

INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Bahia

Campus
Vitória da Conquista



COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - COEEL

PROJETO FINAL DE CURSO - PFC

Avaliação do Potencial Eólico da Região Bacia do
Paramirim, Bahia

ISABELA BONFIM VILLAS BÔAS TEIXEIRA

Vitória da Conquista-BA
12 de dezembro de 2023

ISABELA BONFIM VILLAS BÔAS TEIXEIRA

**Avaliação do Potencial Eólico da Região Bacia do
Paramirim, Bahia**

Projeto Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, *campus* Vitória da Conquista, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Me. Elvio Prado da Silva

Vitória da Conquista-BA
12 de dezembro de 2023

T266a Teixeira, Isabela Bonfim Villas Bôas

Avaliação do potencial eólico da região Bacia do Paramirim, Bahia. /
Isabela Bonfim Villas Bôas Teixeira. – Vitória da Conquista-BA : IFBA, 2023.
63 f.il.: color.

Orientador: Prof. Me. Elvio Prado da Silva.

Trabalho Conclusão de Curso (Graduação) em Engenharia Elétrica -
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - *Campus* de
Vitória da Conquista-BA, 2023.

1. Energia eólica. 2. Distribuição de Weibull. 3. Bahia. I. Silva, Elvio
Prado da. II. Título.

CDD: 621.37



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA
Av. Sérgio Vieira de Mello, 3150 - Bairro Zabelê - CEP 45078-900 - Vitória da Conquista - BA - www.portal.ifba.edu.br

FICHA

FOLHA DE APROVAÇÃO PFC

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DA REGIÃO BACIA DO PARAMIRIM, BAHIA

ISABELA BONFIM VILLAS BÔAS TEIXEIRA

A presente Monografia de Projeto Final de Curso (PFC), apresentada em sessão realizada em **12 de dezembro de 2023**, foi avaliada como adequada para a obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista, julgada **aprovada** em sua forma final pela Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Vitória da Conquista.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Elvio Prado da Silva (Orientador)
IFBA campus Vitória da Conquista

Prof. Esp. Everard Lucas Silva Cardoso
IFBA campus Vitória da Conquista

Prof. Me. Diego Salvador de Almeida Ramos
IFBA campus Vitória da Conquista

Vitória da Conquista - Bahia



Documento assinado eletronicamente por **ELVIO PRADO DA SILVA, Professor Efetivo**, em 12/12/2023, às 10:34, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **DIEGO SALVADOR DE ALMEIDA RAMOS, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT**, em 12/12/2023, às 19:34, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **EVERARD LUCAS SILVA CARDOSO, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT**, em 15/12/2023, às 08:26, conforme decreto nº 8.539/2015.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **3275510** e o código CRC **383A3E8D**.

A vida é uma constante oscilação entre a ânsia de ter e o tédio de possuir. [Arthur Schopenhauer]

AGRADECIMENTOS

Agradeço de coração à minha mãe e minha irmã, cujo apoio incondicional foram fundamentais para minha trajetória acadêmica. Expresso minha gratidão aos amigos Letícia e Vinícius, que, de maneira indireta, contribuíram significativamente para o meu desenvolvimento ao longo desse percurso. Um agradecimento especial a Pedro, por estar ao meu lado durante toda essa jornada. Não posso deixar de mencionar meus colegas de faculdade, cuja colaboração e apoio foram essenciais ao longo de toda graduação. Por fim, expresso minha profunda gratidão ao Instituto e a todos os professores pelo valioso conhecimento proporcionado. Cada um de vocês desempenhou um papel crucial em minha jornada acadêmica.

RESUMO

O vento é um recurso ilimitado e com grande potencial energético. No Brasil esse recurso não é tão explorado quanto outras fontes de geração de energia. Este estudo analisa o potencial da energia eólica em pontos específicos da microrregião na Bacia do Paramirim, localizada no estado da Bahia. Foram coletados dados de velocidade do vento para alturas de 10 e 50 metros, no período entre 2003 e 2022, através do software da NASA, POWER Data Access Viewer. Com base nesses dados, procedeu-se à extrapolação para alturas de 80 metros e 100 metros, utilizando a Lei da Potência e o coeficiente de Hellmann. A partir disso, aplicou-se o método de distribuição de Weibull, amplamente utilizado para modelar padrões de vento, possibilitando o cálculo de energia gerada. Por fim, a partir de três turbinas comerciais aplicadas à região foi possível analisar a combinação turbina-ponto de estudo mais vantajosa. A partir do estudo, conclui-se que o Estado da Bahia é favorecido pela qualidade e quantidade de ventos favoráveis, e a região da Bacia do Paramirim também possui potencial eólico para estudos mais aprofundados.

Palavras-chave: Energia eólica, Distribuição de Weibull, Bahia.

ABSTRACT

The wind is an unlimited resource with significant energy potential. In Brazil, this resource is not as extensively explored as other sources of energy generation. This study examines the potential of wind energy at specific points in the micro-region of the Paramirim Basin, located in the state of Bahia. Wind speed data for heights of 10 and 50 meters were collected between 2003 and 2022 using NASA's POWER Data Access Viewer software. Based on this data, extrapolation was carried out for heights of 80 meters and 100 meters using the Power Law and the Hellmann coefficient. Subsequently, the Weibull distribution method, widely employed for modeling wind patterns, was applied to calculate generated energy. Finally, by applying three commercial turbines to the region, it was possible to analyze the most advantageous turbine-study point combination.

Keywords: Wind energy, Weibull distribution, Bahia.

Lista de Figuras

1.1	Territórios baianos com usinas em operação e território de estudo.	4
2.1	Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte	6
2.2	Quadro de usinas eólicas em operação, construção e construção não iniciada na Bahia	11
2.3	Curva de Potência	16
2.4	Turbinas eólicas de eixo horizontal e eixo vertical	18
3.1	Localização dos pontos no mapa	20
3.2	Fluxograma do trabalho	22
4.1	Velocidade média mensal na altura de 10m	24
4.2	Velocidade média mensal na altura de 50m	24
4.3	Velocidade média anual na altura de 10m	26
4.4	Velocidade média anual na altura de 50m	26
4.5	Coeficiente de Hellmann	28
4.6	Distribuição de Weibull para 80m	29
4.7	Distribuição de Weibull para 100m	29
4.8	Simulação das curvas de potência das turbinas.	34
4.9	Fator capacidade da turbina Acciona AW-82/1500.	35
4.10	Fator capacidade da turbina Gamesa G90.	36
4.11	Fator capacidade da turbina Adani 5.2-160.	36
4.12	Energia anual capturada por turbinas eólicas.	38

Lista de Tabelas

2.1	Dados sobre as usinas eólicas contratadas nos leilões nos municípios da Bahia	10
3.1	Localidade, latitude, longitude e altitude estudadas	19
4.1	Velocidades médias máximas e mínimas mensal por localidade	25
4.2	Velocidades médias máximas e mínimas anual por localidade	27
4.3	Parâmetros mensais de Weibull (k, c) do local em Caetité a uma altura de 10 e 50 metros, respectivamente.	31
4.4	Parâmetros mensais de Weibull (k, c) do local em Paramirim a uma altura de 10 e 50 metros, respectivamente.	32
4.5	Parâmetros mensais de Weibull (k, c) do local em Érico Cardoso a uma altura de 10 e 50 metros, respectivamente.	33
4.6	Turbinas comerciais escolhidas para o estudo	34
4.7	Produção anual de energia calculada para turbinas eólicas selecionadas (Paramirim)	37
4.8	Produção anual de energia calculada para turbinas eólicas selecionadas (Érico Cardoso)	38

Lista de Códigos

A.1 Código para determinar a distribuição de probabilidade de Weibull utilizando a ferramenta GNU Octave	45
---	----

Glossário: Símbolos e Siglas

Notação	Descrição	Páginas
E	Energia	17
FC	Fator capacidade	17
N	Número de valores do conjunto de dados	14
Pr	Potência nominal	17, 39
V_{in}	Velocidade de cut-in	16
V_{out}	Velocidade de cut-off	16
V_r	Velocidade nominal	16
Γ	Função Gamma	13
\bar{V}	Média da velocidade do vento	13
σ	Desvio Padrão	13
a	Coeficiente da lei de potência ou coeficiente de Hellmann	12
c	Fator de escala da distribuição Weibull	13, 14, 30, 35, 37
c_1	Fator de escala da distribuição Weibull na altura h_1	15
c_2	Fator de escala da distribuição Weibull na altura h_2	15
$f(v)$	Função de densidade de probabilidade	13
h	Altura que se deseja estimar a velocidade	12
h_0	Altura de referência	12

Notação	Descrição	Páginas
h_1	Altura de referência 1	15
h_2	Altura de referência 2	15
k	Fator de forma da distribuição Weibull	13, 14, 30, 35, 37
k_1	Fator de forma da distribuição Weibull na altura h_1	15
k_2	Fator de forma da distribuição Weibull na altura h_2	15
n	Expoente de extrapolação da distribuição Weibull	15
v	Velocidade	12, 13
v_0	Velocidade medida na altura h_0	12
ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica	3, 9
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica	4, 9–11
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica	3, 10
EMJ	Método Empírico de Justus	13
EPE	Empresa de Pesquisa Energética	5
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	8
PIB	Produto Interno Bruto	5
POWER	Prediction of Worldwide Energy Resource	20, 23
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica	8

Notação	Descrição	Páginas
SDE	Secretaria de Desenvolvimento Econô- mico da Bahia	3, 4, 10, 11
SecultBA	Secretaria da Cultura da Bahia	4

Sumário

Folha de Rosto	ii
Ficha Catalográfica	iii
Folha de Aprovação	iv
Resumo	vii
Abstract	viii
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	x
Lista de Códigos	xi
Glossário: Símbolos e Siglas	xii
1 Introdução	1
1.1 Objetivo Geral	2
1.1.1 Objetivos Específicos	3
1.2 Justificativa	3
2 Referencial Teórico	5
2.1 Cenário Energético Brasileiro	5
2.2 A energia eólica	6
2.3 Cenário da energia eólica na Bahia	8
2.4 Lei da Potência e Coeficiente de Hellmann	11
2.5 Distribuição de Weibull	13
2.6 Extrapolação dos parâmetros de Weibull em diferentes alturas	15
2.7 Fator capacidade e Energia	16
2.8 Turbinas Eólicas	17

3 Metodologia	19
4 Desenvolvimento	23
4.1 Resultados	23
4.1.1 Velocidades médias mensais	23
4.2 Velocidades médias anuais	25
4.2.1 Coeficiente de Hellmann	27
4.2.2 Distribuição de Weibull	28
4.3 Fator Capacidade e Energia Gerada	33
4.3.1 Turbinas escolhidas	33
4.3.2 Fator Capacidade	35
4.4 Energia Gerada	37
5 Considerações Finais	40
6 Sugestões para Trabalhos Futuros	42
REFERÊNCIAS	43
A Código para determinar a distribuição de probabilidade de Weibull utilizando a ferramenta GNU Octave	45

Capítulo 1

Introdução

A evolução constante do homem está diretamente relacionada às suas necessidades energéticas (FARIAS; SELBITTO, 2011). Irrefutavelmente, a questão da energia representa uma das discussões mais importantes na sociedade contemporânea. Em busca do desenvolvimento sustentável e na procura por soluções que garantam recursos para as futuras gerações, a pesquisa direcionada a energias alternativas e limpas tem se intensificado.

Com o aumento das mudanças antropogênicas ao meio ambiente, principalmente em função da utilização de combustíveis fósseis como petróleo e carvão, que estão diretamente ligados a emissão de gases do efeito estufa, surgiu o debate científico e governamental sobre a questão ambiental atrelada à produção de energia elétrica. Nesse contexto, o desenvolvimento de novas fontes de energia tem sido um fator chave para a melhoria das condições de vida em todo o mundo, considerando que a utilização de petróleo e gás natural torna-se cada vez mais insustentável do ponto de vista físico, uma vez que esses recursos são finitos e não renováveis (CARVALHO, 2014). O objetivo é atender à crescente demanda da sociedade, que busca resolver o desequilíbrio resultante da exploração irresponsável do ambiente, como evidenciado pela industrialização desenfreada, práticas agrícolas inadequadas, urbanização excessiva e outras formas insustentáveis de obtenção de recursos.

Segundo (LEITE; SOUZA, 2015), o interesse em soluções energéticas alternativas se destacou durante a crise do petróleo na década de 1970. Nos últimos anos, tem-se observado, especialmente na Região Nordeste do Brasil, períodos de seca que afetam a geração de energia hidrelétrica. Além disso, os crescentes custos

dos combustíveis fósseis, influenciados por diversos fatores, como crises políticas, sociais e econômicas em regiões produtoras, agravam ainda mais a situação.

Este trabalho apresentará um estudo sobre o potencial e a viabilidade econômica da energia eólica como uma alternativa, focando especialmente no contexto do estado da Bahia.

Na conjuntura atual, a carência de acesso a fontes de energia limpa representa um grande obstáculo para melhorar o bem-estar humano em todo o mundo. Uma alternativa que vem ganhando destaque é a geração de energia eólica, a qual utiliza uma fonte renovável e pouco poluente. Essa tecnologia tem se desenvolvido rapidamente, impulsionada pelo aumento da demanda global por energia elétrica (SOUZA; OLIVEIRA; OZONUR, 2019). Essa tendência é muito positiva, pois a adoção da energia eólica pode ser uma grande contribuição para a transição para uma economia mais sustentável e menos dependente de combustíveis não renováveis.

A investigação do potencial eólico na Bahia assume relevância considerável, dada a expressiva capacidade eólica desse estado. O propósito deste trabalho de conclusão de curso é realizar uma análise sobre a viabilidade da integração da energia eólica na região. O foco da pesquisa será nos municípios de Paramirim e Érico Cardoso, localizados na microrregião Bacia do Paramirim. Para efeitos comparativos, será utilizado o município de Caetité, que já possui uma usina eólica em operação na microrregião Sertão Produtivo, a fim de avaliar as características dos ventos.

A incorporação dessa fonte energética apresenta a perspectiva de proporcionar benefícios substanciais para o meio ambiente, a economia e o desenvolvimento sustentável do estado.

1.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade de implementação de um parque eólico no município de Paramirim - BA e Érico Cardoso - BA, no território da Bacia do Paramirim.

1.1.1 Objetivos Específicos

- (a) Analisar o potencial energético dos municípios escolhidos, utilizando um estudo das características dos ventos em uma base de dados de 20 anos;
- (b) Realizar um comparativo entre os dados recolhidos dos municípios escolhidos para o estudo e do município de Caetité - BA, que já possui uma usina preexistente;
- (c) Identificar o perfil do vento dos municípios, para calcular os coeficientes de Hellmann e as curvas de probabilidade de Weibull;
- (d) Analisar o uso de diferentes tipos de turbinas e definir quais são mais adequadas para o ponto de estudo.

1.2 Justificativa

A região Nordeste do Brasil detém a maior parte dos principais produtores de energia eólica do país, contribuindo com mais de 90% da energia gerada por essa fonte, de acordo com os dados de geração acumulada de 2023 da [CCEE](#) (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica). Os Estados da Bahia e do Rio Grande do Norte se destacam como os principais impulsionadores do setor eólico na região Nordeste. A Bahia, em particular, é um importante estado brasileiro no desenvolvimento de energia eólica, visto que apresenta maior geração total de energia eólica do país, de acordo com a [ABEEólica](#).

Esses dados confirmam o potencial da Bahia como um importante produtor de energia renovável no Brasil. De modo que o estudo do potencial eólico na Bahia é de grande importância, uma vez que o estado apresenta uma grande capacidade eólica e a adoção dessa fonte energética pode oferecer benefícios significativos para o meio ambiente, para a economia e para o desenvolvimento sustentável do estado.

Dos 417 municípios baianos, 31 possuem usinas em operação, de acordo com dados da [SDE](#) (Secretaria de Desenvolvimento Econômico da Bahia) de Setembro de 2023, distribuídas nos territórios Sertão do São Francisco, Piemonte Norte do Itapicuru, Piemonte da Diamantina, Irecê, Sisal, Velho Chico, Chapada Diamantina e principalmente Sertão Produtivo.

O território abordado por este estudo não abriga usinas em funcionamento,

1.2. JUSTIFICATIVA

mas está situado em uma região cercada por áreas que contam com usinas em operação, como ilustrado na Figura. 1.1.

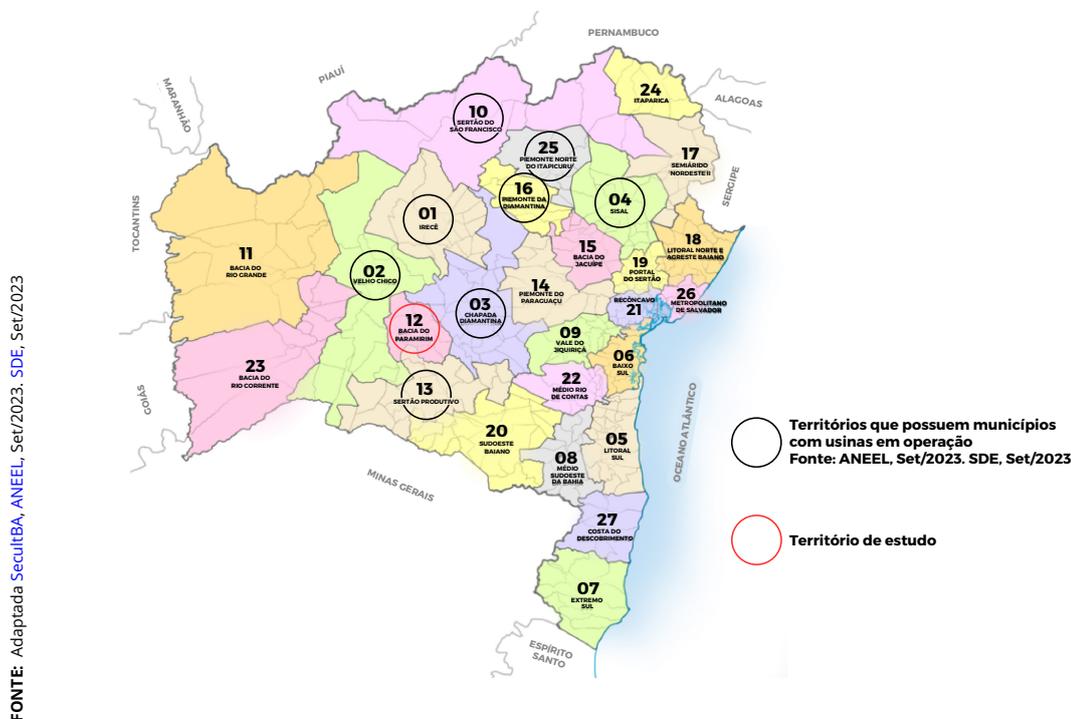


Figura 1.1 – Territórios baianos com usinas em operação e território de estudo.

Além disso,

" A direção dos ventos que sopram sobre a Bahia varia relativamente pouco, predominando o sentido leste-oeste, com raríssimos registros no sentido oposto, geralmente associados a velocidades muito baixas. "

(SANTOS et al., 2013)

Considerando a configuração mapeada e as considerações pontuadas, especialmente em relação à implementação de uma fonte de energia renovável, o objetivo principal deste Projeto de Conclusão de Curso é analisar a viabilidade da integração da energia eólica na Bahia.

O intuito desse estudo é realizar uma análise do município de Paramirim e Érico Cardoso, na microrregião Bacia do Paramirim, incluindo uma comparação com o município de Caetitê, que já possui uma usina eólica em operação na microrregião Sertão Produtivo.

Capítulo 2

Referencial Teórico

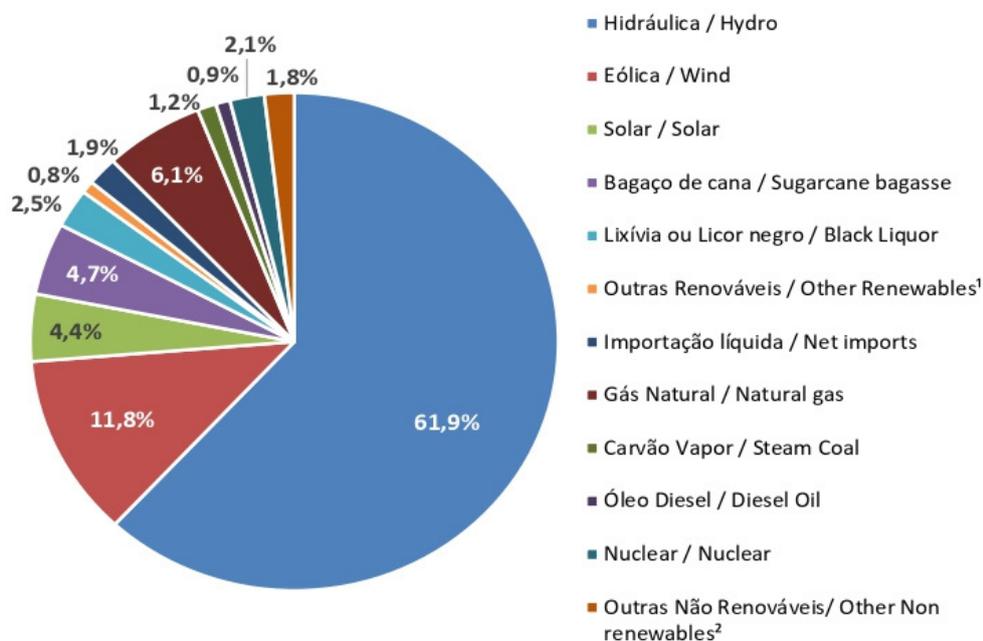
2.1 Cenário Energético Brasileiro

A demanda de energia de um país está estreitamente ligada à sua atividade econômica, ou seja, ao seu Produto Interno Bruto (PIB) e a intensidade energética de um país é a medida que quantifica essa relação (BRONZATTI; NETO, 2008). A história do progresso humano está fundamentada no uso e disponibilidade de energia, que evoluiu desde a utilização inicial do fogo e da força animal, melhorando as condições de vida, até a atualidade com a utilização de eletricidade e combustíveis para diversas finalidades (KAYGUSUZ, 2007). De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) o Brasil é o sétimo país que mais produz eletricidade, atrás da China, Estados Unidos, Índia, Rússia, Japão e Canadá, respectivamente.

Como mencionado por Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007), no decorrer do século XX, o Brasil vivenciou um notável progresso econômico que se traduziu em uma crescente necessidade de energia primária. Esse aumento na demanda de energia pode ser atribuído a diversos fatores, incluindo um substancial processo de industrialização, que envolveu a instalação de indústrias intensivas em energia, além de um significativo crescimento populacional e uma rápida urbanização.

No que diz respeito ao consumo de energia elétrica no Brasil, o setor industrial destaca-se como o maior consumidor, representando 37,3% de acordo com informações da EPE. Diversos fatores causam variações no consumo de energia. Em geral, áreas urbanas consomem mais eletricidade do que áreas rurais. O consumo de energia é influenciado não apenas pela disponibilidade de fontes primárias, mas também pela eficiência da infraestrutura de distribuição e serviços.

O Brasil conta com uma abundância de recursos naturais, o que resulta em uma ampla variedade de fontes de energia em sua matriz energética, que inclui usinas hidrelétricas, termelétricas e outras fontes de energia conforme a figura 2.1.



FONTE: (BEN, 2023)

Notas / Notes:

1. Inclui Lenha, Biodiesel e Outras renováveis / Includes Firewood, Biodiesel and Other Renewables

2. Inclui Óleo Combustível, Gás de Coqueria, Outras Secundárias e Outras Não-Renováveis / Includes Fuel Oil, Coke Oven Gas, Other Secondaries and Other Non-Renewables

Figura 2.1 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte

Apesar do país ser uma nação de vasto território com uma ampla gama de fontes potenciais de geração de eletricidade, sua matriz energética é majoritariamente dominada pela hidroeletricidade. Atualmente, a geração hidrelétrica representa aproximadamente 61,9% do total da oferta de energia elétrica no país.

Conforme afirmado por (NETO, 2012), o modelo de energia baseado em hidrelétricas enfrentou desafios, como em 2001, quando o Brasil sofreu uma crise devido à falta de chuvas e investimentos insuficientes na geração de energia. Essa situação evidenciou a necessidade de reavaliar o modelo energético para reduzir a dependência das hidrelétricas.

2.2 A energia eólica

A energia eólica é a energia derivada dos ventos, que tem como fonte principal um recurso renovável. Suas características, como a ausência de custos com

matéria-prima e disponibilidade inesgotável, a tornam uma opção atraente para diversas aplicações. Historicamente, a força dos ventos têm sido utilizada de diversas formas, incluindo a propulsão de embarcações à vela, o bombeamento de água, a operação de moinhos e a geração de eletricidade (VIAN et al., 2021).

Segundo Kaldellis e Zafirakis (2011), embora a data exata do início da utilização da energia eólica não seja registrada, informações históricas sugerem que seu uso remonta a épocas antigas. Os moinhos de eixo vertical, por exemplo, apareceram na região entre a Pérsia e o Afeganistão por volta de 200 a.C., enquanto os moinhos de eixo horizontal na Holanda e no Mediterrâneo surgiram consideravelmente mais tarde, abrangendo o período entre 1300 e 1875 d.C.

De acordo com Vian et al. (2021), em 1887, na Escócia, foi desenvolvido o primeiro aerogerador, que tinha a capacidade de alimentar um sistema de baterias e fornecer energia para a iluminação de uma casa. No entanto, os primeiros registros de sincronização com a rede datam de 1931, na União Soviética.

" Os primeiros aproveitamentos eolioelétricos com geração de eletricidade em grande escala, alimentando de forma suplementar o sistema elétrico através do emprego de turbinas eólicas de grande porte, foram realizados durante as décadas de 1940-1950, nos Estados Unidos e Dinamarca. "
(SANTOS et al., 2013)

Após a Segunda Guerra Mundial, por quase quatro décadas, os avanços tecnológicos no campo da energia eólica ficaram restritos a poucas pesquisas. Isso se deveu principalmente à abundante disponibilidade de recursos como petróleo e carvão mineral, que eram opções de geração de energia mais atraentes naquele período (LEITE; SOUZA, 2015).

Na década de 1970, devido às crises do petróleo e instabilidades econômicas globais, a energia eólica e outras fontes de energia viram um renascimento nos investimentos (LEITE; SOUZA, 2015). Nesse período, os Estados Unidos e a Alemanha se destacaram, focando em pesquisas, testes e aprimoramentos das turbinas eólicas. Entre as décadas de 70 e 80, várias iniciativas foram lançadas, principalmente nos Estados Unidos e na Dinamarca, com a Alemanha exercendo uma função fundamental no avanço da tecnologia eólica na Europa, contribuindo para transformá-la no principal mercado de geração de energia eólica ao fim da década 90 (VIAN et al., 2021).

Segundo [Marques et al. \(2004\)](#), no Brasil, na década de 90, principalmente durante a Conferência do Rio de Janeiro, em 1992, diversas organizações brasileiras estabeleceram acordos de colaboração com instituições estrangeiras, o objetivo era promover o desenvolvimento de fontes alternativas de energia no país. Nesse período, os primeiros projetos experimentais de energia eólica foram implementados nas regiões Norte e Nordeste, que sofriam com uma falta significativa de abastecimento elétrico. A maioria desses projetos tinha como meta a descentralização da geração de energia elétrica no Brasil.

A primeira turbina eólica do Brasil foi instalada em Fernando de Noronha, no ano de 1992. Uma década mais tarde, o governo estabeleceu o [PROINFA](#) (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) pela Lei nº 10.438/2002, a partir de então, o mercado de energia eólica brasileiro cresceu consideravelmente.

" O programa resultou na contratação de 1100 MW para a fonte eólica, dos quais 79% encontram-se hoje em operação ou em construção. Um segundo impulso foi dado no ano de 2009, quando o Segundo Leilão de Energia de Reserva, promovido pelo Ministério das Minas e Energia – MME foi aberto exclusivamente à participação da fonte eólica, resultando em uma contratação de 1.805 MW em todo o país, dos quais o equivalente a 390 MW destinavam-se a projetos na Bahia. "

[\(SANTOS et al., 2013\)](#)

2.3 Cenário da energia eólica na Bahia

O Estado da Bahia está situado na parte mais ao sul da região Nordeste do Brasil, ocupando o quinto lugar em extensão territorial, com 567.295.03 km², e uma população de 14 milhões de pessoas, de acordo com o [IBGE](#), a quarta maior do país.

O território baiano é diverso em vários aspectos, como sociais, culturais, econômicos e ambientais. Possui uma grande variedade de biomas e uma população formada por uma mistura de povos, incluindo povos tradicionais do Brasil pré-colonial, africanos e imigrantes de várias partes do mundo, como portugueses, espanhóis, alemães, japoneses, entre outros ([BARRETO, 2018](#)).

Na Bahia, assim como em todo o território brasileiro, existe uma variedade de sistemas de fornecimento de energia elétrica. Observa-se os principais tipos de usinas geradoras de energia: hidrelétricas, termelétricas, eólicas e fotovoltaicas. Esses diversos sistemas operam de forma integrada para atender à demanda energética do estado, destacando-se a geração de energia hidrelétrica como um dos pilares fundamentais desse suprimento.

No entanto, essa dependência considerável da energia hidrelétrica pode resultar em custos mais elevados para os consumidores finais, especialmente durante os períodos de estiagem, quando a disponibilidade de água nos reservatórios se torna limitada e a situação se torna crítica. Isso ocorre devido à necessidade de recorrer a fontes alternativas de energia, como as termelétricas, que frequentemente demandam custos mais elevados de produção e, conseqüentemente, podem impactar os preços da energia elétrica para os consumidores.

Segundo o Boletim de Geração Eólica de 2022 da [ABEEólica](#), a Bahia lidera o ranking dos estados brasileiros com a maior geração eólica do ano de 2022 (24,17 TWh) e maior fator capacidade¹ médio nesse mesmo período (44,9%). Com base nessas projeções, é evidente que o setor de energias renováveis na Bahia está em expansão e se afirma como um dos principais centros de produção de componentes para a cadeia de energia eólica em todo o país.

Em 2018, foram comercializados um total de 182 projetos nos leilões de energia conduzidos pela [ANEEL](#) (Agência Nacional de Energia Elétrica). Esses parques estão em desenvolvimento em 23 municípios localizados principalmente no eixo central do estado da Bahia. Na tabela [2.1](#), é possível verificar os empreendimentos acordados no estado, nesse período:

¹O termo "fator capacidade", que está sendo utilizado neste contexto, será devidamente explorado na seção [2.7](#) desse projeto.

2.3. CENÁRIO DA ENERGIA EÓLICA NA BAHIA

Tabela 2.1 – Dados sobre as usinas eólicas contratadas nos leilões nos municípios da Bahia

MUNICÍPIO	EMPRESAS	INVESTIMENTO (R\$)	MW	QTD DE USINA
Bonito - BA	EDF/ENEL	184.436.150,00	40	2
Brotas de Macaúbas - BA	DESENVIX (STATKRAFT)	380.760.000,00	95,2	3
Brumado - BA	ENEL	293.842.200,00	60	2
Caetité - BA	BW GUIRAPA/IBERDROLA/RENOVA/RIO ENERGY	2.878.211.500,00	782,7	36
Cafarnaum - BA	ENEL	407.842.400,00	89,9	3
Campo Formoso - BA	ATLANTIC/ENEL	1.417.830.940,00	360	13
Casa Nova - BA	CHESF	251.745.500,00	52	2
Dom Basílio - BA	ENEL	146.921.100,00	30	1
Gentio do Ouro - BA	CER ENERGIA	1.787.791.360,00	416	17
Guanambi - BA	RENOVA	731.342.900,00	182,5	9
Igaporã - BA	ENEL/RENOVA	2.214.776.570,00	541,8	31
Itaguaçu da Bahia - BA	CGEOL	960.770.000,00	280	10
Licínio de Almeida - BA	RENOVA	84.211.200,00	21	1
Morro do Chapéu - BA	ENEL/RIO ENERGY/PEC ENERGIA	1.836.266.000,00	452,9	16
Mulungu do Morro - BA	EDF	781.206.120,00	170,6	6
Ourolândia - BA	EDP	257.600.000,00	56	2
Pindaí - BA	BW GUIRAPÁ/GPEXPAN/RENOVA	834.162.740,00	272,8	18
Riacho de Santana - BA	RENOVA	371.288.030,00	94,8	5
Sento Sé - BA	BRENNAND/ENEL/RENOVA/TRACTEBEL	2.709.493.220,00	976,2	42
Sobradinho - BA	GESTAMP	798.098.220,00	188	7
Urandi - BA	RENOVA	72.000.000,00	18	1
Várzea Nova - BA	EDP	360.400.000,00	84	3
Xique-Xique - BA	CER ENERGIA	404.779.880,00	108	4

FONTE: ANEEL, CCEE e SDE (2018)

Em 2023, de acordo com o SDE, a Bahia possui 286 usinas em operação, distribuídas em 31 municípios, 68 usinas em construção e 207 usinas com construção não iniciada, conforme a Figura 2.2.

FONTE: Adaptada ANEEL, Set/2023. SDE, Set/2023

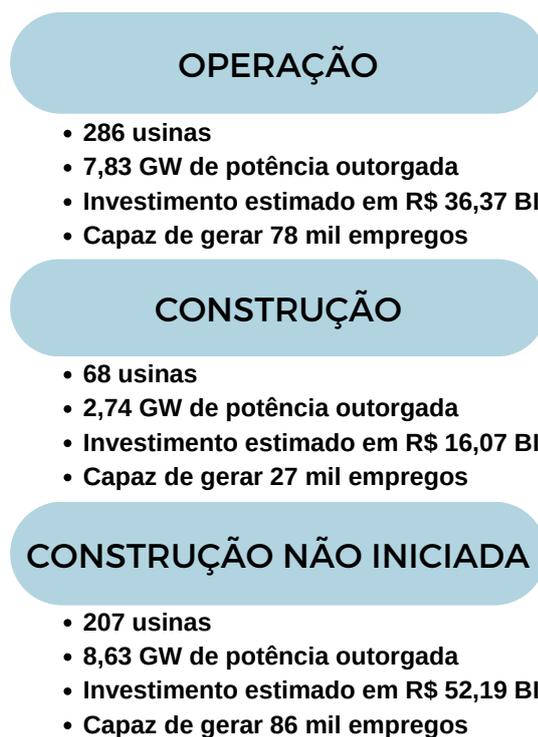


Figura 2.2 – Quadro de usinas eólicas em operação, construção e construção não iniciada na Bahia

2.4 Lei da Potência e Coeficiente de Hellmann

Segundo [Vian et al. \(2021\)](#) “o vento é dependente do clima do local e, apesar de manter a característica da distribuição, tem forma e escala distintas para cada período.” Portanto, é fundamental a utilização de um método que calcule a média da velocidade dos ventos em qualquer altura, a partir de velocidades em alturas conhecidas.

É evidente que a realização de medições de velocidade do vento em todas as alturas relevantes para um projeto eólico é uma tarefa impraticável. Portanto, recorre-se à extrapolação da velocidade medida para alturas diferentes, utilizando expressões matemáticas. Os métodos empregados para estimar a variação da velocidade do vento em relação à altura podem ser descritos por meio de modelos matemáticos, sendo os mais comuns a lei logarítmica e a lei de potência ([MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010](#)).

Esse cálculo desempenha um papel crucial devido à variação das alturas de instalação das turbinas. Isso permite que as medições sejam realizadas em uma

altura padrão, com a posterior correção para a altura específica de instalação da turbina. Dessa forma, é possível estimar a velocidade do vento para diversas alturas.

O coeficiente de Hellmann, apresentado por Hellman em 1916, é um fator que descreve a variação vertical da velocidade do vento através da equação da lei de potência (HADI, 2015). O perfil da lei de potência estabelece que a relação entre as velocidades do vento em diferentes altitudes pode ser calculada usando a equação 2.1:

$$v = v_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^a \quad (2.1)$$

Para encontrar o valor de a , podemos reescrever a equação 2.1, conforme a equação 2.2:

$$a = \frac{\ln \left(\frac{v}{v_0} \right)}{\ln \left(\frac{h}{h_0} \right)} \quad (2.2)$$

Em que:

- h_0 ⇒ Altura de referência;
- h ⇒ Altura que se deseja estimar a velocidade;
- v_0 ⇒ Velocidade medida na altura h_0 ;
- v ⇒ Velocidade prevista para altura h ;
- a ⇒ Coeficiente de Hellmann.

É importante ressaltar que, a fim de determinar o coeficiente de Hellmann, é imprescindível possuir medições de vento em duas alturas no mesmo local. Uma vez que o coeficiente é calculado, torna-se possível estimar a velocidade do vento em qualquer altura desejada.

De acordo com Vian et al. (2021), do ponto de vista da geração, alturas maiores são mais desejadas por apresentarem melhor estabilidade da velocidade do vento e menor turbulência, entrando em conflito com as necessidades construtivas da torre, que deve suportar maior peso e maiores esforços mecânicos.

2.5 Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull, nomeada em homenagem a Waloddi Weibull em 1951, é uma função de probabilidade contínua com um único pico, que pode ser caracterizada por dois ou três parâmetros (BARBOSA, 2016). Ela é amplamente aplicada em diversos contextos e populações. Diversas distribuições probabilísticas foram propostas para modelar os padrões de vento, no entanto, a distribuição de Weibull é frequentemente vista como a mais apropriada (CASTRO; RENOVÁVEIS; DESCENTRALIZADA, 2004).

A função densidade de probabilidade de Weibull é dada pela equação 2.3.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (2.3)$$

Em que:

- $f(v)$ \Rightarrow Função de densidade de probabilidade;
- v \Rightarrow Velocidade (m/s);
- k \Rightarrow Fator de forma (adimensional);
- c \Rightarrow Fator escala (m/s).

O fator de forma serve para descrever a distribuição de velocidade do vento e o fator escala, para descrever onde a velocidade do vento está mais concentrada. Existem diversos métodos utilizados para determinar esses parâmetros. Dentre eles, um método amplamente utilizado é o Método Empírico de Justus (EMJ) (JUSTUS et al., 1978), k e c são dados a partir das Equações 2.4 e 2.5:

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{V}}\right)^{-1,086} \quad (2.4)$$

$$c = \frac{\bar{V}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (2.5)$$

A média das velocidades (\bar{V}) é definido pela equação 2.6, a função Gamma (Γ) pela equação 2.7 e o desvio padrão (σ) pela equação 2.8:

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N V_i \quad (2.6)$$

$$\Gamma(t) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{t-1} dx \quad (2.7)$$

Com $x \geq 0$; $x = \left(\frac{v}{c}\right)^k$; $(t - 1) = \left(\frac{1}{k}\right)$

$$\sigma = \left[\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (V_i - \bar{V})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.8)$$

Dado que N é o número de valores no conjunto de dados.

Segundo [Justus et al. \(1978\)](#), algumas vantagens notáveis da utilização da distribuição de Weibull incluem:

- ▶ Simplicidade de Aplicação: Essa função requer apenas a determinação de dois parâmetros, tornando sua aplicação direta e descomplicada;
- ▶ Extrapolabilidade: Com os parâmetros c e k conhecidos a uma altura específica, é possível realizar a extrapolação direta da distribuição para outras alturas, facilitando a análise em diferentes contextos.

De acordo com [Mohammed et al. \(2019\)](#), a expressão da distribuição de Weibull é válida quando $k > 1$ e $c > 0$, com o fator de forma k normalmente variando de 1 a 3. Em termos práticos, para uma velocidade média do vento específica, um fator de forma menor sugere uma distribuição mais ampla das velocidades do vento em relação à média, enquanto um fator de forma maior sugere uma distribuição mais concentrada em torno da média. Geralmente, um fator de forma menor está associado a uma maior produção de energia para uma velocidade média do vento dada.

Os valores de k , segundo [Hadi \(2014\)](#), se comporta da seguinte maneira:

- ▶ $k = 1$. A distribuição de Weibull é equivalente à distribuição exponencial;
- ▶ $k = 2$. A distribuição de Weibull é equivalente à distribuição de Rayleigh;

- ▶ k está entre 3 e 4. A distribuição de Weibull se aproxima da distribuição normal e fornece a melhor estimativa;
- ▶ $k = 5$. A distribuição de Weibull se aproxima da distribuição normal com pico.

2.6 Extrapolação dos parâmetros de Weibull em diferentes alturas

As equações pertinentes para a extrapolação dos parâmetros de forma e escala da distribuição de Weibull, em relação à variação da altura, têm como base, em parte, os princípios da lei de potência (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2010).

Hadi (2015) e (MOHAMMED et al., 2019), mostram que a relação da lei de potência entre os perfis de vento (representada pelo coeficiente de Hellman - equação 2.1) estava alinhada com a variação na altura da distribuição da velocidade do vento de Weibull.

Assim, se as funções de Weibull, c_1 e k_1 , forem conhecidas a uma altura específica, h_1 , então é possível calcular os valores de c_2 e k_2 em qualquer altura desejada, h_2 (HADI, 2015), usando as equações 2.9 e 2.10:

$$c_2 = c_1 \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^n \quad (2.9)$$

$$k_2 = k_1 \frac{1 - 0,0881 \ln(h_1/10)}{1 - 0,0881 \ln(h_2/10)} \quad (2.10)$$

com n dado por:

$$n = \frac{0,37 - 0,0881 \ln(c_1)}{1 - 0,0881 \ln(h_2/10)} \quad (2.11)$$

Dessa forma, é possível criar o gráfico da distribuição de Weibull para uma determinada altura desejada a partir dos dados iniciais coletados.

2.7 Fator capacidade e Energia

O fator de capacidade é um indicador que quantifica a energia gerada por uma turbina eólica em um local específico. Ele é calculado como a razão entre a energia efetivamente produzida pelo sistema e a energia que poderia ter sido gerada caso o dispositivo operasse constantemente em sua capacidade máxima ao longo de um intervalo de tempo (HADI, 2014). O fator capacidade de uma turbina eólica pode ser estimado pela Equação 2.12, com base na função de distribuição de Weibull (MAHMOOD; RESEN; KHAMEES, 2020).

$$FC = \frac{P_{vm}}{P_r} = \frac{e^{-\left(\frac{v_{in}}{c}\right)^k} - e^{-\left(\frac{v_r}{c}\right)^k}}{\left(\frac{v_r}{c}\right)^k - \left(\frac{v_{in}}{c}\right)^k} - e^{-\left(\frac{v_{out}}{c}\right)^k} \quad (2.12)$$

Na Equação 2.12, v_{in} representa a velocidade de cut-in, enquanto v_r representa a velocidade nominal e v_{out} , a velocidade de cut-off. Na região de cut-in da curva de potência de uma turbina, há um rápido aumento na potência gerada, essa região está localizada entre a região da velocidade de partida e a região da velocidade nominal. Na região da velocidade nominal, é produzida uma saída constante até chegar na região de cut-off, que é a região de desligamento da turbina, (SOHONI et al., 2016), conforme a Figura 2.3.

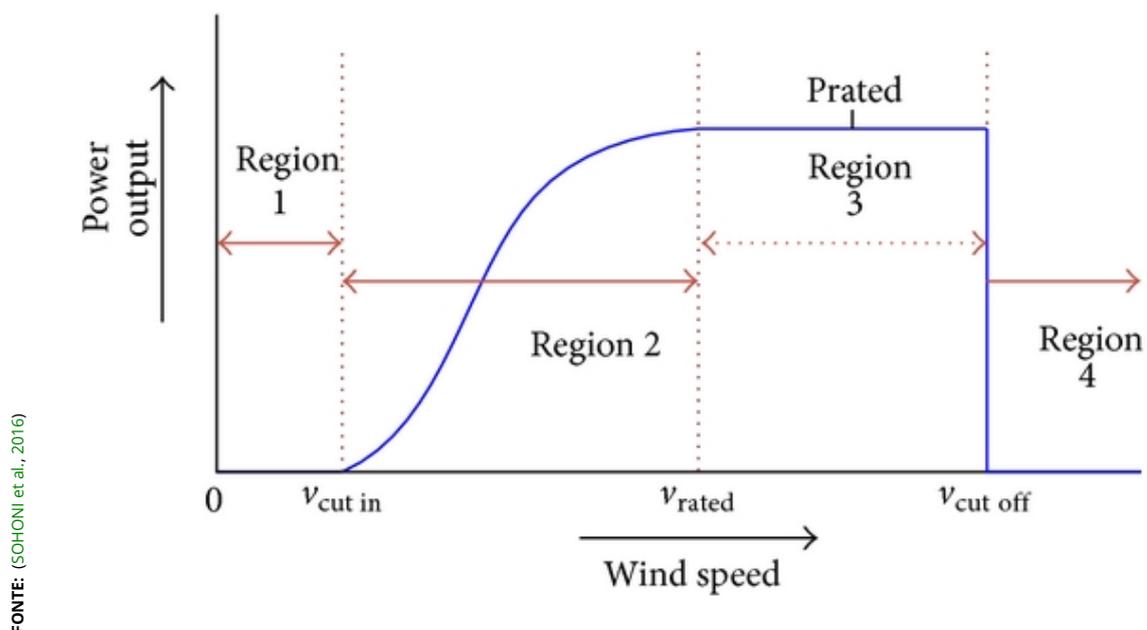


Figura 2.3 – Curva de Potência

" FC é uma função das características da turbina e das características do regime de vento. Todas as turbinas eólicas têm fatores de capacidade e eles variam dependendo dos recursos, tecnologia e finalidade. "

(HADI, 2014)

Além disso, o autor cita também que, o fator capacidade para energia eólica, está na faixa de 20-40%.

Segundo Hadi (2014), a quantidade de energia (E) que se espera de uma turbina eólica é influenciada por três fatores:

- ▶ Como a turbina responde em termos de potência a diferentes velocidades do vento;
- ▶ A intensidade do padrão de vento predominante;
- ▶ Como a velocidade do vento é distribuída dentro desse padrão.

A densidade de energia eólica é expressa pela Equação 2.13.

$$E = FC * Pr * 8760 \quad (2.13)$$

Em que, 8760 reapresenta a quantidade de horas em um ano e Pr é a potência nominal.

À medida que a velocidade do vento ultrapassa a velocidade de acionamento, a potência de saída elétrica aumenta rapidamente. No entanto, atinge um ponto em que o gerador não pode mais gerar acima desse limite, chamado de potência nominal. Em ventos mais fortes, a turbina é projetada para limitar a potência a esse nível máximo, sem aumentos adicionais na potência de saída (CHIRAS, 2010).

2.8 Turbinas Eólicas

Existem dois principais de aerogeradores: com eixo vertical e os com eixo horizontal. Dado que a configuração de eixo horizontal prevalece globalmente e no cenário brasileiro (LAGE; PROCESSI, 2013). Esses rotores variam em termos de custo de produção, eficiência e na velocidade do vento em que atingem seu de-

sempenho máximo.

Os aerogeradores de eixo horizontal são os mais reconhecidos e mais utilizados, devido à sua eficiência superior, o que compensa seu custo mais elevado. Os rotores de 3 pás são os mais comuns para geração de energia elétrica em larga escala, funcionando como fontes de energia renovável, impulsionados unicamente pela força de sustentação. Esses rotores também se destacam pela eficácia, graças à sua maior resistência ao ar.

" Além disso, as turbinas eólicas podem ser classificadas quanto ao porte: pequeno porte, para potência abaixo de 10 kW; médio porte, para potências entre 10 kW e 250 kW; e grande porte, para potências acima de 250 kW. "

(LAGE; PROCESSI, 2013)

Segundo Hadi (2014), as turbinas eólicas de eixo horizontal capturam a energia cinética do vento por meio de um rotor tipo hélice, com o eixo de rotação paralelo à direção do vento. Por outro lado, nas turbinas eólicas de eixo vertical, o fluxo de vento é perpendicular ao eixo de rotação do rotor, o qual é perpendicular à superfície da Terra. Essas turbinas podem capturar o vento proveniente de qualquer direção.



Figura 2.4 – Turbinas eólicas de eixo horizontal e eixo vertical

Capítulo 3

Metodologia

O presente trabalho é caracterizado como uma pesquisa científica. A metodologia inclui uma revisão da literatura relacionada à energia eólica, turbinas eólicas, bem como métodos para a análise do potencial eólico em uma área de estudo específica.

Primeiramente, foi escolhido um ponto com uma turbina instalada no município de Caetité, e um ponto com características semelhantes nos municípios de Paramirim e de Érico Cardoso, conforme a tabela 3.1 a seguir:

Tabela 3.1 – *Localidade, latitude, longitude e altitude estudadas*

Localidade	Latitude	Longitude	Altitude
Caetité	-14.149885	-42.482738	1100m
Paramirim	-13.571563	-42.318471	1000m
Érico Cardoso	-13.483669	-42.114473	1100m

FONTE: Elaborada pelo autor

Na figura 3.1, é possível observar a localização dos pontos citados na tabela 3.1.

dessem permitir que houvesse a extração de informações para serem aplicadas no estudo. Para isso, os dados foram traduzidos em gráficos, que demonstrassem visualmente características das regiões, permitindo comparações tanto entre as regiões como entre as amostragens da base temporal. Permitindo um quadro comparativo que identifica os meses e anos com velocidades mais altas, mais baixas ou características específicas que contribuem para o estudo.

Após o devido tratamento, essas planilhas foram empregadas como dados de entrada nos cálculos de potência, conforme descrito na revisão teórica. A realização desses cálculos foi possível por meio do software GNU Octave, uma ferramenta amplamente utilizada na resolução de diversos problemas numéricos.

Adicionalmente, optou-se por incluir turbinas comerciais no cálculo da geração de energia eólica para tornar os resultados mais próximos da realidade. Cada turbina possui seus próprios parâmetros, o que gera variações nos resultados ao compará-las. Portanto, é crucial realizar uma análise cuidadosa para determinar qual turbina é a mais adequada para cada região estudada, com base em sua eficiência. Esse processo de simulação visa proporcionar uma visão das oportunidades e do potencial de geração de energia eólica, orientando decisões futuras em projetos de energia renovável.

A Figura 3.2, ilustra o fluxograma do processo de execução desse projeto de conclusão de curso.

FONTE: Elaborada pelo autor

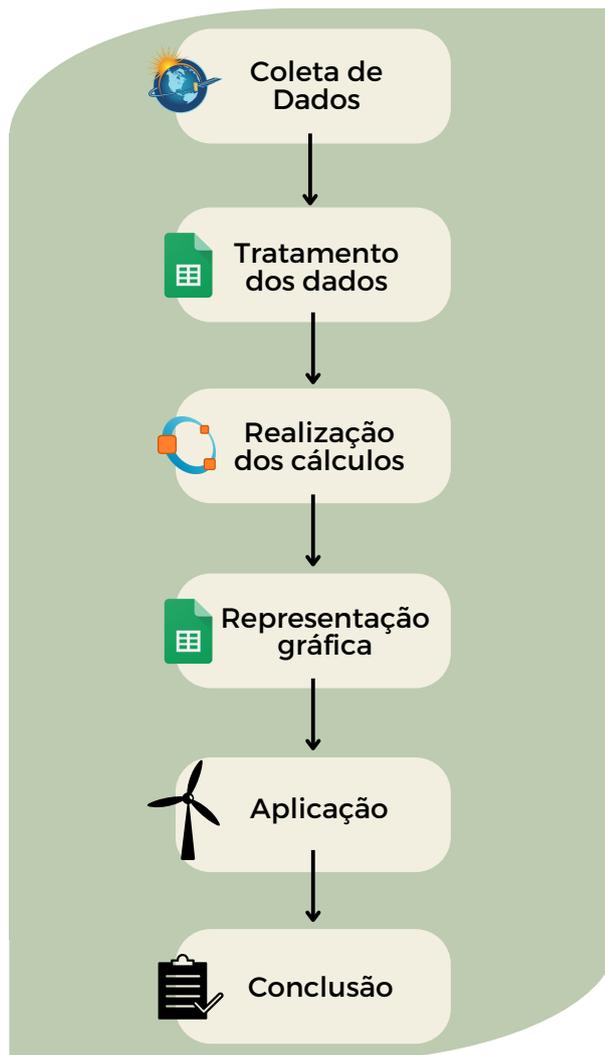


Figura 3.2 – Fluxograma do trabalho

Capítulo 4

Desenvolvimento

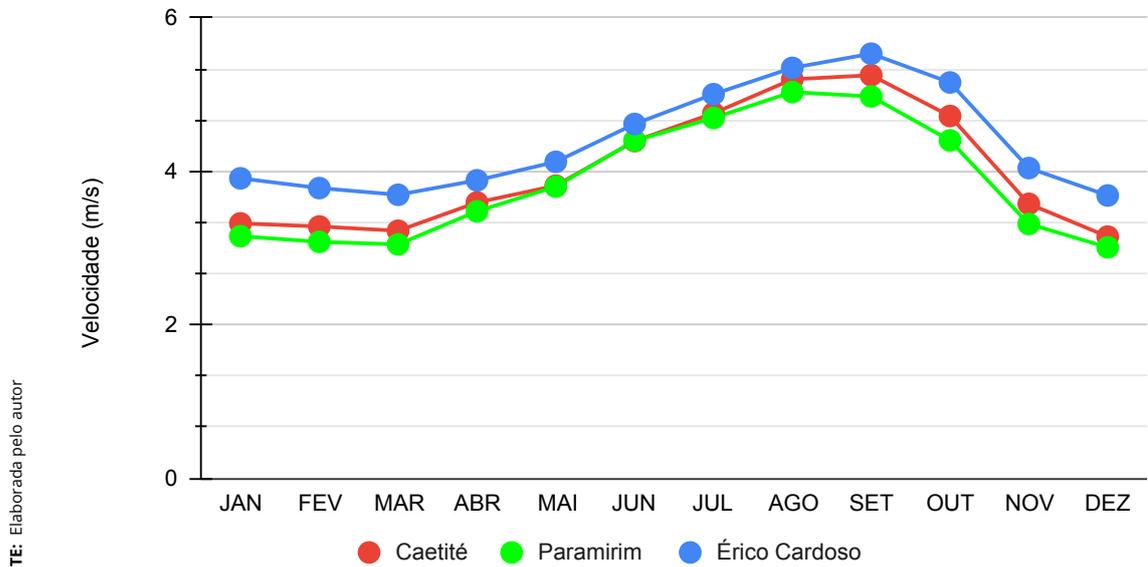
4.1 Resultados

4.1.1 Velocidades médias mensais

Através da obtenção de dados utilizando o sistema [POWER](#), foi realizada uma análise que abrange o período de 2003 a 2022. Especificamente, o escopo da análise englobou a avaliação da média mensal das velocidades do vento em duas alturas distintas, a 10 metros e a 50 metros acima do solo, em três regiões previamente identificadas, conforme detalhado na Tabela [3.1](#).

Essas informações foram organizadas e registradas em uma planilha, permitindo calcular a média das velocidades do vento mês a mês em cada uma das regiões sob investigação. Posteriormente, os resultados desses cálculos foram representados de forma gráfica, proporcionando uma visualização das tendências e padrões observados. Os gráficos ilustrados nas Figuras [4.1](#) e [4.2](#), mostram a variação nas velocidades dos ventos ao longo de 20 anos nas alturas de 10m e 50m, respectivamente.

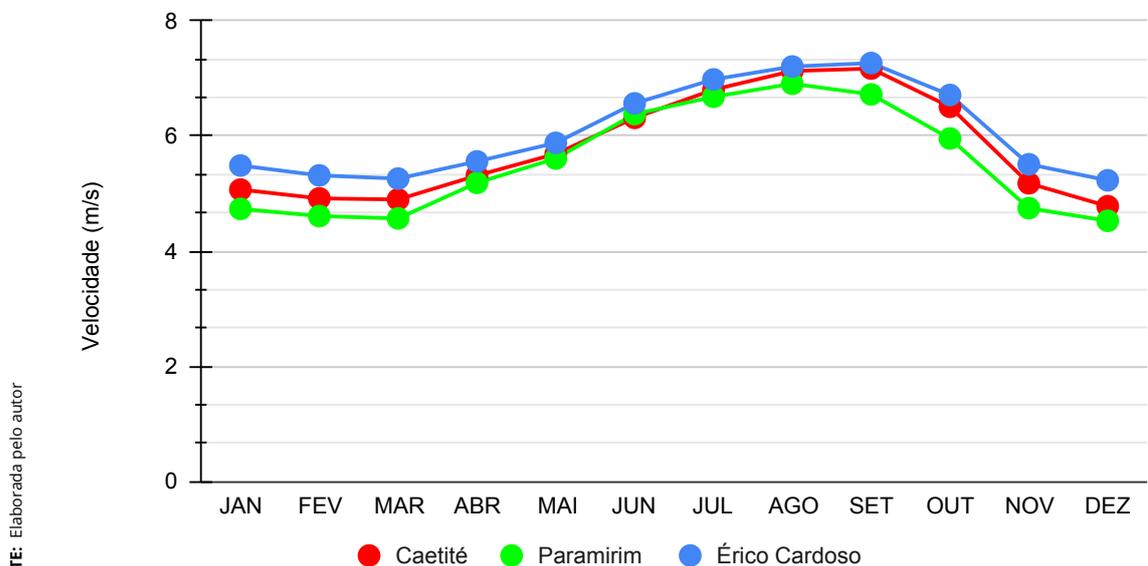
Velocidade média Mensal (m/s) - 10 metros



FONTE: Elaborada pelo autor

Figura 4.1 – Velocidade média mensal na altura de 10m

Velocidade média Mensal (m/s) - 50 metros



FONTE: Elaborada pelo autor

Figura 4.2 – Velocidade média mensal na altura de 50m

As médias de velocidade do vento nas regiões estudadas apresentam semelhanças notáveis. No entanto, Caetité, em geral, registra velocidades médias de vento superiores às de Paramirim, enquanto as médias de velocidade em Caetité

são inferiores às de Érico Cardoso. Essa variação nas médias de vento entre as regiões pode estar relacionada a diversos fatores geográficos, climáticos e topográficos que influenciam o comportamento dos ventos.

Na Tabela 4.1 e nos gráficos das Figuras 4.1 e 4.2, é possível identificar meses específicos que se destacam. Os meses com as médias mais elevadas de velocidade do vento são Agosto e Setembro, sugerindo que esses períodos podem ser particularmente favoráveis para aplicações que dependem de ventos mais fortes. Por outro lado, o mês com a média mais baixa de velocidade do vento é Dezembro.

Tabela 4.1 – Velocidades médias máximas e mínimas mensal por localidade

	Localidade	\bar{V}_{max} m/s	Mês com \bar{V}_{max}	\bar{V}_{min} m/s	Mês com \bar{V}_{min}
10m	Caetité	5,25	Setembro	3,14	Dezembro
	Paramirim	5,03	Agosto	3,00	Dezembro
	Érico Cardoso	5,53	Setembro	3,68	Dezembro
50m	Caetité	7,17	Setembro	4,78	Dezembro
	Paramirim	6,90	Agosto	4,25	Dezembro
	Érico Cardoso	7,26	Setembro	5,23	Dezembro

FONTE: Elaborada pelo autor

Essas informações estão de acordo as informações presentes no Atlas Eólico da Bahia, o qual indica que as velocidades do vento alcançam seus valores máximos durante o segundo semestre, compreendendo o período do inverno à primavera (SANTOS et al., 2013). Tal consistência nos dados reforça a tendência de ventos mais intensos nessa região, especialmente entre os meses de junho a setembro.

4.2 Velocidades médias anuais

As Figuras 4.3 e 4.4, ilustram os gráfico referentes às médias anuais, entre os anos de 2003 e 2022. Nota-se que Érico Cardoso apresenta as médias anuais mais altas, seguido por Caetité e, por último, Paramirim.

Velocidade média Anual (m/s) - 10 metros

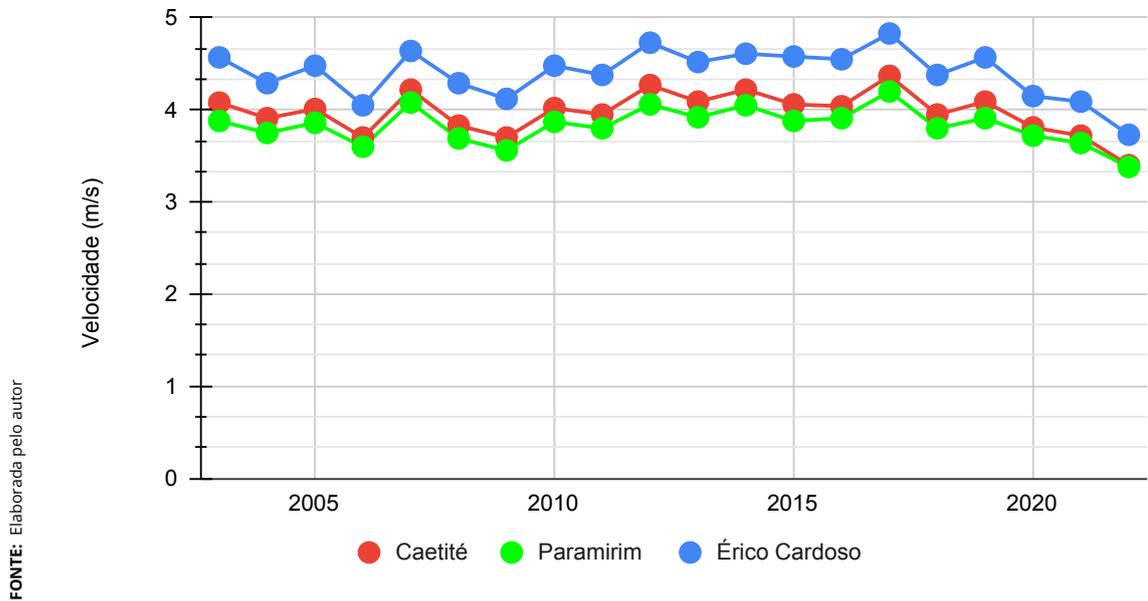


Figura 4.3 – Velocidade média anual na altura de 10m

Velocidade média Anual (m/s) - 50 metros

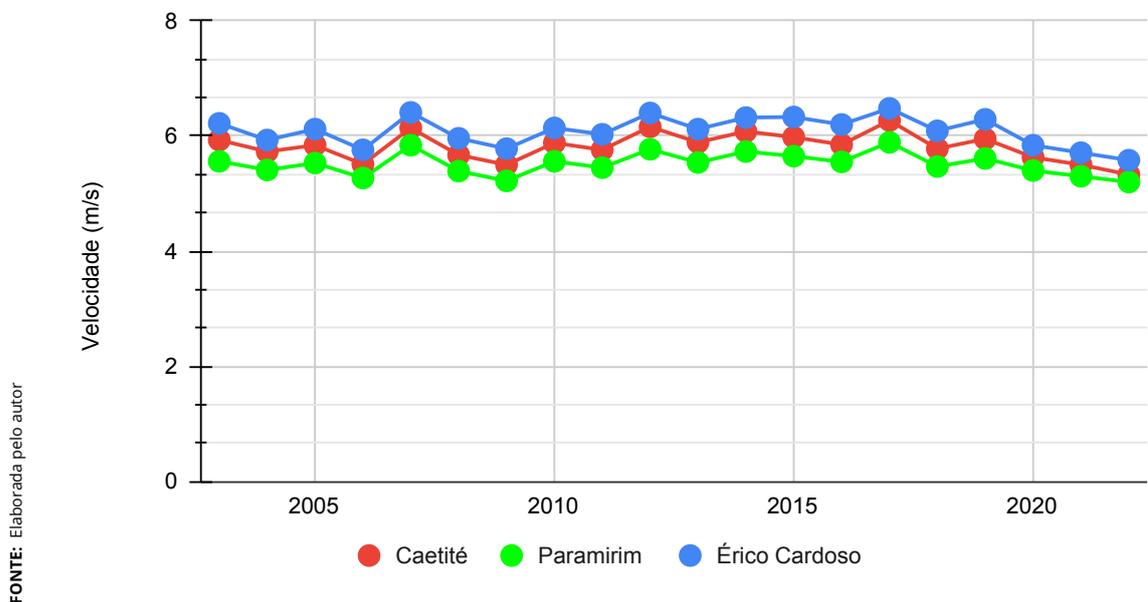


Figura 4.4 – Velocidade média anual na altura de 50m

Além disso, é possível inferir que o ano de 2017 apresentou a maior média anual de velocidade do vento em todas as localidades, ao passo que o ano de 2022 registrou as médias mais baixas, como foi detalhado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Velocidades médias máximas e mínimas anual por localidade

	Localidade	\bar{V}_{max} m/s	Ano com \bar{V}_{max}	\bar{V}_{min} m/s	Ano com \bar{V}_{min}
10m	Caetité	4,37	2017	3,40	2022
	Paramirim	4,20	2017	3,38	2022
	Érico Cardoso	4,83	2017	3,73	2022
50m	Caetité	6,27	2017	5,33	2022
	Paramirim	5,89	2017	5,20	2022
	Érico Cardoso	6,48	2017	5,58	2022

FONTE: Elaborada pelo autor

Dado que as áreas de estudo estão geograficamente próximas, é notável a similaridade nos padrões de vento mencionados anteriormente. Essa semelhança é vantajosa, uma vez que as velocidades do vento em Caetité funcionam como uma base sólida para comparação, dado que a região já abriga um parque eólico em operação.

4.2.1 Coeficiente de Hellmann

A partir dos dados coletados, utilizando a Equação 2.2, foi possível calcular o coeficiente de Hellmann, para as três localidades, utilizando os dados apresentadas na Sessão 4.1.1 e 4.2. O comparativo gráfico entre os dados obtidos podem ser observados na Figura 4.5 a seguir:

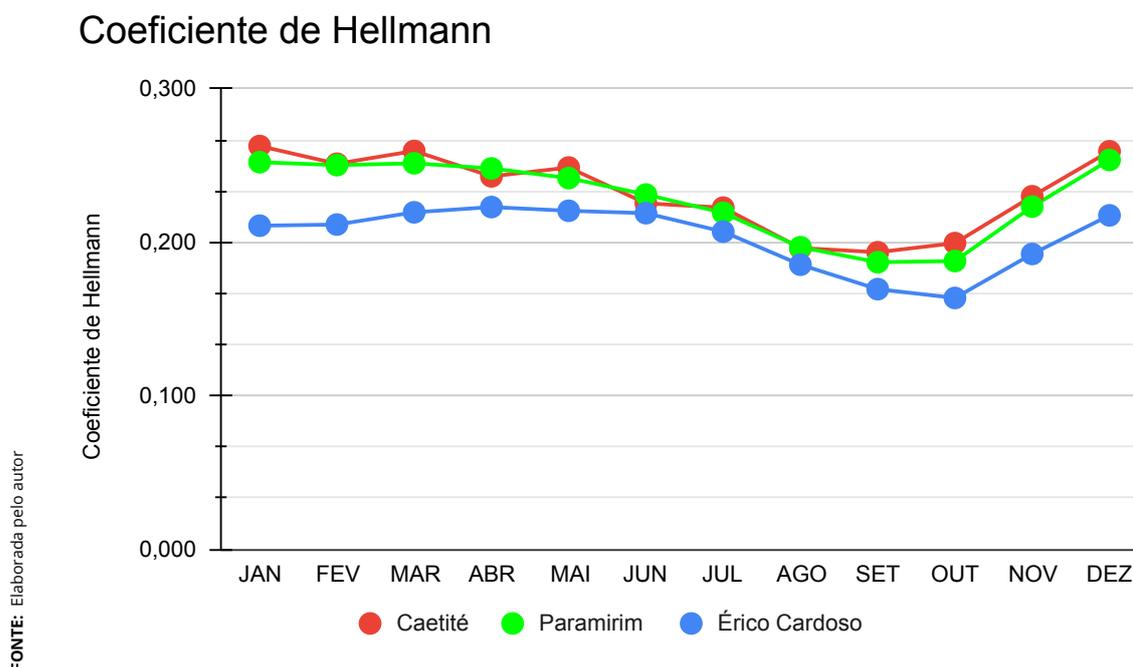


Figura 4.5 – Coeficiente de Hellmann

Observa-se que o local de estudo no município de Érico Cardoso possui os menores coeficientes de Hellmann entre os três municípios, indicando uma menor taxa de variação com o aumento da altura. Em contrapartida, os coeficientes de Hellmann nos pontos dos municípios de Paramirim e Caetité são bastante próximos e maiores do que os coeficientes de Érico Cardoso, indicando que as velocidades nesses pontos variam mais com o aumento da altura. Portanto, os municípios de Paramirim e Caetité têm potencial para atingir velocidades superiores com o aumento da altura, enquanto o município de Érico Cardoso, embora possua médias de velocidade do vento mais altas, apresenta variações menos acentuadas com o aumento da altura.

4.2.2 Distribuição de Weibull

Para a realização dos gráficos de distribuição de Weibull foram determinadas as alturas de 80m e 100m, para realizar a extrapolação de dados, pois essas alturas são comuns de instalação de turbinas eólicas.

O expoente de extrapolação da distribuição de Weibull é necessário para estimar a velocidade do vento em alturas diferentes das obtidas através de observações reais. Ele permite que sejam feitas projeções precisas das condições de

vento em diferentes altitudes, fornecendo informações importantes para o planejamento de parques eólicos.

Utilizou-se os dados coletados ao longo dos anos de 2003 a 2022 e a teoria apresentadas nas Sessões 2.5 e 2.6, foi possível plotar os gráficos de distribuição de Weibull, para as alturas de 80m e 100m, conforme as Figuras 4.6 e 4.7, respectivamente.

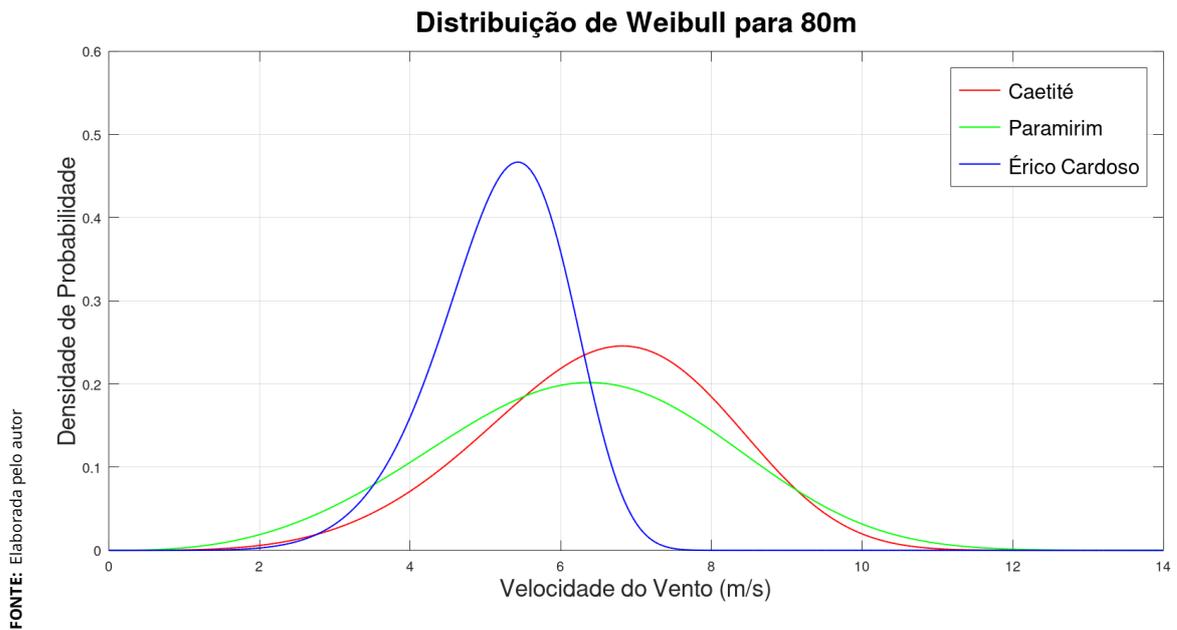


Figura 4.6 – Distribuição de Weibull para 80m

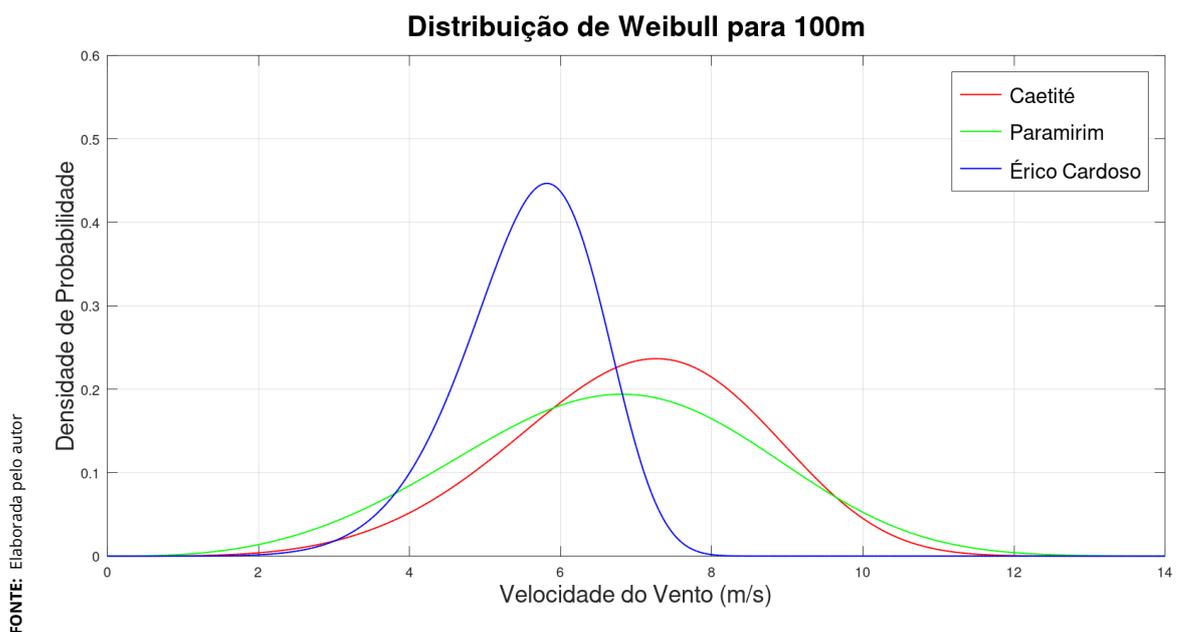


Figura 4.7 – Distribuição de Weibull para 100m

A forma da curva de probabilidade de Weibull fornece informações sobre a variabilidade da velocidade do vento em uma determinada localidade. Uma curva mais achatada indica uma distribuição mais uniforme de velocidades, enquanto uma curva mais inclinada sugere uma maior variabilidade.

O parâmetro de escala da distribuição de Weibull está diretamente relacionado à velocidade média do vento. Um aumento no valor desse parâmetro implica em maiores velocidades médias, o que é essencial para a avaliação do potencial de geração de energia.

Com base nas curvas exibidas nos gráficos das Figuras 4.6 e 4.7, o ponto estudado no município de Érico Cardoso indica a menor variação em relação aos outros dois pontos, isso exibe a constância na velocidade dos ventos na região. Entretanto, a velocidade média na região é a menor entre as três, com o pico da curva em torno de 4,5 m/s a 80 metros e levemente mais próximo ao valor de 6 m/s a 100 metros. Ao comparar os pontos estudados nos municípios de Caetité e Paramirim, observa-se que apesar de os valores serem próximos, a curva de probabilidade de Caetité indica que a média das velocidades é maior e levemente mais uniforme e as velocidades são levemente maiores que a velocidade em Paramirim, esse comportamento acontece em ambas alturas, 80 e 100 metros.

Com base nos dados obtidos, procedeu-se ao cálculo dos coeficientes correspondentes a cada mês em todas as regiões. No entanto, para a obtenção da distribuição de probabilidade de Weibull, optou-se por calcular a média desses coeficientes. Posteriormente, esse valor médio foi utilizado para determinar a curva de distribuição de probabilidade de Weibull.

Os valores dos parâmetros k , c e a velocidade média mensal para as alturas de 10 e 50 metros, utilizados para extrapolação de dados de alturas mais elevadas, podem ser vistos nas Tabelas 4.3, 4.4 e 4.5, a seguir.

Tabela 4.3 – Parâmetros mensais de Weibull (k , c) do local em Caetité a uma altura de 10 e 50 metros, respectivamente.

Mês	Vm (m/s)	k (-)	c (m/s)	Vm (m/s)	k (-)	c (m/s)
Jan	3,321	3,235	3,706	5,069	3,636	5,622
Fev	3,281	3,074	3,670	4,916	3,404	5,471
Mar	3,225	3,215	3,600	4,897	3,549	5,439
Abr	3,594	3,637	3,986	5,313	4,011	5,861
Mai	3,813	3,876	4,214	5,690	4,589	6,227
Jun	4,394	4,803	4,797	6,316	5,618	6,833
Jul	4,756	5,146	5,171	6,805	6,230	7,320
Ago	5,199	5,061	5,658	7,130	5,868	7,694
Set	5,253	4,654	5,744	7,172	5,454	7,772
Out	4,721	3,799	5,223	6,508	4,236	7,156
Nov	3,576	3,025	4,003	5,178	3,385	5,765
Dez	3,149	3,123	3,520	4,780	3,438	5,318

FONTE: Elaborada pelo Autor

Tabela 4.4 – Parâmetros mensais de Weibull (k , c) do local em Paramirim a uma altura de 10 e 50 metros, respectivamente.

Mês	Vm (m/s)	k (-)	c (m/s)	Vm (m/s)	k (-)	c (m/s)
Jan	3,155	3,199	3,522	4,734	3,136	5,291
Fev	3,081	2,956	3,452	4,609	3,030	5,159
Mar	3,048	3,112	3,407	4,568	2,850	5,126
Abr	3,479	3,366	3,874	5,186	3,325	5,779
Mai	3,801	3,699	4,211	5,609	3,422	6,241
Jun	4,399	4,733	4,806	6,381	3,923	7,047
Jul	4,695	4,917	5,118	6,682	4,305	7,340
Ago	5,033	4,882	5,489	6,908	4,360	7,584
Set	4,976	4,325	5,465	6,723	4,219	7,395
Out	4,403	3,633	4,883	5,956	3,699	6,600
Nov	3,314	2,928	3,714	4,746	2,848	5,326
Dez	3,009	3,098	3,365	4,526	2,693	5,090

FONTES: Elaborada pelo Autor

Tabela 4.5 – Parâmetros mensais de Weibull (k , c) do local em Érico Cardoso a uma altura de 10 e 50 metros, respectivamente.

Mês	Vm (m/s)	k (-)	c (m/s)	Vm (m/s)	k (-)	c (m/s)
Jan	3,909	3,610	4,337	5,488	4,098	6,046
Fev	3,782	3,377	4,211	5,316	3,811	5,880
Mar	3,694	3,502	4,105	5,260	3,976	5,805
Abr	3,883	3,788	4,297	5,559	4,400	6,099
Mai	4,124	4,064	4,545	5,881	4,894	6,413
Jun	4,617	4,729	5,044	6,567	5,783	7,093
Jul	5,005	5,151	5,442	6,983	6,335	7,505
Ago	5,348	5,299	5,805	7,208	6,321	7,747
Set	5,533	5,493	5,993	7,268	6,434	7,804
Out	5,158	4,413	5,658	6,713	4,902	7,319
Nov	4,042	3,188	4,514	5,509	3,597	6,114
Dez	3,685	3,339	4,106	5,230	3,797	5,787

FONTE: Elaborada pelo Autor

4.3 Fator Capacidade e Energia Gerada

4.3.1 Turbinas escolhidas

Para avaliar o desempenho da energia eólica na região da Bacia do Paramirim, foram selecionadas três turbinas eólicas com potência nominal variando entre 1500 e 5200 kW. Optou-se por realizar a escolha entre modelos comerciais através do site wind-turbine-models.com, atentando-se para modelos aplicáveis em parques *onshore*² e velocidades de *cut-in* que fossem coerentes com as velocidades das regiões. O objetivo é identificar a turbina que melhor corresponde ao regime de vento nos locais selecionados. As especificações técnicas dessas turbinas es-

²Um parque eólico *onshore* refere-se a uma instalação de geração de energia eólica localizada em terra, geralmente em áreas geográficas planas ou montanhosas. Nesse tipo de parque, as turbinas eólicas são instaladas no solo, conectadas a uma rede elétrica para a produção de energia renovável.

Comparativamente, os parques eólicos *offshore* são projetados para operar em águas costeiras ou oceânicas. Turbinas eólicas *offshore* são instaladas em plataformas flutuantes ou fixas no leito do mar.

tão apresentadas conforme a Tabela 4.6 e a variação das curvas de potência em relação à velocidade do vento das turbinas eólicas são apresentadas na Figura 4.8

Tabela 4.6 – Turbinas comerciais escolhidas para o estudo

Turbina	Acciona AW-82/1500	Gamesa G90	Adani 5.2-160
Capacidade Instalada (kW)	1500	2000	5200
Altura (m)	80	100	120
Área Varrida (m ²)	5289	6362	20106
V cut-in (m/s)	3	3	3
V nominal (m/s)	10,5	11	12
V cut-off (m/s)	20	21	20

FONTE: Elaborada pelo autor

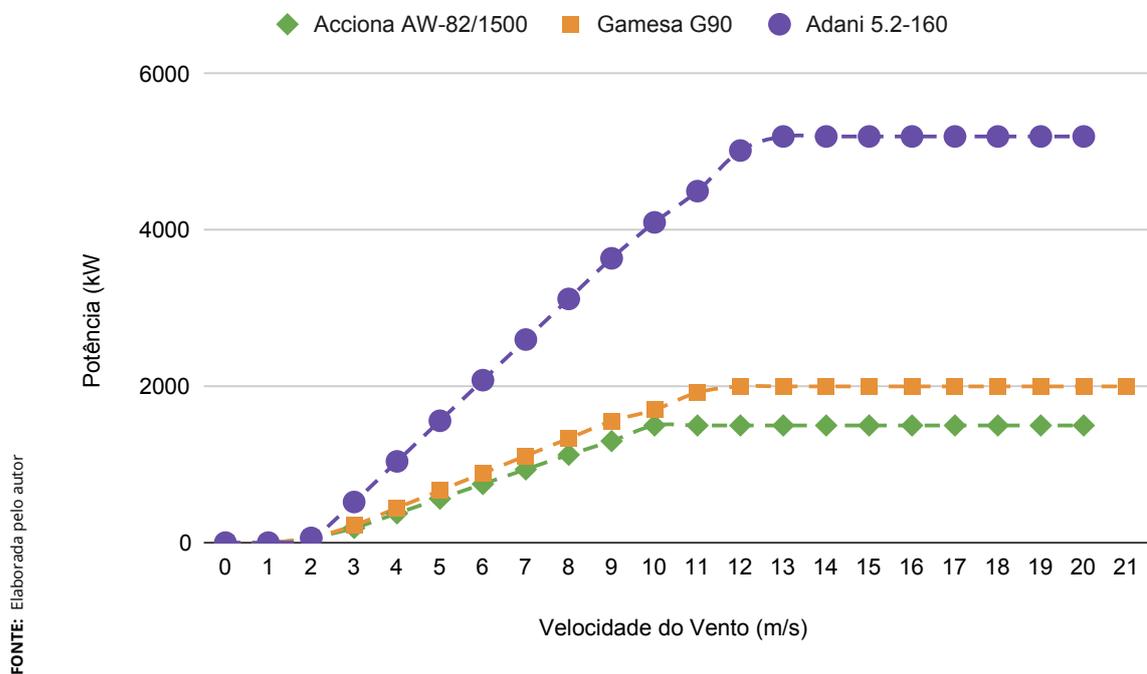


Figura 4.8 – Simulação das curvas de potência das turbinas.

4.3.2 Fator Capacidade

As três turbinas escolhidas, com alturas de *hub* de 80, 100 e 120 metros foram consideradas na análise de desempenho. Uma vez que os dados de vento estão disponíveis a uma altura de 10 e 50 metros, foi possível calcular k e c , utilizando as Equações 2.4, 2.5 e 2.10, para as alturas em estudo, para que, assim, fosse possível calcular o fator capacidade, através da Equação 2.12.

As Figuras 4.9, 4.10 e 4.11, representam graficamente a curva de fator capacidade, de cada uma das turbinas escolhidas, em média para cada mês ao longo do período de 20 anos de análise do trabalho.

Nesta etapa, foi realizado o cálculo de fator capacidade para os modelos de turbinas escolhidos, apenas para os municípios que estão vinculados a microrregião da Bacia do Paramirim. Visto que os dados apresentados do município de Caetité, serviram com parâmetro para identificar e validar os dados de amostragem das velocidades de ventos.

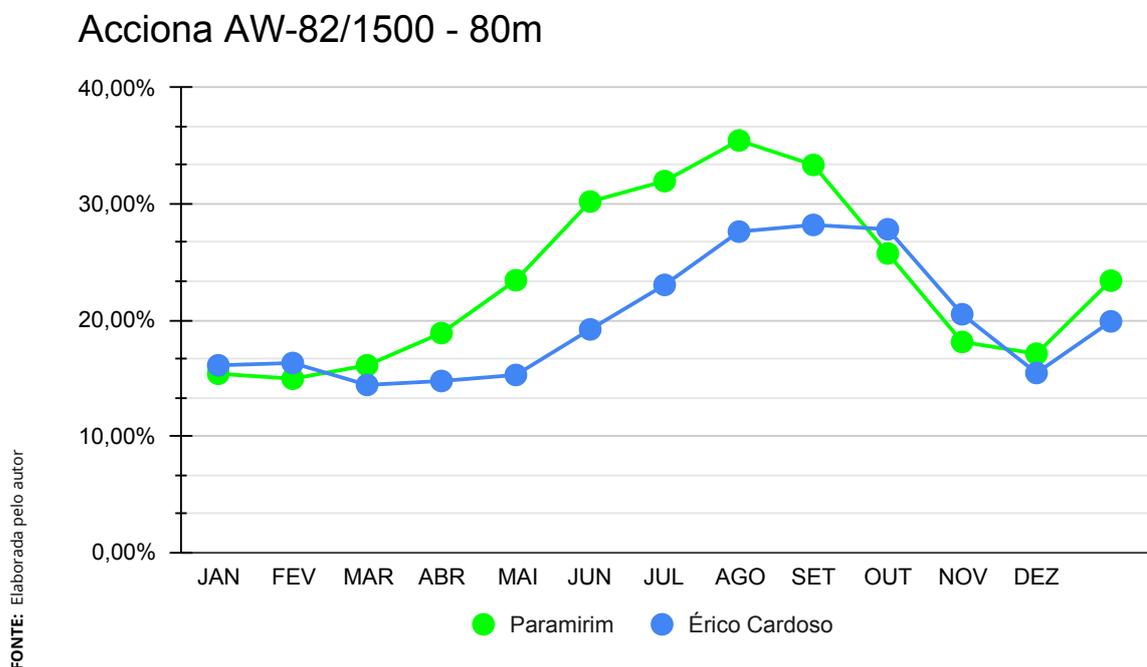


Figura 4.9 – Fator capacidade da turbina Acciona AW-82/1500.

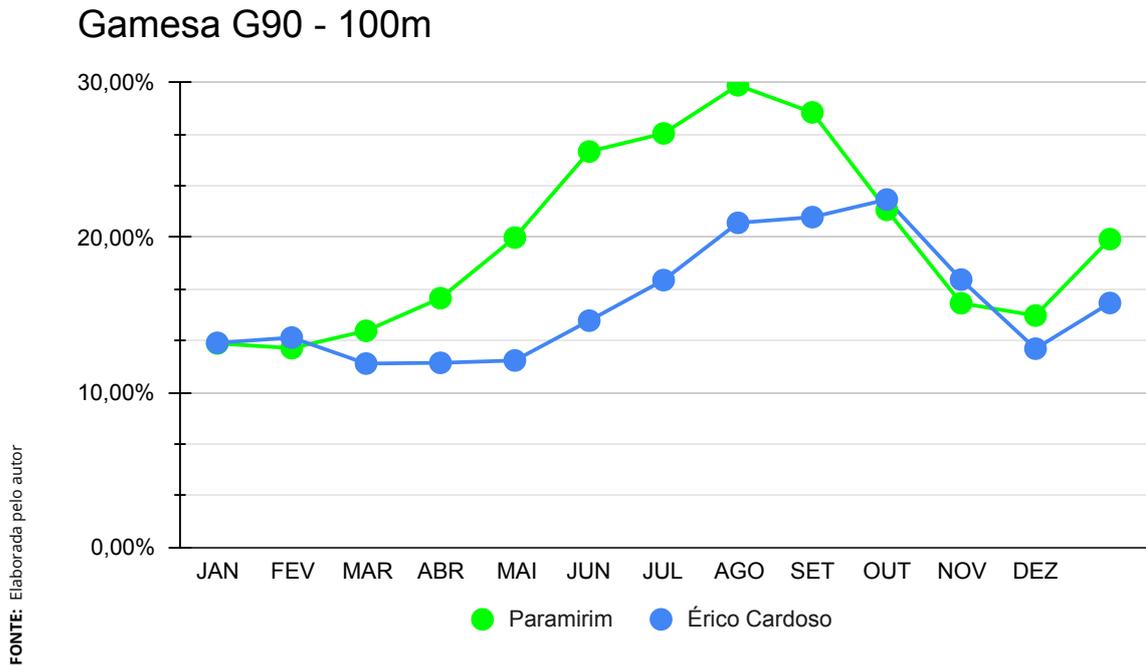


Figura 4.10 – Fator capacidade da turbina Gamesa G90.

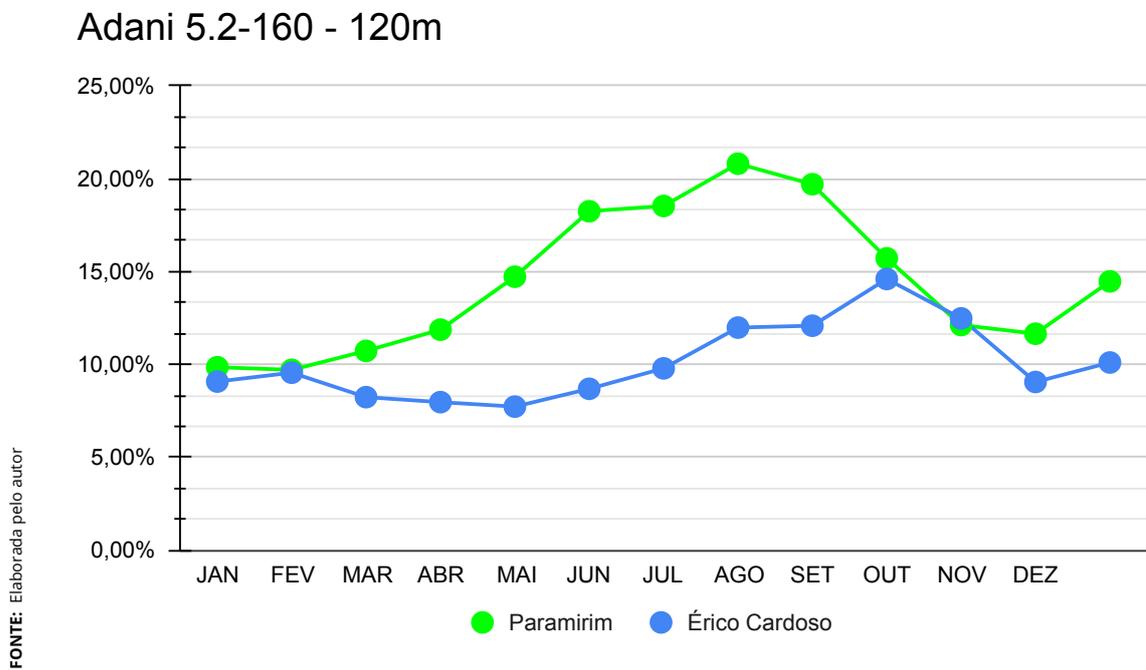


Figura 4.11 – Fator capacidade da turbina Adani 5.2-160.

Ao comparar os três modelos de turbinas, destaca-se que a turbina Acciona AW-82/1500 demonstrou maior eficiência em ambas as regiões, exibindo valores mais elevados de fator de capacidade, aproximando-se de 40% em períodos es-

pecíficos do ano. Essa eficiência pode ser atribuída à sua velocidade nominal mais baixa, proporcionando maior eficácia em velocidades mais reduzidas por períodos prolongados.

Além disso, observa-se que os valores de fator de capacidade em Paramirim são geralmente superiores aos de Érico Cardoso ao longo da maior parte do ano. Érico Cardoso apresenta uma variação mais pronunciada entre os diferentes modelos de turbinas, ressaltando a importância da seleção cuidadosa da turbina na região para otimizar o potencial de geração de energia.

A análise revela que a curva de fator de capacidade mensal assemelha-se às curvas de velocidade média mensal. Como a região de Paramirim exibe uma maior variação na velocidade do vento com a altura em comparação com Érico Cardoso, fica evidente que o potencial da região permanece favorável com o aumento da altura das turbinas.

Contudo, é crucial considerar não apenas as características dos ventos expressas pelos coeficientes k e c , mas também as peculiaridades das turbinas delimitadas pelas curvas de potência. Isso destaca a necessidade de avaliar a turbina mais adequada para cada região, visando maximizar o potencial eólico disponível.

4.4 Energia Gerada

Para garantir um investimento vantajoso em energia eólica, é aconselhável optar por valores máximos tanto do fator de capacidade quanto da energia produzida.

A tabela 4.7 e 4.8 contém as estimativas do fator de capacidade anual e da produção anual de energia para cada modelo de turbina eólica, para o ponto em Paramirim e Érico Cardoso, respectivamente. Para os cálculos anuais, realizou-se a média dos valores mensais obtidos.

Tabela 4.7 – Produção anual de energia calculada para turbinas eólicas selecionadas (Paramirim)

Turbina	Acciona AW-82/1500	Gamesa G90	Adani 5.2-160
E (GW/h)	0,307	0,348	0,659
FC %	23,38	19,90	14,47

FONTE: Elaborada pelo autor

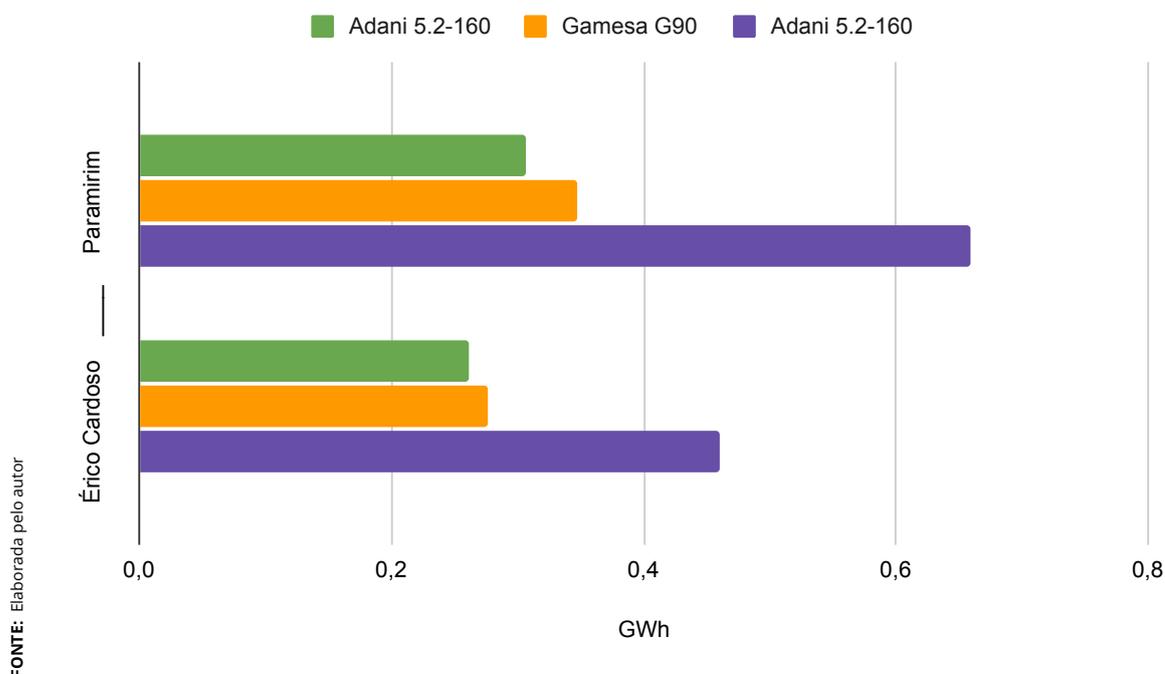
Tabela 4.8 – Produção anual de energia calculada para turbinas eólicas selecionadas (Érico Cardoso)

Turbina	Acciona AW-82/1500	Gamesa G90	Adani 5.2-160
E (GW/h)	0,261	0,276	0,460
FC	19,87	17,77	10,10

FONTE: Elaborada pelo autor

Os resultados da análise indicaram que o mais alto fator de capacidade, atingindo 23,38%, foi obtido a uma altura de 80 metros, utilizando a turbina Acciona AW-82/1500 no município de Paramirim. Em contraste, no município de Érico Cardoso, a turbina Adani 5.2-160 registrou um fator de capacidade de 10,10% a uma altura de 120 metros.

Em contrapartida, observa-se que conforme a altura aumenta, a energia produzida também aumenta, isso é observado para os dois municípios. A Figura 4.12 mostra a energia anual produzida pelas turbinas eólicas no local de estudo. A saída anual de energia variou dependendo dos modelos de turbina, com turbinas eólicas de maior potência nominal gerando mais energia.

**Figura 4.12** – Energia anual capturada por turbinas eólicas.

Como indicado anteriormente, a menor produção de energia anual foi esti-

mada para a turbina Acciona AW-82/1500, seguida pela Gamesa G90, enquanto a Adani 5.2-160 apresentou uma quantidade aceitável para a geração de energia eólica.

Ao escolher uma turbina eólica, é crucial considerar vários dados e informações inter-relacionados. Apesar da turbina Acciona AW-82/1500 ter o maior fator de capacidade entre as três, sua capacidade instalada Pr é a mais baixa. Por outro lado, a turbina Adani 5.2-160, apesar de ter o menor fator capacidade, possui uma capacidade instalada consideravelmente superior, resultando em uma produção anual de energia mais elevada. Além disso, nota-se que, embora Érico Cardoso tenha médias de velocidade do vento mais altas em altitudes mais baixas, isso não é determinante para ser a melhor opção em alturas mais elevadas. Em contrapartida, a região de Paramirim, com ventos mais suaves em altitudes mais baixas, tende a apresentar ventos mais fortes em altitudes mais elevadas, tornando-a mais favorável para a instalação de turbinas e parques eólicos.

Com base nessas considerações, o modelo de turbina mais apropriado é a Adani 5.2-160, e o local mais adequado para a inserção de um parque eólico, que pode ser integrado à rede, é o ponto estudado em Paramirim. A instalação desse parque eólico pode resultar em uma maior produção de energia nessa localidade, abrindo espaço para estudos futuros nessa região.

Capítulo 5

Considerações Finais

O estudo teve como objetivo avaliar o potencial eólico na microrregião Bacia do Paramirim, na Bahia, selecionando pontos na região e validando o estudo com dados diários de velocidades médias do vento ao longo de 20 anos, de 2003 a 2022.

Foram destacados os processos essenciais para calcular o potencial eólico, abordando as funções e variáveis utilizadas, com foco na lei da potência e no coeficiente de Hellmann. Este último é crucial para extrapolar dados e encontrar a velocidade média em alturas distintas, além da curva de probabilidade de Weibull. O Google Sheets foi utilizado para o tratamento dos dados, e o software GNU Octave para a realização de alguns cálculos. Para tornar os resultados mais realistas, foram utilizados parâmetros de aerogeradores comerciais, estimando a energia gerada e avaliando o desempenho para os diferentes pontos de estudo.

Os resultados indicaram que o ponto estudado em Paramirim possui potenciais eólicos superiores ao ponto em Érico Cardoso durante praticamente todo o ano. No entanto, destaca-se a necessidade de cautela na escolha da turbina em Érico Cardoso, pois diferentes modelos apresentaram variações significativas no fator de capacidade. Além disso, foram coletados dados das médias das velocidades dos ventos em um ponto na região de Caetité, que possui um aerogerador em operação, servindo como um comparativo validador da qualidade da média dos ventos estudados.

Conclui-se que a transição para fontes de energia limpa, com impactos mínimos ao meio ambiente, é o caminho para a sustentabilidade, especialmente no contexto da produção de energia eólica na Bahia. A partir do estudo, conclui-se que o Estado da Bahia é favorecido pela qualidade e quantidade de ventos favorá-

veis, e a região da Bacia do Paramirim também possui potencial para estudos mais aprofundados, utilizando metodologias mais práticas.

Capítulo 6

Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se incorporar ferramentas de análise de dados, como o Power BI, para a disposição e organização eficiente dos dados coletados. O uso dessas tecnologias pode aprimorar significativamente a visualização e interpretação dos resultados.

Recomenda-se, também, estender a pesquisa para incluir outros municípios dentro do território Bacia do Paramirim. Isso pode proporcionar uma compreensão mais abrangente das variações nos padrões de vento. Além dos municípios já abordados, sugere-se explorar outros pontos estratégicos que possam apresentar resultados mais expressivos. A análise de diversas localidades dentro da microrregião pode revelar nuances e padrões distintos, contribuindo para uma compreensão mais completa do potencial eólico na área.

Sugere-se ainda, explorar fatores adicionais que possam influenciar a viabilidade de projetos eólicos na Bacia do Paramirim. Isso pode incluir aspectos socioeconômicos e ambientais exclusivos e característicos da região.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, H. d. P. Utilização da busca harmônica no ajuste da curva de weibull em energia eólica. 2016. (Citado na página 13.)
- BARRETO, R. M. Bahia. 2018. (Citado na página 8.)
- BEN. Balanço energético nacional. 2023. (Citado na página 6.)
- BRONZATTI, F. L.; NETO, A. I. Matrizes energéticas no brasil: cenário 2010-2030. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, v. 28, p. 13–16, 2008. (Citado na página 5.)
- CARVALHO, J. F. d. Energia e sociedade. *Estudos avançados*, SciELO Brasil, v. 28, p. 25–39, 2014. (Citado na página 1.)
- CASTRO, R. M.; RENOVÁVEIS, E.; DESCENTRALIZADA, P. Introdução à energia eólica. *Lisboa: Portugal: Universidade Técnica de Lisboa*, 2004. (Citado na página 13.)
- CHIRAS, D. *Wind power basics: a green energy guide*. [S.l.]: New Society Publishers, 2010. (Citado na página 17.)
- FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. *Revista Liberato*, v. 12, n. 17, p. 07–16, 2011. (Citado na página 1.)
- HADI, F. A. *A Mathematical-statistical Model of Wind Energy in Iraq Using Different Weibull Distribution Functions*. Tese (Doutorado) — University of Baghdad, 2014. (Citado 4 vezes nas páginas 14, 16, 17, and 18.)
- HADI, F. A. Diagnosis of the best method for wind speed extrapolation. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, v. 4, n. 10, p. 8176–8183, 2015. (Citado 2 vezes nas páginas 12 and 15.)
- HARNESSING the Wind. APOGEE INTERACTIVE, 2023. Disponível em: <<https://c03.apogee.net/mvc/home/hes/land/el?utilityname=dixieec&spc=kids&id=16214>>. (Citado na página 18.)
- JUSTUS, C. et al. Methods for estimating wind speed frequency distributions. *Journal of Applied Meteorology (1962-1982)*, JSTOR, p. 350–353, 1978. (Citado 2 vezes nas páginas 13 and 14.)

- KALDELLIS, J. K.; ZAFIRAKIS, D. The wind energy (r) evolution: A short review of a long history. *Renewable energy*, Elsevier, v. 36, n. 7, p. 1887–1901, 2011. (Citado na página 7.)
- KAYGUSUZ, K. Energy for sustainable development: key issues and challenges. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, Taylor & Francis, v. 2, n. 1, p. 73–83, 2007. (Citado na página 5.)
- LAGE, E. S.; PROCESSI, L. D. Panorama do setor de energia eólica. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2013. (Citado 2 vezes nas páginas 17 and 18.)
- LEITE, D. B.; SOUZA, Ê. P. de. Tendências do cenário energético brasileiro: a energia de fonte eólica e o “olhar” dos atingidos. *Ciência e Natura*, v. 37, n. 3, p. 243–250, 2015. (Citado 2 vezes nas páginas 1 and 7.)
- MAHMOOD, F. H.; RESEN, A. K.; KHAMEES, A. B. Wind characteristic analysis based on weibull distribution of al-salman site, iraq. *Energy reports*, Elsevier, v. 6, p. 79–87, 2020. (Citado na página 16.)
- MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. *Wind energy explained: theory, design and application*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2010. (Citado 2 vezes nas páginas 11 and 15.)
- MARQUES, J. et al. Turbinas eólicas: Modelo, análise, e controle do gerador de indução com dupla alimentação. Universidade Federal de Santa Maria, 2004. (Citado na página 8.)
- MOHAMMED, D. et al. Wind speed data and wind energy potential using weibull distribution in zagora, morocco. *International Journal of Renewable Energy Development*, v. 8, n. 3, p. 267–273, 2019. (Citado 2 vezes nas páginas 14 and 15.)
- NETO, E. E. E. Estudo da complementaridade entre as disponibilidades de energia hídrica e eólica na região nordeste do brasil. 2012. (Citado na página 6.)
- SANTOS, A. Á. B. et al. Atlas eólico bahia. SECTI-SEINFRA-CIMATEC/SENAI, 2013. (Citado 4 vezes nas páginas 4, 7, 8, and 25.)
- SOHONI, V. et al. A critical review on wind turbine power curve modelling techniques and their applications in wind based energy systems. *Journal of Energy*, Hindawi, v. 2016, 2016. (Citado na página 16.)
- SOUZA, A. de; OLIVEIRA, S. S. de; OZONUR, D. Análise estatística de parâmetros de weibull para avaliação de potencial de energia eólica em campo grande. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, p. 168–179, 2019. (Citado na página 2.)
- TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *Novos estudos CEBRAP*, SciELO Brasil, p. 47–69, 2007. (Citado na página 5.)
- VIAN, Â. et al. *Energia Eólica: Fundamentos Tecnologia e Aplicações*. Editora Blucher, 2021. ISBN 9786555500585. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Mv8kEAAAQBAJ>>. (Citado 3 vezes nas páginas 7, 11, and 12.)

APÊNDICE A

Código para determinar a distribuição de probabilidade de Weibull utilizando a ferramenta GNU Octave

Código A.1 – Código para determinar a distribuição de probabilidade de Weibull utilizando a ferramenta GNU Octave

```
1  %(valores de K e C para 50m foram calculados no google
2  %sheets, utilizando a base diária de dados)
3  c50c = 6.373;
4  k50c = 4.452;
5  c50p = 6.165;
6  k50p = 3.484;
7  c50e = 4.862;
8  k50e = 6.634;
9  h50 = 50;
10 h80 = 80;
11
12 % Cálculo do parâmetro "n", "c" e "k" para 80m com base nos
13 % parâmetros k50, c50, h50 (Ceetité)
14 n80c=(0.37-0.0881*log(c50c))/(1-0.0881*log(h80/10));
15
```

```

16 c80c = c50c * (h80 / h50)^n80c;
17
18 k80c=k50c*(1-0.0881*log(h50/10))/(1-0.0881*log(h80/10));
19
20 % Cálculo do parâmetro "n", "c" e "k" para 80m com base nos
21 % parâmetros k50, c50, h50 (Paramirim)
22 n80p=(0.37-0.0881*log(c50p))/(1-0.0881*log(h80/10));
23
24 c80p=c50p*(h80/h50)^n80p;
25
26 k80p=k50p*(1-0.0881*log(h50/10))/(1-0.0881*log(h80/10));
27
28 % Cálculo do parâmetro "n", "c" e "k" para 80m com base
29 % nos parâmetros k50, c50, h50 (Érico Cardoso)
30 n80e=(0.37-0.0881*log(c50e))/(1-0.0881*log(h80/10));
31
32 c80e = c50e * (h80 / h50)^n80e;
33
34 k80e=k50e*(1-0.0881*log(h50/10))/(1-0.0881*log(h80/10));
35
36 % Valores de velocidade para os quais você deseja calcular a
37 % distribuição de Weibull
38 v = 0:0.05:14;
39
40 % Calcular as distribuições de Weibull para as altura 80m
41 weibull80c=(k80c/c80c)*((v/c80c).^ (k80c-1)).*(exp(-(v/c80c).^k80c));
42 weibull80p=(k80p/c80p)*((v/c80p).^ (k80p-1)).*(exp(-(v/c80p).^k80p));
43 weibull80e=(k80e/c80e)*((v/c80e).^ (k80e-1)).*(exp(-(v/c80e).^k80e));
44
45 % Plot dos gráficos das distribuições de Weibull para 80m
46 figure;
47 plot(v, weibull80c, 'r', 'LineWidth', 1);
48 hold on;
49 plot(v, weibull80p, 'g', 'LineWidth', 1);
50 plot(v, weibull80e, 'b', 'LineWidth', 1);

```

```
51
52 % Configurações do gráfico
53 title('Distribuição de Weibull para 80m','fontsize', 20);
54 xlabel('Velocidade do Vento (m/s)','fontsize', 17);
55 ylabel('Densidade de Probabilidade','fontsize', 17);
56 legend('Caetité', 'Paramirim', 'Érico Cardoso','fontsize', 15);
57 grid on;
```