenaeus vannamei*.

6.2 Potencial Eólico na região de Limoeiro do Norte-CE

A análise do potencial eólico se deu através do levantamento de dados obtidos na base de registros do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que possui uma estação no Município de Morada Nova, localizada a 34 km da cidade de Limoeiro do Norte e de dados do site *Weather Spark* que publica relatórios de meteorologia oriundos do satélite MERRA-2 da NASA.

A partir das informações coletadas nessas fontes criou-se o Gráfico 1 que demonstra o comportamento da velocidade média do vento ao longo dos 12 meses do ano, a uma altura de 10 metros, em regime sazonal.

Gráfico 9 - Velocidade média do vento mensal na altura de 10m



Fonte: Autor, 2022.

A velocidade média anual foi de 5,29 m/s na altitude de 10 metros com predominância da direção média horária do leste durante todo o ano. A Nacele do aerogerador será posicionada a uma altitude de 50 metros, em virtude disso é necessário extrapolar os dados da velocidade média do vento para a nova altitude, isso será feito através da equação logarítmica 8.

Um dos métodos mais utilizados para calcular a estimativa da variação da velocidade do vento com a altitude é a lei logarítmica. Ela é utilizada para variação da velocidade do vento vertical modelada em uma condição de terreno particular (MANWEEL et al, 2022).

$$V_Z = V_{Z_R} \times \frac{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_R}{Z_0}\right)} \quad (8)$$

Onde:

V_Z é a Velocidade média do vento desejada (m/s)

V_{Z_r} é a Velocidade média do vento medido (m/s)

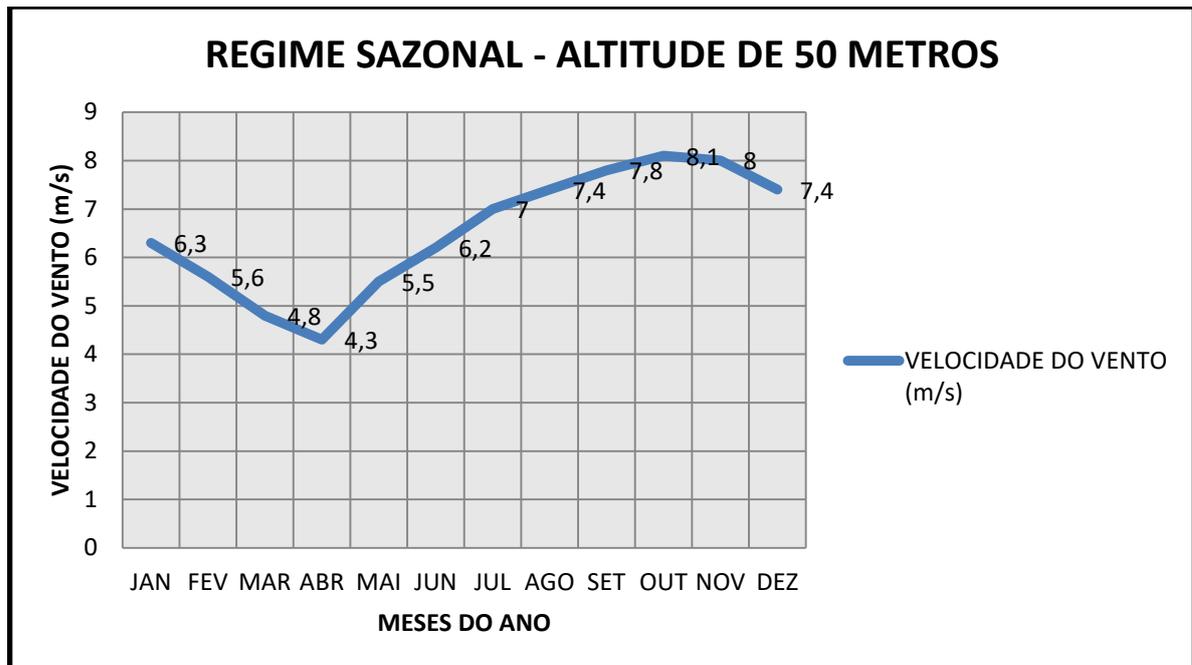
Z é a Altura desejada para obtenção da nova velocidade (m)

Z_R é a Altura da medição dos dados (m)

Z_0 é o Comprimento de rugosidade do solo (m)

O comprimento de rugosidade do solo utilizado para os cálculos foi o de pasto rugoso ($Z_0 = 0,01\text{m}$), juntamente com os valores da velocidade média a altura de 10 metros. Como resultado encontrou-se a velocidade média anual de 6,5 m/s para a altitude de 50 metros.

Gráfico 10 - Velocidade média do vento mensal na altura de 50m



Fonte: Autor, 2022.

6.3 Consumo Energético

O consumo de energia é derivado dos seguintes equipamentos utilizados nos dois viveiros de 0,5 hectares (5000 m²):

- 8 Aeradores de 2 CV (1,5KW)
- 1 Bomba D'água de 7,5 CV (5,5KW)
- 1 refletor 400W
- 1 Geladeira 250W
- 2 lâmpadas 15W

Figura 10 - Aerador de 2 CV



Fonte: Mercado Livre, 2022.

Figura 11 - Bomba D'água de 7,5 CV



Fonte: Mercado Livre, 2022.

Seguidamente, foi analisada a potência de cada equipamento em conjunto com o tempo de funcionamento com a finalidade de determinar o consumo diário e mensal de energia elétrica. Estes parâmetros estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo Energético Diário e Mensal

Equipamentos	Quantidade	Potência (kW)	Quantidade de horas por dia	Quantidade de dias por mês	Gasto Diário (kWh)	Gasto Mensal (kWh)
Aerador	8	1,5KW	12	30	144	4320
Bomba D'água	1	5,5KW	24	15	132	1980
Refletor	1	0,4KW	12	30	4,8	144
Geladeira	1	0,25KW	24	30	6	180
Lâmpada	2	0,015KW	12	30	0,36	10,8

Fonte: Autor, 2022.

O consumo mensal de energia é, em média, de 6634,8 kWh. O sistema eólico foi projetado para suprir a demanda total de energia.

6.4 Aerogerador

Pretendendo suprir a demanda total de energia, o sistema eólico conectado a rede foi projetado utilizando os dados oriundos do recurso eólico (velocidade média anual do vento na altura da nacela) em conjunto com a curva de potência do aerogerador Modelo HUMMER ELV-H13.2 – 20 kW, o qual está representado na Figura 12.

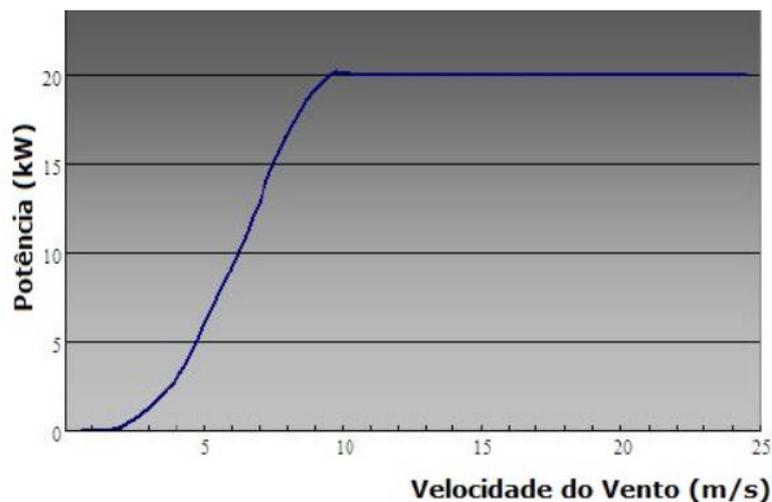
Figura 12 - Aerogerador Modelo HUMMER ELV-H13.2 – 20 kW



Fonte: HUMMER, 2022.

De acordo com a curva de potência do aerogerador, que será representada no Gráfico 11, para ventos com velocidade de 10 m/s é possível verificar que a turbina atinge sua potência nominal de 20.000 W. Para ventos abaixo dessa velocidade a potência será calculada utilizando as especificações técnicas do aerogerador.

Gráfico 11 - Curva de Potência do Aerogerador



Fonte: Eletrovento, 2022.

Para conectar o modelo escolhido à rede elétrica da distribuidora é necessária a utilização de outros componentes elétricos (Retificador, Inversor e o Medidor Bidirecional), conforme a Figura 13. A corrente alternada (CA) trifásica que sai do gerador passa pelo retificador, onde é alterada para corrente contínua (CC) e posteriormente passa pelo inversor que a transforma para corrente alternada (CA), este entregará a energia na tensão e frequência da rede. Alguns sistemas eólicos utilizam um Dump Load (Carga de despejo), que é um equipamento responsável por consumir a potência extra quando a turbina é submetida a ventos muito fortes.

Figura 13 - Configuração do Sistema Eólico conectado a Rede



Fonte: HUMMER, 2022.

A Tabela 2, que será apresentada a seguir, contém as especificações técnicas do aerogerador que foram utilizadas no cálculo da potência do sistema eólico:

Tabela 2 - Especificações Técnicas do Aerogerador

**AEROGERADOR - MODELO HUMMER ELV-H13.2 –
20kW**

Características	Valor
Potência Nominal	20.000 W
Potência Máxima	20.000 W
Velocidade Nominal	10 m/s
Velocidade de Partida	3 m/s
Faixa de Velocidade de Operação	3-25 m/s
Faixa de Vento de Segurança	50 m/s
Tensão de saída (corrente alternada)	380 V_{ac}
Corrente Nominal	35 A
Coefficiente de Potência (C_p)	0,42

Rendimento do Aerogerador	0,96
Número de Pás	3
Rotação Nominal das Pás	150 RPM
Área Varrida pelas Pás	136,85 m ²
Peso do Aerogerador	940 Kg

Fonte: Eletrovento, adaptado, 2022.

6.5 Cálculo da Potência do sistema eólico

A potência do sistema eólico irá variar a cada mês, visto que, segundo Dutra (2008) a quantidade de energia presente no vento varia com o cubo da velocidade. Foi feito o cálculo da potência considerando a velocidade média anual de 6,5 m/s (altitude de 50 metros) e para isso utilizou-se a Equação 9 descrita abaixo:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \cdot \eta \quad (9)$$

Onde:

P = Potência gerada pela turbina (kW)

ρ = Densidade do ar seco de 1,255 (Kg/m³)

A = Área varrida pelas pás (m²)

V = Velocidade do vento (m/s)

C_p = Coeficiente de Potência

η = Rendimento

Utilizando a Equação 7 e os parâmetros técnicos do Aerogerador escolhido foi possível calcular a potência do gerador :

$$P = \frac{1}{2} \cdot 1,255 \cdot 136,85 \cdot (6,5)^3 \cdot 0,42 \cdot 0,96 = 9,5 \text{ kW}$$

6.6 Geração Mensal de Energia Elétrica

A potência gerada pela turbina eólica nas condições definidas anteriormente foi de 9,5 kW. Para definir a produção média mensal de energia do aerogerador multiplica-se a potência pela variação temporal dentro do período analisado, no caso 720 horas, que corresponde ao

número mensal de horas. Logo $9,5\text{kW} \cdot 720\text{h/mês} = 6840 \text{ kWh/mês}$.

Calculou-se a geração de energia elétrica de cada mês. Para isso estabeleceu-se uma variação temporal de 720 a 744 horas, que vai depender do mês, se é de 30 ou 31 dias. A Tabela 3 representa a geração de energia elétrica do sistema eólico no período de 12 meses, de acordo com os parâmetros já estabelecidos e as velocidades determinadas no Gráfico 2.

Tabela 3 - Geração Mensal de Energia Elétrica do Sistema Eólico

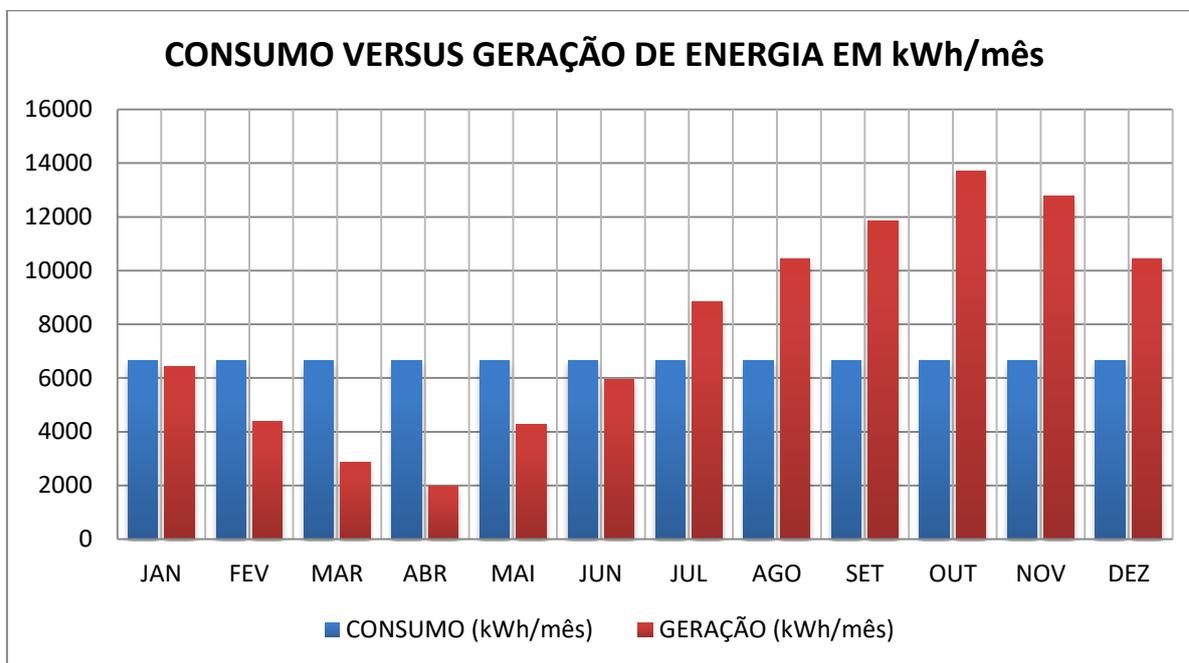
MESES	HORAS/MÊS	ENERGIA GERADA (kWh)
Janeiro	744	6.441
Fevereiro	720	4.378
Março	744	2.850
Abril	720	1.982
Mai	744	4.286
Junho	720	5.941
Julho	744	8.835
Agosto	744	10.438
Setembro	720	11.830
Outubro	744	13.690
Novembro	720	12.763
Dezembro	744	10.438
TOTAL		93.872 kWh
MÉDIA		7.822 kWh

Fonte: Autor, 2022.

Apesar do consumo médio de energia ser maior do que a geração nos meses de Janeiro; Fevereiro; Março; Abril; Maio e Junho, este será compensado nos meses posteriores onde a produção irá superar os gastos. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) quando a energia injetada na rede for superior à consumida, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh) a ser utilizado para abater o consumo nas faturas subsequentes. Os créditos continuam válidos pelo período de 60 meses.

O Gráfico 12 apresenta o comparativo do consumo versus geração de energia elétrica no período de 1 ano.

Gráfico 12 - Consumo versus Geração de Energia Elétrica



Fonte: Autor, 2022.

6.7 Análise de Viabilidade Econômica

Para a análise do investimento no sistema eólico foram utilizados dois conceitos de engenharia econômica, o *Payback* e o Valor Presente Líquido (VPL). O primeiro representa o período de tempo necessário para a recuperação do capital investido, ou seja, o prazo para que os fluxos de caixa se igualem ao valor investido. Já a determinação do VPL de um investimento utiliza o conceito de levar os fluxos de caixa para a data zero desse fluxo, que corresponde justamente à data do investimento. Só que o valor desses fluxos de caixa futuros que serão levados para a data presente ocorre com uma taxa de desconto denominada de taxa mínima de atratividade (TMA). Basicamente o VPL leva em consideração a perda de valor do dinheiro no tempo (PRATES, 2016).

6.7.1 Custo de Implementação do Sistema Eólico

O orçamento leva em consideração o aerogerador Modelo HUMMER ELV-H13.2 – 20 kW, torre de 50 metros, os componentes eletrônicos necessários ao funcionamento (Retificador, Inversor, Fusível) e o custo de instalação. A instalação do Medidor Bidirecional é de responsabilidade da concessionária de energia. Será desprezado do cálculo o custo com

avaliação do potencial eólico e a compra do terreno onde será instalado o sistema. A Tabela 4, a seguir, apresenta os custos do sistema.

Tabela 4 - Custo de Implementação do Sistema Eólico

Equipamentos	Quantidade
Aerogerador Modelo HUMMER ELV-H13.2 – 20 kW	1 un
Retificador	1 un
Inversor	1 un
Fusível	1 un
Torre 50m	1 un
Total (Equipamentos, Instalação, Outros Gastos).	R\$ 621.780,00

Fonte: Autor, 2022

Para fins da análise de investimento foram determinadas a vida útil e a taxa de manutenção do sistema eólico, conforme a Tabela 5. A vida útil dos equipamentos é de aproximadamente 20 anos, visto que, a depreciação dos mesmos ocorre a uma taxa de 5% ao ano. Já a manutenção, que envolve equipamentos, engenharia e planejamento, ficou estabelecida na ordem de 2% do valor investido ao ano.

Tabela 5 - Valor Monetário da Manutenção e Depreciação do Sistema Eólico

Período Analisado	Depreciação (5%)	Manutenção (2%)
Anual	R\$ 31.089,00	R\$ 12.435,60
Mensal	R\$ 2.590,75	R\$ 1.036,30

Fonte: Autor, 2022.

6.7.2 *Conta de Energia Elétrica*

Os itens da fatura de energia são tarifa de energia (TE), que representa o custo pela geração de energia, tarifa do uso do sistema de distribuição (TUSD), que é a taxa paga a

empresa que pega a energia produzida na usina, transforma e distribui essa energia para que ela circule de forma mais segura nas cidades e de uma forma mais conveniente para o consumo. Aplicam-se a essas tarifas os impostos, no caso do Ceará, o PIS (Programa de Integração Social) e o COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social).

O preço do kWh no Ceará é de R\$ 0,6778 (ENEI, 2022), já inclusos os tributos (PIS e COFINS). Para calcular o valor mensal da Conta de Energia, multiplicou-se o preço do kWh pelo consumo mensal de energia em kWh. O cálculo está representado na Tabela 6.

Tabela 6 - Valor Mensal da Conta de Energia Elétrica

Consumo Mensal (kWh)	Preço do kWh	Valor da Conta de Energia
6634,8	R\$ 0,6778	R\$ 4.497,06

Fonte: Autor, 2022.

Lembrando que, para fins da análise de investimento, o valor da conta de energia corresponde ao fluxo de caixa positivo, uma vez que, será o valor que deixará de ser pago após a implementação do sistema de microgeração.

6.7.3 Método – Payback

O *Payback* é um método simples e rápido, capaz de demonstrar em quanto tempo um investimento começará a trazer retorno, sendo um bom parâmetro para se medir o risco do investimento, pois quanto menor o período de *payback*, melhor é o investimento, por isso foi um dos métodos escolhidos para a análise. Apesar de apresentar a vantagem de ser simples, o método não leva em conta o valor do dinheiro no tempo, sendo considerado por muitos uma ferramenta imprecisa, por isso será utilizada em conjunto com o VPL, que será apresentado no tópico seguinte.

Basicamente o cálculo do *payback* consiste em somar o valor dos fluxos de caixa, período a período, até que a soma se iguale ao valor do investimento inicial. O período que será analisado será do fluxo de caixa correspondente a um mês. Como já foi mencionado, esse valor é equivalente à conta de energia que deixará de ser paga com a aquisição do sistema eólico, descontado do valor da manutenção. Dessa forma, descreveu-se a formulação do *payback* na Equação 10.

$$\textit{Payback} = \frac{\textit{Investimento Inicial}}{\textit{Fluxo de caixa/mês}} \quad (10)$$

$$\textit{Payback} = \frac{R\$ 621.780,00}{R\$ 4.497,06 - R\$ 1.036,30} = 179,6 \text{ meses (15 anos)}$$

Diante disso, a estimativa temporal para o retorno do investimento é de aproximadamente 15 anos.

6.7.3.1 Resultados

O tempo de retorno do investimento (*Payback*) se mostra muito próximo do tempo de troca geral dos equipamentos, uma vez que, com uma taxa de depreciação de 5% ao ano, o sistema eólico tem uma vida útil de 20 anos. Ademais, o tempo de 15 anos é considerado extenso para que um investimento comesse a gerar lucro, ainda mais quando estamos tratando de uma aplicação alta e de uma empresa de capital pequeno.

Paralelamente, leva-se em consideração que o cálculo está sendo feito para um cenário otimista, onde a produção ocorrerá todos os meses e com um gasto energético que se mantenha próximo do que foi calculado no trabalho, caso não ocorresse dessa forma, o prazo para o retorno do investimento seria ainda maior. Além disso, a dependência em relação à constância do vento para o funcionamento do sistema é outro fator que deve ser apontado. Portanto, apesar do resultado se apresentar rentável em relação ao capital investido, o retorno não se mostra atrativo em virtude das incertezas do investimento.

6.7.4 Método – Valor Presente Líquido (VPL)

Quando valores futuros forem somados ou subtraídos, é necessário que se considere o valor do dinheiro no tempo. Por essa razão foi utilizado o método do VPL para a análise de investimento do sistema eólico, que corresponde à diferença entre o fluxo de entrada (valor que deixará de ser pago da fatura de energia) e de saída (valor do investimento).

Para trazer as quantias futuras para a data zero, que corresponde à data do investimento, estas serão descontadas de uma taxa de juros denominada Taxa Mínima de Atratividade (TMA). O valor da TMA ajustado foi de 6,17% ao ano, valor correspondente ao

rendimento anual da poupança de 2022, ou seja, essa é a taxa pela qual eu consigo igual rendimento deixando o dinheiro na poupança. Utilizou-se a Equação 11 para calcular o VPL.

$$VPL = FC_0 + \sum_{t=1}^z \frac{FC_t}{(1+TMA)^t} \quad (11)$$

Onde,

FC_0 : Investimento Inicial;

z: Número de períodos;

t: O período de cada fluxo de caixa;

FC_t : Fluxo de caixa no instante t;

TMA: Taxa Mínima de Atratividade;

Como período de verificação escolheu-se 20 anos, período que corresponde à troca geral dos equipamentos. O fluxo de caixa anual é o valor da conta de energia multiplicado por 12 meses, descontado o valor da manutenção. Como já foi mencionado a TMA escolhida foi de 6,17% ao ano.

Dessa forma o cálculo ficou da seguinte maneira:

$$VPL(6,17\%) = FC_0 + \sum_{t=1}^{20} \frac{FC_t}{(1 + 0,0617)^t}$$

Para t = 0:

$$FC_0 = -621.780,00$$

Para t = 1:

$$\frac{FC_1}{(1 + 0,0617)^1} = \frac{41.529,12}{(1 + 0,0617)^1} = 39.115,7$$

Para t = 2:

$$\frac{FC_2}{(1 + 0,0617)^2} = \frac{41.529,12}{(1 + 0,0617)^2} = 36.842,5$$

...

Para $t = 20$:

$$\frac{FC_{20}}{(1 + 0,0617)^{20}} = \frac{41.529,12}{(1 + 0,0617)^{20}} = 12.540,5$$

Os demais valores do fluxo de caixa estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores Presentes a uma Taxa de Desconto de 6,17% ao ano.

Ano (t)	Fluxo atualizado para a data zero (t=0)
1	R\$ 39.115,70
2	R\$ 36.842,50
3	R\$ 34.701,40
4	R\$ 32.684,80
5	R\$ 30.785,30
6	R\$ 28.996,20
7	R\$ 27.311,20
8	R\$ 25.724,00
9	R\$ 24.229,00
10	R\$ 22.821,00
11	R\$ 21.494,80
12	R\$ 20.245,60
13	R\$ 19.069,10
14	R\$ 17.960,90
15	R\$ 16.917,10
16	R\$ 15.934,00
17	R\$ 15.008,00
18	R\$ 14.135,80
19	R\$ 13.314,30
20	R\$ 12.540,50
Total	R\$ 469.831,20

Fonte: Autor, 2022.

Calculados os valores presentes, efetuou-se o cálculo do valor presente líquido do

projeto de investimento:

$$VPL(6,17\%) = FC_0 + \sum_{t=1}^{20} \frac{FC_t}{(1+0,0617)^t} = - 621.780,00 + 469.831,20$$

$$\mathbf{VPL = R\$ -151.948,80}$$

6.7.4.1 Resultados

A análise com o método do Valor Presente Líquido (VPL) permite ao tomador de decisão quantificar a liquidez do saldo, dessa forma, criando um cenário que lhe permite ter mais segurança no investimento. Se o VPL for positivo, o projeto estará gerando mais caixa que o necessário para quitar o investimento.

O VPL encontrado representa o lucro líquido e descontado para um horizonte de 20 anos. O valor negativo indica que o projeto de investimento em questão destruirá valor, sendo considerado economicamente inviável. A principal causa desse resultado é o alto valor do investimento no sistema eólico. Infelizmente o mercado da microgeração de energia eólica ainda apresenta uma tecnologia relativamente cara.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia eólica é uma das fontes renováveis que mais cresceu no cenário energético Nacional. A indústria eólica de grande porte já está consolidada no mercado, em contrapartida, a de pequeno porte ainda encontra dificuldades por ser uma indústria relativamente nova e que ainda causa certa insegurança para quem deseja investir. A importância desse trabalho se justifica por abordar diversos pontos importantes do cenário eólico e contribuir com informações para quem deseja investir no setor.

Diante disso, a pesquisa teve como objetivo geral fazer uma análise de investimento de um sistema de microgeração de energia eólica conectada a rede. Os objetivos inicialmente propostos foram atendidos, com a pesquisa foi possível discutir temas de grande relevância como fontes alternativas de energia, com especial atenção para a energia eólica; e apresentar conceitos que ainda não são muito populares como microgeração e geração distribuída.

Paralelamente, com o estudo de caso foi possível verificar que o investimento no sistema de microgeração de energia eólica para abastecer a demanda energética dos dois viveiros de camarão em estudo é economicamente inviável. A pesquisa foi feita através de uma análise quantitativa dos dados coletados. Os dados foram analisados através de duas ferramentas de matemática financeira, o *Payback* e o Valor Presente Líquido (VPL). Com o *Payback* verificou-se que o tempo de retorno da aplicação seria muito longo e com o VPL que a soma dos fluxos de caixa futuros não serão suficientes para quitar o investimento, considerando o valor que o dinheiro perde ao longo do tempo.

Algumas limitações foram encontradas na pesquisa, a mais significativa foi a dificuldade de contato com os fornecedores de turbinas eólicas. O objetivo de contatar o maior número de fornecedores está em procurar preços mais baixos, e assim tornar o investimento mais atrativo.

Por último, para trabalhos futuros, deixo a sugestão de novas análises de viabilidade econômica para projetos que utilizem outros métodos de geração de eletricidade por meio de fontes renováveis e projetos eólicos onde a demanda de energia seja maior e o potencial eólico da região seja favorável.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. **Resolução Normativa N° 482**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, 2012.
- AQUINO, AFONSO R. de et al. **Sustentabilidade ambiental**. 2015.
- ARAUJO, Sandro Roberto Nascimento. **Microgeração eólica conectada à rede elétrica para uso residencial**. 2016. 34p
- CASTRO, Rui MG; RENOVÁVEIS, Energias; DESCENTRALIZADA, Produção. **Introdução à energia eólica. Energias Renováveis e Produção Descentralizada**, 2007.
- CEPEL, 2001. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Ed. CEPEL, Rio de Janeiro, RJ
- CUNHA, Eduardo Argou Aires et al. **Aspectos históricos da energia eólica no Brasil e no mundo**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 8, n. 4, 2019.
- DASSI, Jonatan Antonio et al. **Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2015.
- DE GRADUAÇÃO, PROJETO; CASER, EDUARDO SPALENZA; PAIVA, GIUSEPPE DA MOTA. **Projeto aerodinâmico de uma turbina eólica de eixo vertical (teev) para ambientes urbanos**.
- DUTRA, R. **Energia eólica: princípios e tecnologia**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2008. 3p.
- DUTRA, Ricardo Marques (Org.). **Energia Eólica - Estado da Arte e Princípios Físicos**. Rio de Janeiro: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - Cepel, 2012. Color.
- DUTRA, Ricardo Marques. Proposal of specific policies for wind energy in Brazil, after the first phase of the PROINFA Programme; **Propostas de políticas específicas para energia eólica no Brasil após a primeira fase do PROINFA**. 2007.

ELETROVENTO. **Modelo ELV-H13.2 – 20 Kw**. Disponível em:

<<https://www.eletrovento.com.br/site/produto/modelo-elv-h13-2-20-kw/12/>> Acessado em: 29/04/2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA 2021**: Ano Base 2021. Brasília: Ministério de Minas e Energia, p.2, 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional**: Ano Base 2021. Brasília: Ministério de Minas e Energia, p. 12- , 2021.

EWEA - **European Wind Energy Association. Wind Energy - The Facts Environment**, Vol. 4., 2000d. Disponível em <<https://windeurope.org/about-wind/wind-energy-and-the-environment/>> Acessado em: 26/11/2021.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE ADMINISTRAÇÃO. **Estudos de Caso: O que são, Exemplos e Como Fazer para TCC**, 2020 Disponível em: <<https://fia.com.br/blog/estudos-de-caso/>> Acessado em: 04/05/2022.

GWEC – GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **GLOBAL WIND REPORT 2021**, 2021.

HUMMER. **H13.2-20KW**. Disponível em:

<<http://www.chinahummer.cn/index.php/index/content/167>> Acessado em: 30/04/2022.

IBERDROLA **O que é a energia eólica, como ela se transforma em eletricidade e quais são suas vantagens?**, 2021. Disponível em: <<https://www.iberdrola.com/meio-ambiente/energia-eolica>>. Acessado em: 23/11/2021.

IGARASHI, M. A. **Aspectos técnicos e econômicos da carcinicultura de água doce e perspectivas de desenvolvimento da atividade no Brasil.** Unimar Ciências, v. 16, n. 1-2, p. 43-48, 2007.

IGARASHI, M. A. **Sinopse sobre as características dos aspectos técnicos e econômicos no cultivo de camarão de água doce *Macrobrachium rosenbergii* no Brasil.** Revista Semiárido De Visu, v. 9, n. 3, p. 180-194, 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Dados históricos anuais.** Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 01 de abril de 2022.

LIMA, José Donizetti de; TRENTIN, Marcelo Gonçalves; OLIVEIRA, Gilson Adamczuk; BATISTUS, Dayse Regina; SETTI, Dalmarino. **A systematic approach for the analysis of the economic viability of investment projects.** Int. J. Engineering Management and Economics. v. 5, n. 1 p.28. February 2015

LOPEZ, R.A. **Energia eólica.** São Paulo: Artliber, 2002. 156p

MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. **Wind energy explained** .New York:Wiley, 2002. 569 p

MARTINS, Silas Sarkiz da Silva et al. **Produção de petróleo e impactos ambientais: algumas considerações.** Holos, v. 6, p. 54-76, 2015.

ORMOND, José Geraldo Pacheco, et al. **A carcinicultura brasileira.** BNDES, Biblioteca Digital, 2004.

PRATES. **O que é VPL (Valor Presente Líquido)?**,2016 Disponível em: <<https://cienciaenegocios.com/o-que-e-vpl-valor-presente-liquido/>> Acessado em: 09/05/2022.

RAMOS, Hadrian Maduro. **Microgeração de eletricidade com energia eólica**, p. 10-11, 2016.

ROCHA, Rafael Vieira. **Simulação de aerogerador em uma bancada experimental**. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

ROSS, S.A.; WESTERFIELDT, R.W; JAFFE, J.F. **Administração Financeira**. 2.ed. São Paulo: Atlas , 2007.

SANTOS, Fernando António; SANTOS, Fernando Miguel. **Geração distribuída versus centralizada**. m, 2008.

SILVA, Selênio Rocha. **Tecnologia em aerogeradores**. 2013.

URSAIA, G. C. **A Regulação da Microgeração e Minigeração de Energia no Brasil**. 2016. Disponível em <<https://www.ambientelegal.com.br/a-regulacao-da-microgeracao-e-minigeracao-de-energia-no-brasil/>>. Acessado em 19/11/2021.

VIEIRA, D.; CASTRO, MAL. **Caderno Temático ANEEL-Micro e Mini Geração Distribuída**. ANEEL, 2016.