

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA - CAMPUS ITAJAÍ  
DEPARTAMENTO DE ELETROELETRÔNICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Jefferson Rodrigo Gervasi

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE FONTES ALTERNATIVAS  
PARA COMPOR A DEMANDA ENERGÉTICA DA CIDADE DE ITAJAÍ**

Itajaí  
2023

Jefferson Rodrigo Gervasi

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE FONTES ALTERNATIVAS  
PARA COMPOR A DEMANDA ENERGÉTICA DA CIDADE DE ITAJAÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Elétrica do Campus Itajaí do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Daniel Dos Santos Matos

Itajaí

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca do IFSC

Gervasi, Jefferson

ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE FONTES  
ALTERNATIVAS PARA COMPOR A DEMANDA ENERGÉTICA DA CIDADE  
DE

ITAJAÍ / Jefferson Gervasi ; orientador, Daniel dos  
Santos Matos, 2023.

62 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto  
Federal de Santa Catarina, Campus Itajaí, Graduação em  
Engenharia Elétrica , Itajaí, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica . 2. Energia Eólica. 3. Energia  
Maremotriz. 4. Fontes Renováveis. I. , Daniel dos  
Santos.

II. Instituto Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Elétrica . III. Título.

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE FONTES  
ALTERNATIVAS PARA COMPOR A DEMANDA ENERGÉTICA DA  
CIDADE DE ITAJAÍ**

**JEFFERSON RODRIGO GERVASI**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do curso de engenharia elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Itajaí, 2 de março de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

---

Daniel dos Santos Matos, Dr. Engenheiro Eletricista  
Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

---

Tarcísio Pollnow Krüger, Msc. Engenheiro Eletricista  
Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

---

Tiago Drummond Lopes, Dr. Engenheiro Eletricista  
Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC

“A mente que se abre a uma nova ideia  
jamais voltará ao seu tamanho original”

Albert Einstein.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer os meus pais que sempre me apoiaram e me incentivaram a não desistir de estudar. Aos meus colegas de turma Leandro Romani, Felipe Salazar, Renato Augusto, Luiz Fernando e tantos outros que passaram comigo muitas das grandes dificuldades desse curso. À Mariane Pallaoro que acreditou em mim quando nem eu acreditei que poderia iniciar um curso de Engenharia Elétrica e quanto mais finaliza-lo. À Liamara Menezes por me apoiar em tantos anos de curso e me ajudar a conseguir o meu primeiro estágio de engenharia em uma empresa multinacional, algo também que não imaginei que seria possível, de coração o meu muito obrigado. A toda a equipe da Defesa Civil de Itajaí que me forneceu todos os dados que solicitei. Ao Prof. Sergey Alex de Araújo da UNIVALI que dispôs várias horas do seu tempo para me ajudar nessa pesquisa mesmo eu não sendo um aluno da instituição. Ao meu orientador o Prof. Daniel dos Santos Matos que sempre esteve à disposição tirando todas as minhas dúvidas, mesmo aos domingos, e que tornou possível esse trabalho de conclusão de curso.

## RESUMO

O presente trabalho visa estudar a viabilidade técnica de fontes renováveis e inesgotáveis com foco na cidade de Itajaí-SC, que vem se tornando um polo industrial cada vez maior, o que atrai mais pessoas para a região, aumentando sua demanda energética. Afim de buscar novas tecnologias e possibilidades de fontes limpas de energia, foram realizados estudos com dois tipos de fontes renováveis, eólica e maremotriz. A primeira etapa desse estudo refere-se à viabilidade do potencial eólico, e com isso foi realizada uma revisão bibliográfica demonstrando os conceitos relacionados à geração de energia eólica, e o processo de implementação de um parque eólico. Quatro áreas foram analisadas e fez-se um levantamento da média anual da velocidade dos ventos da região, utilizando a base de dados de 3 estações meteorológicas que estão dentro do território da cidade de Itajaí. A segunda etapa apresenta um estudo de viabilidade do potencial maremotriz, uma segunda revisão bibliográfica foi realizada, demonstrando os principais conceitos relacionados a geração de energia através dos oceanos, foram apresentadas cinco tecnologias promissoras que estão ou estiveram em operação pelo mundo, duas tecnologias apresentaram boas possibilidades de gerar energia através das ondas que podem ajudar a suprir a demanda energética da cidade.

**Palavras-chave:** Energia Eólica; Energia Maremotriz; Fontes Renováveis.

## ABSTRACT

The present work aims to study the technical feasibility of renewable and inexhaustible sources with focus on the city of Itajaí/SC, that is becoming an increasingly industrial center, attracting more people to the region, which increases energy demand. In order to find new technologies and possibilities for clean energy sources, studies were carried out with two types of renewable sources: wind and tidal wave. The first moment in this study refers to the viability of the wind potential, and for this a bibliographical review was carried out demonstrating the concepts related to the generation of wind energy, and the process of implementing a wind farm. Four areas were analyzed and a weighing was made of the annual average wind speed in the region, using the database of 3 meteorological stations in Itajaí. In a second moment, presents a feasibility study of the tidal wave potential, a bibliographic review was carried out demonstrating the main concepts related to energy generation through the oceans, where five promising technologies that are or have been used around the world were presented, and two of them showed good possibilities to generate energy from waves that can help supply the demand of the city.

**Key words:** Wind Energy, Tidal Wave Energy, Renewable Sources.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Moinho de ventos construído para gerar energia Elétrica .....	18
Figura 2 - Matriz Energética Mundial Disponível - 2019 .....	19
Figura 3 - Matriz Energética Brasileira Disponível - 2020 .....	19
Figura 4 - Matriz Elétrica Mundial Disponível - 2019 .....	20
Figura 5 - Matriz Elétrica Brasileira Disponível - 2020 .....	20
Figura 6 - Circulação dos ventos pela atmosfera terrestre .....	21
Figura 7 - Aerogerador de Eixo Vertical.....	26
Figura 8 - Aerogerador de Eixo Horizontal .....	27
Figura 9 - Esquema de um Aerogerador de 3 pás.....	27
Figura 10 - Usina Eólica <i>Offshore</i> (em mar) .....	30
Figura 11 - Usina Eólica <i>Onshore</i> (em terra).....	31
Figura 12 - Rotor de Gerador Síncrono para Sistemas Eólicos.....	32
Figura 13 - Tipos de geradores assíncronos .....	33
Figura 14 – Moinho de Água .....	35
Figura 15 - Principais Correntes Marinhas .....	36
Figura 16 – Usina de La Rance .....	38
Figura 17 – Projeto <i>Pelamis Ocean Power Delivery</i> .....	39
Figura 18 – <i>Pelamis</i> - Esquema de funcionamento .....	40
Figura 19 – Turbina de Maré .....	41
Figura 20 - <i>Archimedes Wave Swing</i> .....	42
Figura 21 – Instalação do projeto em Portugal .....	42
Figura 22 - Modelo teste no Tanque Oceânico da COPPE/UFRJ .....	43
Figura 23 - Esquema de equipamentos que compõem a usina.....	44
Figura 24 – Unidades instaladas no Porto de Pecém.....	45
Figura 25 – Local 1 .....	47
Figura 26 – Local 1 – Área total disponível.....	47
Figura 27 – Relevo do Local 1 .....	47
Figura 28 – Local 2.....	48
Figura 29 – Local 2 – Área total disponível.....	48
Figura 30 – Relevo do Local 2.....	48
Figura 31 – Local 3.....	49
Figura 32 – Local 3 – Área total disponível.....	49

Figura 33 – Relevo do Local 3.....	49
Figura 34 – Local 4 - Praia Brava .....	50
Figura 35 – Praia Brava.....	50
Figura 36 – Disposição das 4 Áreas analisadas na cidade de Itajaí.....	51
Figura 37 – Aerogerador WEG AGW110/ 2.2.....	52
Figura 38 – Curva de Potência do Aerogerador AGW110/2.2.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator $P$ de diferentes tipos de superfície - “Lei da Potência” .....	24
Tabela 2 - Rugosidade Superficial - “Lei Logarítmica” .....	25
Tabela 3 - Vantagens e desvantagens dos Geradores Síncronos .....	34
Tabela 4 - Vantagens e desvantagens dos Geradores Assíncronos .....	34

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CB	Corrente do Brasil
CCEE	Câmara De Comercialização De Energia Elétrica
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia
EDF	<i>Électricité de France</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GWEC	<i>Global Wind Energy Council</i>
OMM	Organização Mundial De Meteorologia
ONS	Operador Nacional Do Sistema
ONU	Organização Das Nações Unidas
PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
UFABC	Universidade Federal do ABC
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USP	Universidade de São Paulo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	OBJETIVO GERAL .....	15
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.3	JUSTIFICATIVA.....	16
1.4	METODOLOGIA .....	17
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
2.1	ENERGIA EÓLICA.....	17
2.1.1	PARQUE EÓLICO .....	21
2.1.1.1	<i>POTENCIAL EÓLICO</i> .....	22
2.1.1.2	<i>AEROGERADORES</i> .....	25
	2.1.1.2.1 AEROGERADOR SÍNCRONO .....	31
	2.1.1.2.2 AEROGERADOR ASSÍNCRONO.....	33
2.2	ENERGIA MAREMOTRIZ.....	35
2.2.1	POTENCIAL MAREMOTRIZ.....	37
2.2.2	TIPOS DE USINAS MAREMOTRIZ.....	38
2.2.2.1	<i>MAREMOTRIZ</i> .....	38
2.2.2.2	<i>PELAMIS</i> .....	39
2.2.2.3	<i>TURBINA CORRENTE DE MARÉ</i> .....	40
2.2.2.4	<i>PROJETO ARCHIMEDES WAVE SWING</i> .....	41
2.2.2.5	<i>PROJETO PECÉM-CE</i> .....	43
<b>3</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>46</b>
3.1.1	ANÁLISE DO POTENCIAL EÓLICO DE ITAJAÍ-SC.....	46
3.1.1.1	<i>ANÁLISE DA REGIÃO</i> .....	46
3.1.1.2	<i>ESCOLHENDO O AEROGERADOR</i> .....	51
3.1.1.3	<i>RESULTADO DO ESTUDO DO POTENCIAL EÓLICO</i> .....	53
3.1.2	ANÁLISE DO POTENCIAL MAREMOTRIZ DE ITAJAÍ-SC .....	54
3.1.2.1	<i>RESULTADO DO ESTUDO DO POTENCIAL MAREMOTRIZ</i> .....	54
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>56</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o Brasil vem sofrendo com uma crise energética devido às mudanças climáticas que estão alterando o padrão anual de chuvas no país. Visto que, a maior parte da energia elétrica gerada no país provém de usinas hidrelétricas, as chuvas abaixo da média no decorrer dos anos, vem deixando os reservatórios de água abaixo do nível aceitável para geração de energia em vários períodos. Isso faz com que outras fontes de energia sejam usadas para suprir a demanda, dentre elas estão a produzida pela queima de carvão mineral e a energia nuclear. Porém, essas fontes de energia possuem um custo elevado de produção, o que encarece a fatura de energia elétrica para a população brasileira, bem como, são fontes de energia não renováveis.

De um lado, para grande parte da comunidade científica a queima de combustíveis fósseis agrava ainda mais o efeito estufa, que por sua vez, acredita-se ser um grande causador das mudanças climáticas que vêm ocorrendo no mundo todo. De outro lado, para Milanez (2006), a tecnologia nuclear tem o estigma do perigo e dos resíduos tóxicos além das “catástrofes”, “bombas” e seus exemplos marcantes, “Chernobyl e Hiroshima”.

Ao longo das últimas décadas o tema aquecimento global tem gerado muita discussão no meio científico e econômico, e algumas alternativas para frear o uso de combustíveis fósseis ganharam destaque, principalmente a energia fotovoltaica e a eólica, e mais recentemente a energia maremotriz, que são fontes limpas e inesgotáveis. O Brasil é um país privilegiado, pois possui vasto território com várias regiões propícias tanto a produção da energia solar, eólica e das marés.

Então, além da crise energética que se vive hoje, também se faz necessário o uso de fontes limpas de energia para mitigar o efeito estufa e por sua vez o aquecimento global, afinal as mudanças climáticas que estão criando essa crise, acredita-se estar diretamente ligada aos efeitos gerados pela queima indiscriminada de combustíveis fósseis (MILANEZ,2006).

Segundo o cientista Paulo Artaxo, o aquecimento global e a mudança no ciclo hidrológico estão causando enormes impactos no Brasil, reduzindo as chuvas principalmente no Nordeste Brasileiro e na região central (G1, 2021):

Essas não são projeções para o futuro, é o que já está acontecendo hoje. Todos os modelos climáticos mostram que o aumento da temperatura reduz a precipitação no Brasil central. E o que estamos observando é que essa seca na maior parte do país é uma combinação de todos esses impactos juntos (G1,2021).

Como a principal matriz energética brasileira é a hidrelétrica, e com a redução, má distribuição e sazonalidade das chuvas isso impacta diretamente no preço que o consumidor paga (NARUTO, 2017), com isso o país se vê refém de fontes de energias não renováveis para suprir a demanda.

Porém, só em 2021 o Brasil por meio de leilões realizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e Câmara De Comercialização De Energia Elétrica (CCEE) que somam 4 bilhões de reais investidos em projetos de energias renováveis. Dentre elas está a energia solar que representa 1,7% da energia elétrica gerada ou aproximadamente 753MW, eólica que hoje no país representa 11% de toda a energia gerada com um total de 21GW ficando atrás apenas da energia hidráulica com 108,3 GW, por outro lado de 2011 até 2019 o Brasil passou por um grande período de estiagem algo que não se via desde 1955 (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS, 2020b).

Referente a energia maremotriz, o Brasil no momento tem poucos projetos que visam desenvolver tecnologia para extrair esse potencial dos oceanos, visto que até mesmo no mundo é uma tecnologia em desenvolvimento, o que por sua vez restringe os investimentos tanto público quanto privado pois, ainda não é uma fonte de energia consolidada.

De toda forma, para evitar apagões e desabastecimento energético visto que a demanda brasileira continuará aumentando nos próximos anos, investir no estudo de viabilidade na geração de energia eólica, solar e maremotriz em cidades litorâneas, pode ajudar a reduzir esse problema.

## **1.1 OBJETIVO GERAL**

Este trabalho abordará o estudo de viabilidade de duas fontes renováveis que podem ajudar a suprir a demanda energética da cidade de Itajaí-SC, sendo elas a energia Eólica e a Maremotriz.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar quais são os melhores locais na cidade de Itajaí para a instalação de aerogeradores;
- Pesquisar as condições climáticas da região visando descobrir se os locais escolhidos são adequados para a instalação dos aerogeradores;
- Escolher o aerogerador com o melhor custo benefício;
- Analisar as condições oceânicas da região de Itajaí visando descobrir se há potencial maremotriz;
- Escolher a tecnologia mais adequada para a geração de energia elétrica através da energia maremotriz, de acordo com as condições que região apresenta.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente ainda não foi encontrado nenhum estudo na região litoral norte de SC com o objetivo de verificar se o aproveitamento da energia eólico e maremotriz são viáveis. Outro ponto importante é que o parque eólico mais próximo é o de Bom Jardim da Serra que fica a 295 km da cidade de Itajaí, e no Brasil são poucos os estudos que visam descobrir o potencial maremotriz do país. Então, verifica-se a necessidade desse estudo, visto que, é de interesse tanto público quanto privado que novas fontes de energia ajudem a suprir a demanda energética da região. Cidades portuárias como Itajaí-SC, vem crescendo de forma bem rápida nos últimos tempos, com novas empresas abrindo todos os dias visando o grande potencial econômico que a cidade tem, e com isso, uma boa parcela da população se desloca para cidades como essa atrás de novas oportunidades de vida, aumentando sua demanda energética.

Levando em consideração que nos próximos anos a demanda energética Brasileira continuará aumentando, devido ao crescimento populacional e a expansão industrial e agrícola, investir em outras fontes de energia se torna algo de extrema importância para o futuro econômico, social e tecnológico do país.

## **1.4 METODOLOGIA**

Foi feita uma pesquisa virtual e de campo, onde foi buscado o melhor local para a instalação de aerogeradores. Foram escolhidas pelo menos quatro áreas que foram comparadas entre si, e por fim com base nos parâmetros já estabelecidos para a instalação de aerogeradores, levando em consideração as condições climáticas, terreno etc. O potencial eólico das quatro áreas foram determinados.

No que diz respeito ao estudo do potencial energético maremotriz, foi feita uma pesquisa para analisar as condições oceânicas da região, visando descobrir qual o método para extrair energia do mar é mais promissor e que poderá ajudar a suprir a demanda energética da cidade.

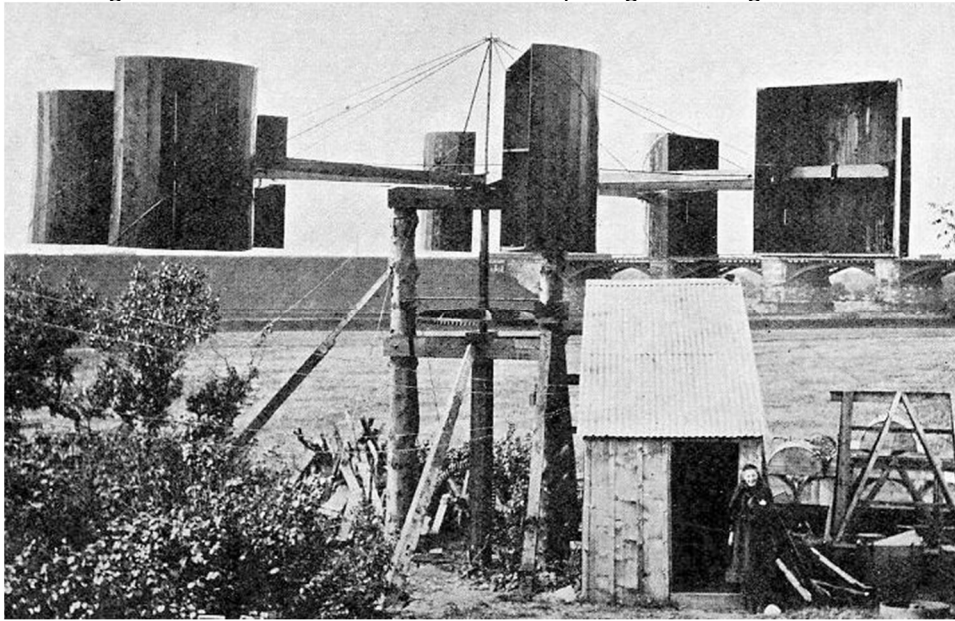
## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Nesta sessão será apresentada uma breve introdução ao uso de energia eólica e maremotriz, os conceitos relacionados a geração de energia elétrica através da força dos ventos e das marés. As fases de estudo para a implementação de uma usina eólica, e os métodos mais promissores para a geração de energia elétrica através das marés

### **2.1 ENERGIA EÓLICA**

Ao longo de sua história o homem vem usando a energia dos ventos, seja para a moagem de grãos, para o bombeamento de água através dos moinhos de vento, ou então para a navegação por meio dos barcos a velas. A partir do século XIX começou-se a utilizar a energia dos ventos para gerar eletricidade, acredita-se que em 1887 o professor James Blyth construiu um moinho de vento com uma torre de 10 metros de altura, para gerar energia elétrica para sua casa, como pode ser visto na Figura 1 (VACY, 2018).

Figura 1 – Moinho de ventos construído para gerar energia Elétrica



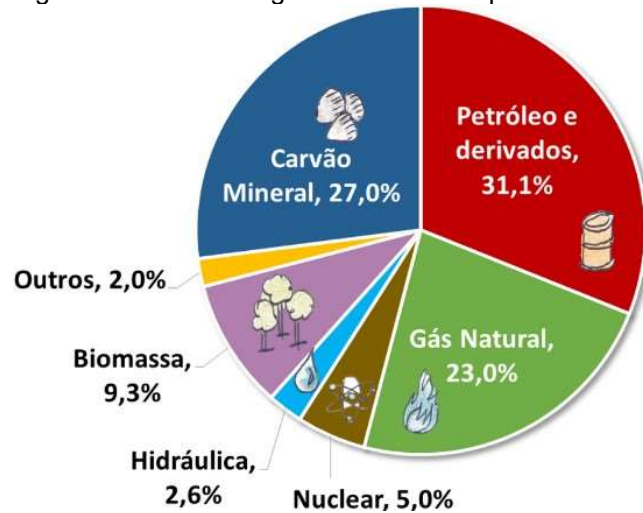
Fonte: webradioagua.pti.org.br, 2022.

No século XX, mais especificamente em 1970 durante a crise mundial do petróleo, ficou evidente que era necessário desenvolver alternativas que reduzissem a dependência dos combustíveis fósseis, por questões econômicas e é claro por questões ambientais, pois a queima de petróleo, gás natural e carvão agravam o efeito estufa causando o aquecimento global. Na vanguarda aparece a Dinamarca que instalou a primeira turbina eólica ligada a rede pública em 1976 (BARCELLA; BRAMBILLA, 2012).

Em 2021, segundo a *Global Wind Energy Council* (GWEC), o Brasil está na sétima posição do *ranking* mundial de geração energia eólica, com mais de 750 parques eólicos em operação. E esse número tende a crescer ainda mais, visto que o Brasil tem um potencial eólico 500GW *onshore* (em terra) e 700GW *offshore* (em mar) de acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), o que supera em mais de três vezes todas as fontes de energias disponíveis no país, como por exemplo hidrelétrica, nuclear, gás natural e carvão juntas.

A matriz energética mundial, ou seja, todo o conjunto de fontes disponíveis no planeta tem como principal recurso fontes não renováveis, conforme pode ser visto na Figura 2 a energia solar, eólica e geotérmica somam juntas apenas 2% (Outros) de todas as fontes de energia usadas para suprir a demanda mundial.

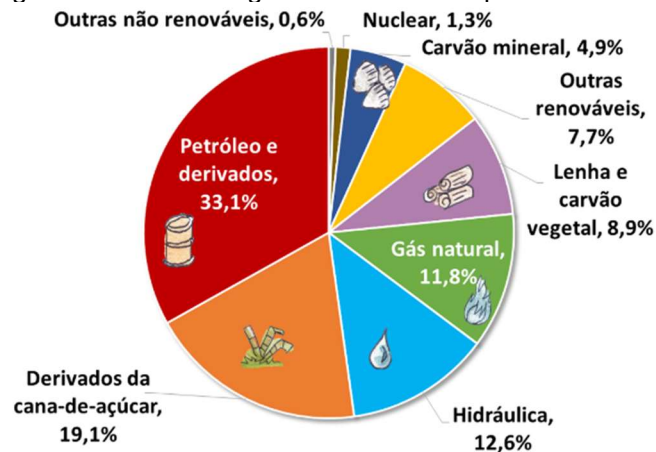
Figura 2 - Matriz Energética Mundial Disponível - 2019



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2020.

No Brasil apesar da maior parte da matriz energética ser de fontes não renováveis, cerca de 48% da energia disponível é de fontes renováveis como lenha e carvão vegetal, derivados da cana de açúcar e hidráulica. Energia eólica e solar compõem 7,7% (Outras renováveis) da matriz disponível, como pode ser visto na Figura 3 abaixo.

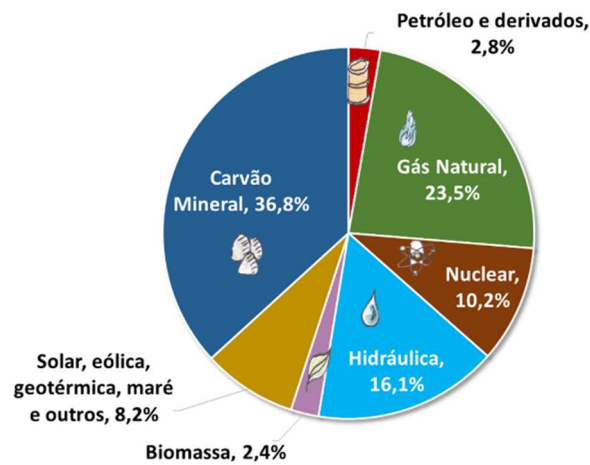
Figura 3 - Matriz Energética Brasileira Disponível - 2020



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2020.

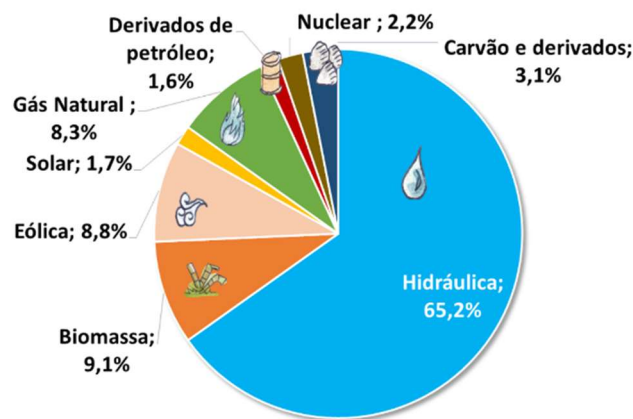
Matriz Elétrica, ou seja, fontes de energia disponíveis para a produção de energia elétrica, o mundo também segue o mesmo cenário, tendo como maior fonte as não renováveis com cerca de 73% da sua matriz elétrica. Por outro lado, o Brasil é referência mundial em uso de fontes renováveis para a produção de energia elétrica com 83% da sua matriz. As Figuras 4 e 5 apresentam a matriz elétrica mundial e Brasileira respectivamente.

Figura 4 - Matriz Elétrica Mundial Disponível - 2019



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2020.

Figura 5 - Matriz Elétrica Brasileira Disponível - 2020



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2020.

Como pode ser visto na Figura 5, de toda as fontes de energia produzida no Brasil em 2020, apenas 8,8% era de fonte eólica e 1,7% de fonte solar, contra 65,2% de fonte hidráulica. Com dimensões continentais o Brasil tem uma faixa litorânea com cerca de 7300km de extensão, e por isso, seu grande potencial de produção de energia dos ventos provenientes do mar em direção a costa.

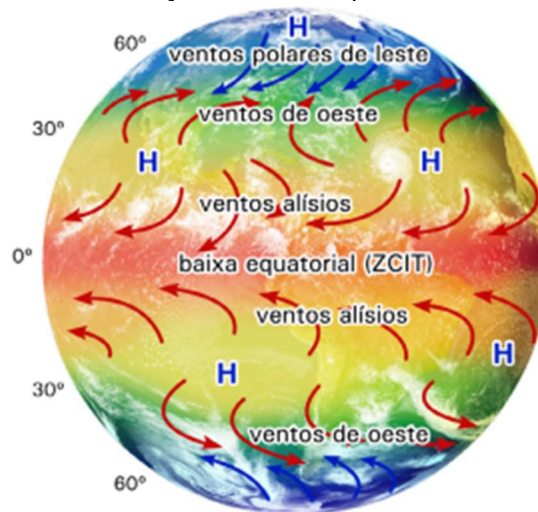
Os ventos se formam por causa da rotação da Terra, bem como pelas diferenças de temperatura da atmosfera causadas pela radiação solar. Em latitudes perto da Linha do Equador a radiação solar é mais intensa e por isso essas regiões tem temperaturas elevadas quando comparadas com as regiões próximas aos polos.

Isso faz com que se crie uma diferença de pressão atmosférica, pois o ar quente é menos denso que o ar frio. Para se equilibrar novamente a atmosfera faz com que as massas de ar mais quentes se elevem na atmosfera e as massas de ar

frio desçam, ocasionando centros de baixa pressão próximos a superfície terrestre (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2007) criando os ventos, e com a rotação da Terra esse efeito se torna contínuo considerando-se então a energia cinética dos ventos como fonte renovável e inesgotável.

Na Figura 6 é demonstrado como circulam pelo globo terrestre as principais correntes de ventos, é possível ver também o gradiente de temperatura causada pela radiação solar a partir da zona equatorial até os polos.

Figura 6 - Circulação dos ventos pela atmosfera terrestre



Fonte: Universidade de São Paulo, 2022.

A energia eólica nada mais é do que a energia cinética que está contida nas massas de ar em deslocamento, ventos, para gerar eletricidade são usados os aerogeradores. Quando o vento passa pelas pás do aerogerador, elas captam uma parcela de sua energia cinética de translação em forma de energia cinética rotacional e isso faz o eixo do rotor girar e transforma a energia cinética dos ventos em energia mecânica, que por sua vez através da indução eletromagnética transforma energia mecânica em energia elétrica (MELEK, 2013).

### 2.1.1 PARQUE EÓLICO

Neste item serão apresentadas as fases preliminares para o estudo de implementação de um parque eólico.

### 2.1.1.1 POTENCIAL EÓLICO

O levantamento do potencial eólico da região é o primeiro passo para a escolha do local onde será instalado o parque, com esses dados é que será possível determinar a viabilidade da construção do empreendimento. Esse levantamento é feito estudando os mapas eólicos, topográficos e dados das estações meteorológicas da região (MELEK, 2013). Para um estudo confiável do potencial eólico (ROHATGI; NELSON, 1994) diz que, as medições das estações meteorológicas que medem temperatura, pressão do ar, direção e velocidade dos ventos devem ser reunidos por pelo menos 5 anos, já (HICKOK, 1975) afirma que no mínimo 1 ano é necessário para a coleta de dados. Depois dessa etapa calcula-se a velocidade média dos ventos por meio da Equação 1 (MELEK, 2013):

$$V_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n V_i \quad (1)$$

Onde:

$V_m$  – *Velocidade média dos ventos registrados no período de estudo [m/s]*

$V_i$  – *Velocidade instantânea dos ventos, valores de velocidade medidos no período de estudo [m/s]*

$N$  = *Quantidade de valores de velocidades medidos no período de estudo*

Outro ponto importante a se considerar é a frequência da velocidade dos ventos através da distribuição de Weibull, pois ela faz uma análise estatística do comportamento da variação da velocidade dos ventos (CALDAS, 2010), a Equação 2 representa sua curva característica:

$$F(V) = \frac{k}{c} * \frac{V^{k-1}}{k} * e^{-\frac{V}{c}} \quad (2)$$

Onde:

$k$  = *Fator de Forma*

$c$  = *Fator de Escala ou período de tempo [s]*

$V$  = *Velocidade do Vento média*

*do período de estudo [m/s]*

A Equação 2 representa a probabilidade de uma determinada velocidade de vento ocorrer em um dado período de tempo (DALMAZ, 2007), os valores de  $k$  normalmente se encontram entre 1,5 e 3,0. Deste modo um fator de forma com valor pequeno representa uma distribuição de velocidade do vento larga em torno da velocidade média, já um fator de forma com valor alto representa uma concentração em torno da velocidade média dos ventos (AMARANTE et al., 2001; CARNEIRO, 2013).

Quando se fala em geração de energia elétrica através dos ventos, outro ponto de extrema importância a se levar em consideração é a turbulência. E ela pode ser causada por diversos fatores como obstáculos, esteiras dos aerogeradores, instabilidade atmosférica, rugosidade topográfica e superficial (MARTINEZ, 2003). Faz-se necessário saber o quanto de turbulência dos ventos ocorre, pois isso afeta diretamente a produção de energia gerada e também reduz drasticamente a vida útil do equipamento devido aos efeitos de fadiga (DALMAZ et al., 2007). Essas turbulências danificam o aerogerador pois causam cargas randômicas e tensões mecânicas por toda a sua estrutura, reduzindo drasticamente a vida útil da máquina eólica (ROHATGI & BARBEZIER, 1999).

As esteiras dos aerogeradores estão relacionados à quando o vento passa pela turbina perdendo sua pressão original o que causa fluxos instáveis (turbulências) para a próxima turbina, por isso a importância de posicionar os aerogeradores adequadamente no terreno que for escolhido. Isso também se aplica a região, pois não se deve instalar parques eólicos próximos a aeroportos, já que turbinas eólicas podem gerar efeito de esteira no pouso e decolagem de aviões, além das interferências que as turbinas podem gerar entre pilotos e controladores de voo (HELIMAX, 2008). Para minimizar os efeitos de esteira é necessário que os aerogeradores fiquem a uma distância de 5 diâmetros na direção transversal e 10 diâmetros na direção do vento (EPALANGA, 2013).

A rugosidade se trata dos obstáculos que os ventos podem encontrar durante sua passagem pela região que será instalada o parque, ela pode ser descrita por 2 fatores que são usados para fazer a extrapolação de dados, essa extrapolação é feita pois normalmente os equipamentos para coleta de dados estão a 10m de altura, quando o ideal é que estivessem a 50m, pois é nessa altura e até 150m que está o

aproveitamento eólico ideal onde o vento tem livre circulação e atrito quase zerado, conhecida como camada limite atmosférica (CHRISTÓFARO,2010; DO VAL FILHO & DA LUZ FILHO, 2015). Então pode-se usar 2 fórmulas que descrevem a extrapolação de frequência da velocidade dos ventos para a altura desejada, esses fatores são:

- Parâmetro de Rugosidade  $P$ , usado para o cálculo da “Lei da Potência” (BLESSMANN, 1995).

$$\frac{V_z}{V_{zr}} = \left(\frac{Z}{Z_r}\right)^P \quad (3)$$

Onde:

$V_z$  = Velocidade média na altura desejada (m/s);

$V_{zr}$  = Velocidade média na altura de referência (m/s);

$Z_r$  = Altura de referência (m);

$Z$  = Altura desejada (m);

$P$  = Parâmetro de rugosidade.

A Tabela 1 demonstra o fator  $P$  para os diferentes tipos de superfície levando em conta a “Lei da Potência” (BLESSMANN, 1995).

Tabela 1 - Fator  $P$  de diferentes tipos de superfície - “Lei da Potência”

DESCRIÇÃO DO TERRENO	FATOR “P”
Superfície lisa, lago ou oceano	0,10
Gramma baixa	0,14
Vegetação Rasteira	0,16
Arbustos, árvores ocasionais	0,20
Árvores, construções ocasionais	0,22 – 0,24
Áreas residenciais	0,28 – 0,40

Fonte: Blessmann (1995)

- Parâmetro de rugosidade  $Z_0$ , usado para o cálculo da “Lei Logarítmica” (MANWELL et al., 2002).

$$V_z = V_{zr} \left[ \frac{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_r}{Z_0}\right)} \right] \quad (4)$$

Onde:

$Z_0$  = Parâmetro de classes de rugosidade;

$V_z$  = Velocidade média na altura desejada (m/s);

$V_{zr}$  = Velocidade média na altura de referência (m/s);

$Z_r$  = Altura de referência (m);

$Z$  = Altura desejada (m).

A Tabela 2 demonstra o fator  $Z_0$  para os diferentes tipos de superfície levando em conta a “Lei Logarítmica” (MANWELL et al., 2002).

Tabela 2 - Rugosidade Superficial - “Lei Logarítmica”

TIPO DE TERRENO	RUGOSIDADE $Z_0$ (m)
Gelo	0,00001
Mar calmo	0,0002
Mar agitado	0,0005
Neve	0,003
Gramma baixa	0,008
Pasto	0,01
Campo	0,03
Plantações	0,05
Poucas Árvores	0,100
Muitas Árvores, Algumas Construções	0,250
Florestas	0,500
Subúrbios	1,500
Cidades	3,000

Fonte: Manwell et all. (2022)

Pode-se usar tanto Equação 3, quanto a Equação 4 para determinar a velocidade média dos ventos em relação a rugosidade do terreno para a altura desejada, porém a lei logarítmica é mais precisa por utilizar o ajuste logarítmico (DUTRA , 2001).

### 2.1.1.2 AEROGERADORES

Existem vários tipos de aerogeradores, porém os principais são os de eixo horizontal e eixo vertical, esse último tem um custo menor e podem ser utilizados em meios urbanos pois são mais silenciosos e aproveitam os ventos de todas as direções e de baixa velocidade, são indicados para produção de energia elétrica de pequeno porte, como residências por exemplo, porém são instalados próximos ao solo onde os ventos têm baixa velocidade tendo menor eficiência energética. Outro problema é a manutenção, quando se faz necessário a troca do rolamento principal, a turbina inteira precisa ser desmontada (GUIDELINES, 2002), fazendo com que a procura por esse tipo de turbina tenha caído nos últimos anos. A Figura 7 apresenta um aerogerador de eixo vertical de 3 pás.

Figura 7 - Aerogerador de Eixo Vertical



Fonte: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), 2022.

Os aerogeradores de eixo horizontal são os mais utilizados, apesar de serem bem mais caros quando comparados com os de eixo vertical, por possuírem maior confiabilidade e eficiência acabam compensando seu maior custo (MELEK, 2013). Essa turbina tem seu eixo de rotação paralelo à direção do vento, e suas pás ficam perpendiculares a ele, também possui um sistema de orientação que indica a direção dos ventos fazendo com que a turbina sempre esteja apontada para a direção que lhe permita maior eficiência (GUIDELINES, 2002). Por conta disso os aerogeradores de eixo horizontal com 3 pás acabaram se consolidando em parques eólicos, conforme pode ser visto na Figura 8. Sua potência é proporcional ao diâmetro do rotor e são classificados como:

- Menor que 500kW são considerados de pequeno porte;

- 500 a 1000kW são considerados de médio porte;
- Maior que 1000kW são considerados de grande porte.

Figura 8 - Aerogerador de Eixo Horizontal

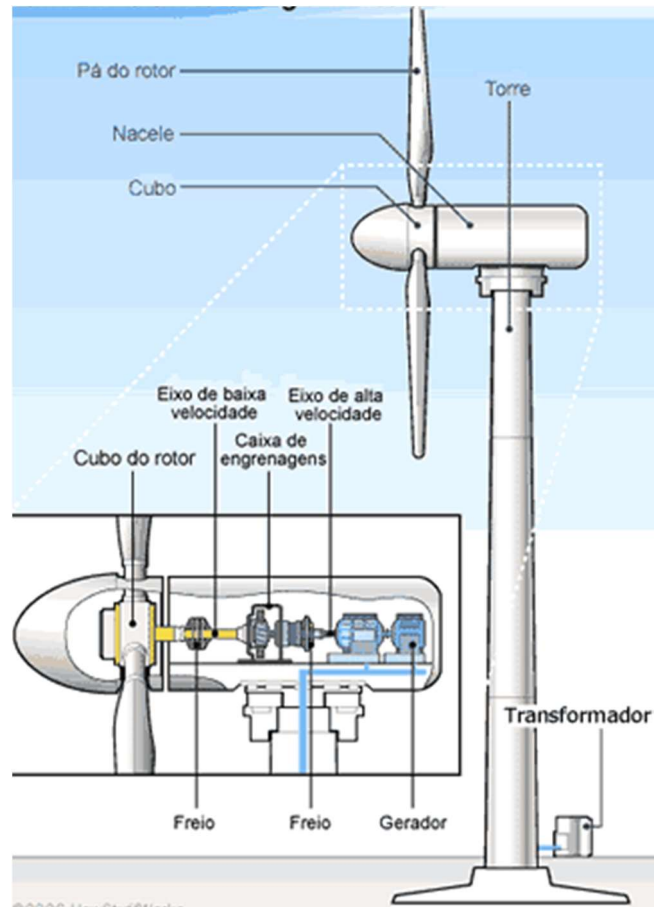


Fonte: Mundo da Elétrica, 2022.

Os aerogeradores são constituídos pelos seguintes componentes (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2009) e são demonstrados e indicados na Figura 9:

- Rotor - formado pelo cubo que suporta as pás;
- Transmissão - formado pelo eixo, caixa de velocidades, gerador, freio mecânico e elementos de acoplamento;
- Nacele – abriga o sistema de orientação e os elementos da turbina;
- Torre;
- Fundação;
- Cabine de controle de Sistemas;
- Sistema de transformação de energia.

Figura 9 - Esquema de um Aerogerador de 3 pás



Fonte: Energia Renovável Br, 2022.

As equações a seguir demonstram como calcular a potência extraída dos ventos por um aerogerador.

Para relacionar energia cinética dos ventos com a potência extraída se utiliza a seguinte equação (RAMPINELLI, 2015):

$$dE = \frac{dmv^2}{2} \quad (5)$$

Onde “ $dE$ ” é a derivada da energia cinética, “ $m$  [kg]” corresponde a massa de ar em movimento e “ $v$  [m/s]” sua velocidade

Como a massa é equivalente ao produto do volume “ $V$  [m<sup>3</sup>]” pela densidade “ $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]”, então é possível considerar que  $\rho = \frac{dm}{dV}$  (EPALANGA, 2013). Por sua vez tem-se a Equação 6:

$$dE = \frac{\rho \cdot dV \cdot v^2}{2} \quad (6)$$

Levando em consideração que a área é a derivada do volume “ $dV [m^3]$ ” pela distância “ $dx [m]$ ”  $A = \frac{dV}{dx}$ , encontra-se a Equação 7:

$$dE = \frac{\rho \cdot A \cdot dx \cdot v^2}{2} \quad (7)$$

Para se obter a Equação 8 basta inserir a fórmula da velocidade, que é a derivada da distância “ $dx [m]$ ” pela derivada do tempo “ $dt [s]$ ”  $v = \frac{dx}{dt}$ , logo:

$$dE = \frac{\rho \cdot A \cdot v^3 \cdot dt}{2} \quad (8)$$

Para calcular a potência extraída do vento, simplesmente calcula-se a derivada energia pelo tempo:

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{\rho \cdot A \cdot v^3}{2} [W] \quad (9)$$

Onde:

$P =$  Potência extraída dos ventos

$\rho =$  Densidade do ar [ $kg/m^3$ ]

$A =$  Área do diâmetro do aerogerador [ $m^2$ ];

$v =$  Velocidade do vento [ $m/s$ ]

Deve-se levar em consideração também que não é possível extrair toda a energia do vento. Em sua pesquisa Joana diz o seguinte:

Para efeitos de captação de toda a massa de ar seria necessária uma área circular de modo a barrar todo o vento, e desse modo a velocidade seria nula o que impossibilitaria se extrair energia. Por outro lado, se o ar não sofresse nenhum impedimento também não haveria aproveitamento da sua energia cinética (DA SILVA, 2015, p. 59)

A variável que define a magnitude de aproveitamento de um aerogerador é conhecido atualmente como o limite de Betz  $C_p$ , e tem o valor de 59,3%”. Então para a potência máxima aproveitada teórica é descrita na Equação 10 (SANTOS; RAMOS; SANTOS, 2006):

$$P = \frac{C_p \cdot \rho \cdot A \cdot v^3}{2} [W] \quad (10)$$

Porém como em todo processo de transformação de energia existem perdas, então ainda se faz necessário incluir a eficiência da máquina eólica “ $\eta$ ”, chegando a Equação 11, que representa a potência máxima aproveitada real, com isso pode-se prever a potência gerada de um aerogerador, tendo suas dimensões e o valor constante da velocidade do vento (DA SILVA, JOANA EMILIE, 2015):

$$P = \frac{C_p \cdot \eta \cdot \rho \cdot A \cdot v^3}{2} [W] \quad (11)$$

Os aerogeradores podem ser utilizados em 3 tipos de sistemas.

- Isolado de pequeno porte: o aerogerador está ligado a baterias que armazenam a energia elétrica gerada para posteriormente ser usada, normalmente esse tipo de sistema fica em lugares onde não há linhas de transmissão, como áreas rurais;
- Híbrido: utiliza-se os aerogeradores em conjunto com módulos fotovoltaicos;
- Conectados à rede: a energia elétrica gerada pelos aerogeradores em parques eólicos é enviada diretamente para as linhas de transmissão.

Parques eólicos podem ser instalados em terra (*onshore*) ou ainda no mar (*offshore*). A produção de energia elétrica em mar é mais favorável porque os ventos são mais constantes e com velocidades maiores, porém o custo de construção, manutenção e transmissão são mais elevados do que em terra (MORELLI, 2012). As Figuras 10 e 11 apresentam parques eólicos *offshore* e *onshore* respectivamente.

Figura 10 - Usina Eólica *Offshore* (em mar)



Fonte: Portal Energias Renováveis, 2022.

Figura 11 - Usina Eólica *Onshore* (em terra)

Fonte: Engenharia 360, 2022.

#### 2.1.1.2.1 AEROGERADOR SÍNCRONO

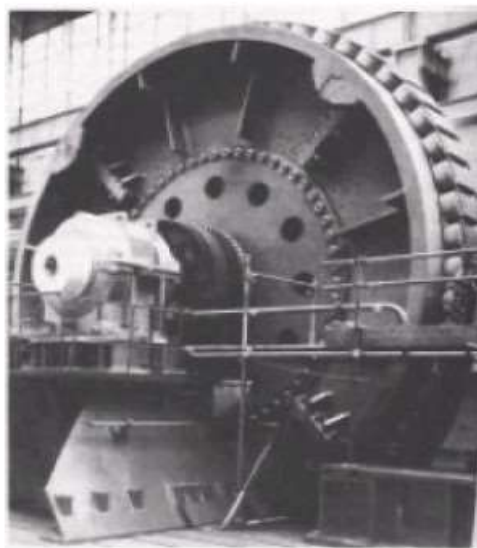
Os geradores síncronos são denominados assim porque a frequência elétrica das tensões geradas no estator, está sincronizada com a frequência da velocidade do eixo do rotor. Esse tipo de gerador é bastante utilizado na geração de energia eólica em turbinas de velocidade variável, já que conseguem extrair maior potência quando comparados aos aerogeradores de velocidade fixa (PIFFER, 2022), e podem ser classificados de duas formas:

- Rotor bobinado;
- Imãs permanentes.

Os geradores de rotor bobinado têm o enrolamento de campo bobinado em torno dos polos de forma simétrica sobre o rotor, e radialmente em torno do eixo para acomodar o grande número de polos. Possuem anéis e escovas que fazem a ligação elétrica com o rotor, para regular a corrente de excitação pode-se variar a tensão de excitação ou adicionar resistências externas (MARQUES, 2001). Ou então podem ser montados no modo sem escovas (*Brushless*), usa-se um alternador montado no eixo do gerador, o rotor do gerador é alimentado por retificadores, montados no eixo do gerador recebendo por sua vez diretamente a tensão do alternador, dispensando assim as escovas e os anéis (SANTANA, 2022).

Os geradores de imã permanente têm o fluxo magnético gerado pelos imãs montados no rotor, uma potência alta pode ser atingida por não ter enrolamento de campo, pois não há perdas de enrolamento e isso também reduz seu tamanho e peso em geradores multipolos, além da baixa tensão térmica sobre o rotor. Uma grande vantagem é que isso permite que geradores de baixa velocidade de rotação sejam construídos, e podem ser ligados diretamente ao rotor da turbina, podendo então até dependendo do tipo de aerogerador dispensar a caixa de engrenagens reduzindo em 19,4% problemas com manutenção (GONG; YANG; QIAO, 2010). Como a frequência fornecida pelo gerador é a mesma de sua rotação, pode-se acoplar uma conversora de frequência a turbina, fazendo com que a frequência gerada já esteja sincronizada com a frequência da rede de sistema elétrico. Tais fatores, tornam geradores síncronos de imãs permanentes uma ótima opção na geração de energia em parques eólicos (REIS, 2013). Porém o gerador de imãs permanentes tem um alto custo, e também, sofrem desmagnetização ao longo do tempo, fazendo com que o valor final de implantação do parque eólico seja relativamente maior que os de geradores com rotor bobinado. A Figura 12 apresenta um gerador síncrono multipólos usado na produção de energia elétrica por meio de sistemas eólicos:

Figura 12 - Rotor de Gerador Síncrono para Sistemas Eólicos



Fonte: REIS (2013)

### 2.1.1.2.2 AEROGERADOR ASSÍNCRONO

Os geradores assíncronos são denominados assim porque a frequência elétrica das tensões geradas no estator, não está sincronizada com a frequência da velocidade do eixo do rotor como nos geradores síncronos. Também são largamente utilizados na geração de energia eólica pois o custo inicial de instalação é bem mais barato por serem construtivamente mais simples que os geradores síncronos. Porém têm um baixo fator de potência devido à falta de sincronia dos seus campos, visto que, ao iniciar a indução o campo magnético gerado não atravessa os condutores com eficiência assim que a velocidade aumenta, fazendo com que, haja perda de torque na máquina (PIFFER, 2022).

Eles são classificados de duas formas:

- Rotor de Gaiola de Esquilo;
- Rotor Bobinado.

Os geradores com rotor do tipo gaiola de esquilo possui várias barras condutoras, onde todas elas são curto-circuitadas em suas extremidades por anéis formando uma “gaiola” em torno do rotor. Esse formato lembra muito as rodas de correr que esquilos e *hamsters* de estimação usam, por isso o nome (CHAPMAN, 2013).

Os geradores rotor do tipo bobinado possui um conjunto completo de enrolamentos trifásicos e muito parecidos com os enrolamentos do estator. Suas fases são geralmente ligadas na configuração “Y” e as terminações são ligadas aos anéis deslizantes no eixo do rotor e curto-circuitadas por meio de escovas (CHAPMAN, 2013). A figura 13 apresenta os 2 tipos de geradores assíncronos:

Figura 13 - Tipos de geradores assíncronos



Fonte: (CHAPMAN, 2013)

A tabela 3 e 4 apresentam algumas vantagens e desvantagens que os geradores síncronos e a assíncronos possuem, e conforme demonstrando por Piffer (2022) em sua pesquisa, os 2 tipos geradores podem ser usados sem grandes problemas. O que irá decidir o tipo de aerogerador, será o custo benefício que a solução escolhida trará ao empreendimento, visto que, isso depende do custo de importação (se for o caso), transporte, instalação, manutenção entre outros.

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens dos Geradores Síncronos

Vantagens	Desvantagens
O gerador síncrono é mais eficiente que o de indução em grande escala. Porque geradores síncronos têm melhor fator de potência e os de assíncronos precisam de banco de capacitores para fornecer corrente de magnetização, que em grande escala, aumenta significativamente o custo.	Precisa de uma fonte de corrente contínua para alimentar o rotor. A não ser que o rotor seja de ímã permanente, neste caso, é usado apenas para aplicações de baixa potência. Porque há carência de materiais para a construção de ímãs fortes para o rotor.
Maior estabilidade de frequência e tensão devido ao sincronismo da velocidade do rotor e do campo girante.	Alternadores com o rotor bobinado exigem maior manutenção, devido ao desgaste dos anéis condutores e escovas.

Fonte: Stroski, 2019

Tabela 4 - Vantagens e desvantagens dos Geradores Assíncronos

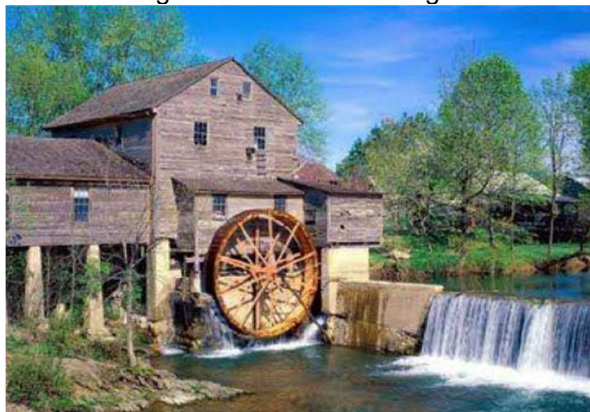
Vantagens	Desvantagens
Se o rotor for gaiola de esquilo, a construção é mais simples e a máquina é mais robusta. Exige menos manutenção devido à ausência de escovas e anéis de escorregamento. Tornando-o mais econômico.	Precisa receber potência reativa para gerar potência ativa. Pode vir de um banco de capacitores ou da rede através de um conversor.
Possuem maior relação potência/peso, geralmente são menores que os geradores síncronos. O entreferro é menor do que o dos alternadores.	Precisa ligar como motor de indução para ter fluxo magnético residual, necessário para a operação como gerador.
	Precisa de um conversor de potência para estabilizar a frequência e a tensão. Em alguns casos, são usados geradores de indução com rotor bobinado ou geradores de indução duplamente alimentado, que exigem maior manutenção.

Fonte: Stroski, 2019.

## 2.2 ENERGIA MAREMOTRIZ

A energia maremotriz pode ser definida como um modo de produzir energia elétrica através dos movimentos das massas de água oceânicas, essa energia pode ser extraída do movimento das correntes em função das marés que está na forma de energia cinética (ondas), ou então pela diferença de altura entre a maré alta e baixa que ocorrem aproximadamente de 12 em 12 horas durante o dia na forma de energia potencial. Por volta do século XII o homem já usava a energia dos oceanos para movimentar moinhos que moíam grãos e sementes, através da captação do desnível das marés e convertendo a energia potencial em energia cinética para o moinho como poder ser visto na figura 14 (SILVA et al. 2018).

Figura 14 – Moinho de Água



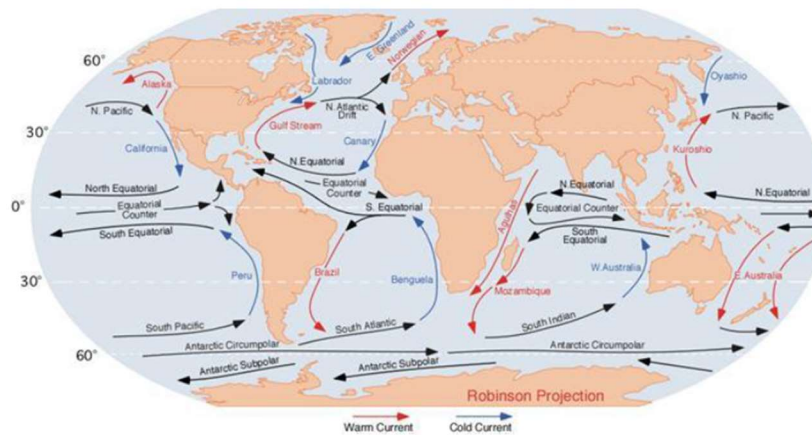
Fonte: (SILVA, et al. 2018)

Para Turekian (1988), os oceanos têm uma dinâmica com três tipos de movimentos que podem ser usados para gerar energia elétrica, sendo eles:

**Ondas:** são formadas quando os ventos entram em contato com a superfície oceânica, o atrito entre as moléculas de ar em movimento e as moléculas de água formam as ondas. A altura da onda depende da velocidade dos ventos e da profundidade da água, e por sua vez a velocidade da onda é gradualmente reduzida quanto maior for o atrito com o fundo do mar (TUREKIAN, 1988). A onda irá se quebrar quando a sua altura for cerca de  $\frac{3}{4}$  da profundidade da água, ou seja, uma onda de 1,50 metros de altura se quebra em uma profundidade de 2 metros de água (LEINZ & AMARAL 1998);

- **Circulação Oceânica** (Correntes Marinhas): ocorrem devido a influência solar, que gera os ventos e por sua vez em contato com a superfície oceânica movimentam as massas de água. A rotação da Terra também contribui para geração de correntes marinhas, porém os ventos são os maiores responsáveis pelas correntes marinhas superficiais. Já as correntes marinhas em profundidade ocorrem devido a diferente densidade nas camadas de água dos oceanos em todas as regiões da Terra, que acontecem por causa da evaporação e diferença na temperatura oceânica (TUREKIAN, 1988); A Figura 15 apresenta as principais correntes oceânicas que circulam pela Terra.

Figura 15 - Principais Correntes Marinhas



Fonte: (Alexandre, 2008)

- **Marés:** ocorre devido a influência gravitacional da Lua em relação a Terra, e da Terra em relação a Lua. Conforme a lei da gravidade de Newton a força exercida em um sistema é resultado da atração gravitacional, conforme equação 12 abaixo:

$$F = \frac{(G \cdot m_1 \cdot m_2)}{r^2} \quad (12)$$

Onde:

$F = \text{Força [N]}$ ;

$G = \text{Constante Gravitacional}$ ;

$m_1 \text{ e } m_2 = \text{massas dos 2 corpos [kg]}$ ;

$r = \text{distância entre os centros de massas dos 2 corpos [m]}$ .

O Sol também atua nas marés, quando a Terra, a Lua e o Sol se alinham ocorrem grandes ressacas devido a força gravitacional somada dos três corpos, porém quando os três corpos estão em ângulos retos, um em relação ao outro, as forças gravitacionais se anulam, causando as marés vazantes (ENGEL,1972),

### **2.2.1 POTENCIAL MAREMOTRIZ**

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), os oceanos cobrem aproximadamente 70% da superfície terrestre, cerca 3 bilhões de pessoas dependem dos oceanos como meio de vida, e também é o maior responsável para o equilíbrio climático terrestre, bem como o maior gerador de oxigênio. O homem conquistou todos os mares por meio da navegação, e com isso estabeleceu novos comércios e expandiu a civilização humana a uma escala global, com o aumento populacional mais uma vez se faz necessário a busca de novas fontes de energia para abastecer a demanda crescente.

Mais uma vez o homem se volta para os oceanos em busca de uma solução, o potencial energético dos oceanos é de cerca de 10 TW, essa energia poderia suprir toda a demanda energética do mundo sem que fosse necessária outra fonte de energia, porém devido as rotas de navegação, perdas de rendimento na conversão da energia cinética através dos geradores, e linhas de transmissão para a costa. Um cálculo realista é algo em torno de 10% de aproveitamento, ou seja, cerca de 1000 GW podem ser adicionados as fontes de energia que suprem o planeta (PLANETA COPPE – UFRJ,2006).

Segundo o professor Segen Estefen, o Brasil tem um potencial energético maremotriz de 120 GW, mas também devido as rotas de navegação, conversão de energia e outras perdas de rendimento, o potencial brasileiro é estimado em torno de 30 ou 40 GW. Esse potencial não é homogêneo em todo o país, no que diz respeito a geração de energia através das marés, a maior parte está no Estado do Maranhão seguindo a linha costeira para o norte, já o potencial das ondas se encontra entre o Rio Grande do Sul até o Ceará (CNN BRASIL,2021). Segundo Juliane Taise Piovani, o perfil brasileiro para extração de energia dos oceanos é através das ondas, pois tem um potencial de 90 GW, muito maior que o das marés que chega a pouco mais de 20 GW (CNN BRASIL,2021).

## 2.2.2 TIPOS DE USINAS MAREMOTRIZ

Neste tópico serão apresentados os projetos de usinas maremotriz mais promissores, como funcionam e exemplos que estão ou estiveram em funcionamento pelo mundo.

### 2.2.2.1 MAREMOTRIZ

O tipo mais conhecido de usina é a que extrai energia elétrica pela mudança de maré, funciona de forma parecida com uma hidrelétrica, porém ela armazena água na maré alta e a despeja na maré baixa. A energia é gerada no momento em que a água passa pelas turbinas tanto para abastecer o reservatório, como quando é despejada novamente no mar na maré baixa, ou seja, as turbinas giram em ambos os sentidos. Esse tipo de geração tem um custo elevado de implantação, pois é necessário um grande reservatório e barragem para o armazenamento da água do mar.

Outro problema é o impacto ambiental que esse tipo de usina causa, com a mudança do regime e alcance das marés, a criação de barreiras físicas, além do impacto econômico para comunidades pesqueiras, a usina pode afetar os estuários que são as áreas com grande diversidade biológica, que levam os nutrientes dos rios para o mar, pondo em risco o ciclo de reprodução de diversas espécies de peixes e outros animais que vivem nessas áreas (TAVARES, 2005).

Um bom exemplo de usina maremotriz é a La Rance que fica na França (Figura 16), ela possui uma barragem com 750m de comprimento, 24 turbinas com 10MW cada e um fator de capacidade de 0,4 que abastecem 0,012% demanda energética do país.

Figura 16 – Usina de La Rance

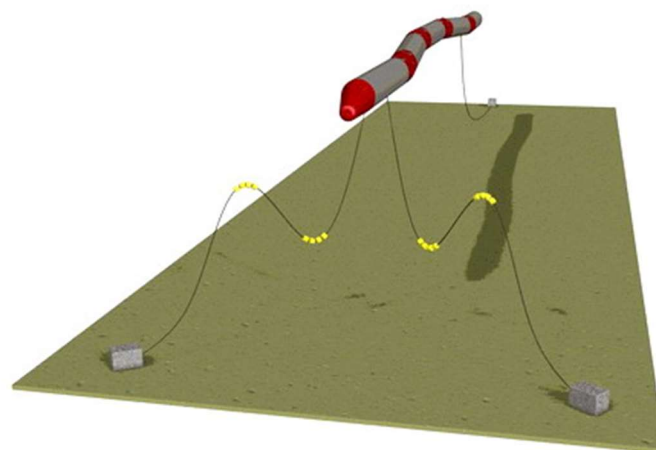


Fonte: (Électricité de France -EDF, 2022).

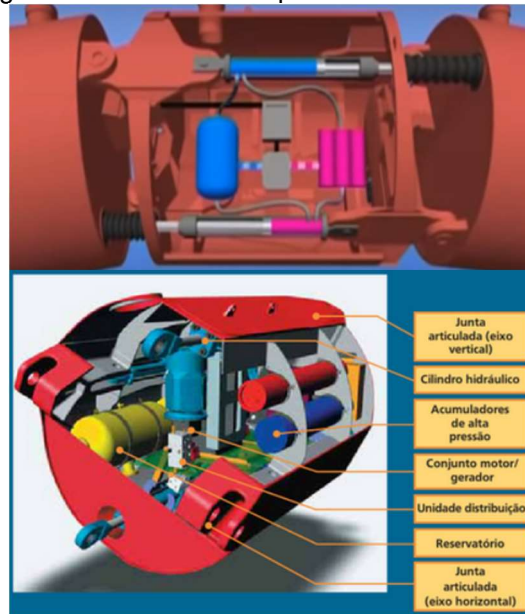
### 2.2.2.2 PELAMIS

Esse tipo de geração de energia, trata-se de um tubo segmentado que fica ancorado ao fundo do mar, conforme as ondas vão atingindo a estrutura fazem os segmentos se moverem. Essa movimentação é convertida em energia pelos cilindros hidráulicos, que por sua vez estão ligados a motores hidráulicos. Os riscos ambientais se dão pelo fato que o material que compõem os cilindros hidráulicos usados para converter a energia, são óleos contaminantes de fácil dispersão na água. Levando em consideração a viabilidade do projeto, se faz necessário que essas estruturas estejam em mares ou oceanos com variação de ondas médias para que a produção de energia elétrica seja viável. Por tanto, em mares calmos não é viável a instalação desse tipo de estrutura (SEED, 2022). As Figuras 17, 18 apresentam o projeto *Pelamis*, sua ancoragem e funcionamento respectivamente.

Figura 17 – Projeto *Pelamis Ocean Power Delivery*



Fonte: (SEED, 2022).

Figura 18 – *Pelamis* - Esquema de funcionamento

Fonte: MOER

O projeto Pelamis foi construído pela empresa *Ocean Power Delivery*, e tem 130 metros de comprimento por 2,3 metros de diâmetro e gera aproximadamente 750kW. Esse projeto foi instalado em Portugal pelo grupo *Energys* na cidade de Póvoa de Varzim, o local foi escolhido pela profundidade das águas e energia das ondas, além de ser próxima aos portos e fácil ligação com a rede elétrica.

### 2.2.2.3 TURBINA CORRENTE DE MARÉ

Essa turbina funciona praticamente da mesma forma que as turbinas eólicas explicadas no item 2.1.1.2, porém como a água é 4 vezes mais densa que o ar é possível reduzir o tamanho da turbina e gerar a mesma quantidade de energia. Para isso é preciso que a corrente marinha tenha uma velocidade de no mínimo 2,5m/s o que geralmente ocorre em uma profundidade de 30 metros e uma distância de aproximadamente 1 km da costa. As turbinas mais comuns encontradas geram em média 300kW. Essas turbinas não causam grandes impactos ambientais, porém como desvantagem impossibilitam a navegação onde serão instaladas as turbinas, sendo um problema em zonas portuárias e com isso o local a ser escolhido deve ser livre de rotas de navegação (SEED, 2022). A Figura 19 apresenta turbinas corrente de maré em funcionamento.

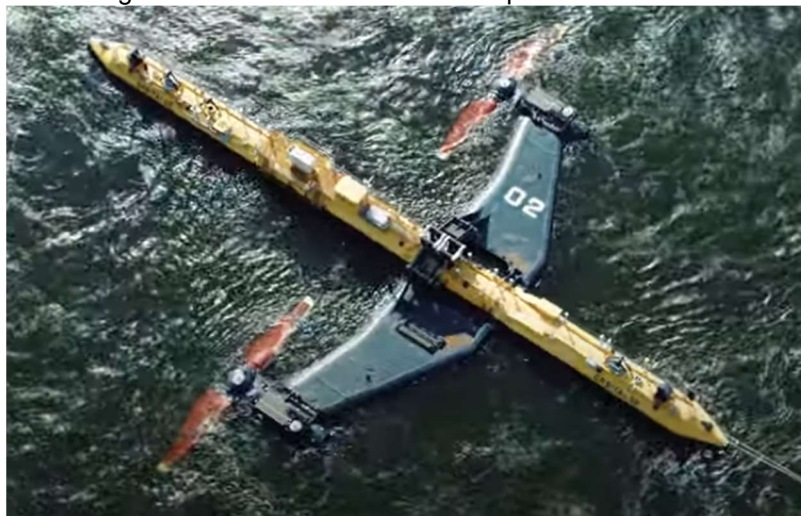
Figura 19 – Turbina de Maré



Fonte: SEED, 2022.

Na Figura 20 é apresentada a turbina de maré mais potente já construída, chamada de “O2”, está instalada no arquipélago de *Orkney* na Escócia e gera energia para 2 mil residências. Segundo a empresa *Orbital Marine Power*, empresa que criou o projeto, a turbina foi projetada para gerar energia por 15 anos.

Figura 20 - Turbina de Maré mais potente do Mundo



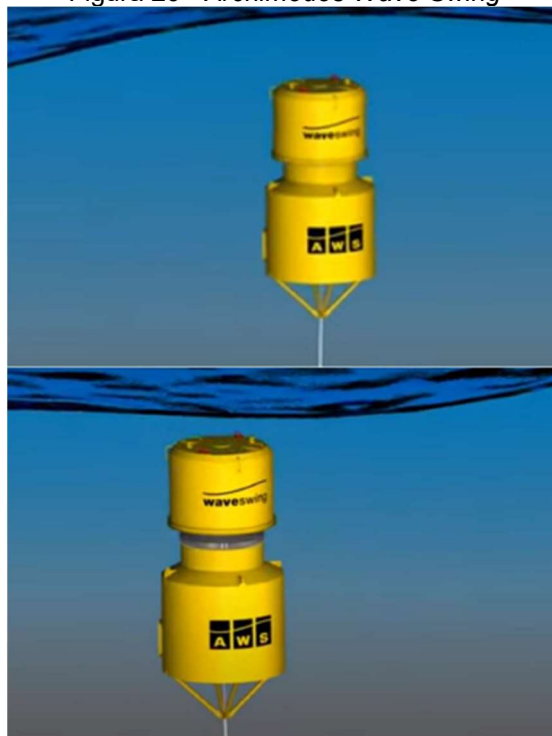
Fonte: OBSERVADOR, 2021.

#### 2.2.2.4 PROJETO ARCHIMEDES WAVE SWING

Esse projeto usa o princípio de Arquimedes para gerar energia por meio das ondas. Quando um objeto submerge em um fluido, uma força contrária atua sobre o objeto conhecida como força de empuxo, que é igual à quantidade do peso de fluido que foi deslocado pelo objeto. O projeto consiste em uma boia de formato cilíndrico que fica presa ao leito oceânico por cabos de ancoragem a uma profundidade de 6

metros. Quando as ondas passam pelo flutuador, ele se move para baixo, e por sua vez quando a cava da onda passa pelo flutuador ele se move para cima. Esse movimento é convertido em energia elétrica pelo sistema hidráulico ligado ao gerador que existe dentro do dispositivo. A empresa *AWS Ocean Energy* implantou esse projeto em Portugal. Segundo a empresa uma única boia pode ser configurada para gerar de 15kW até 500kW, a uma profundidade de no mínimo 25 metros, porém é possível instalar os módulos em uma plataforma multiabsorvente e gerar até 10MW. Na Figura 21, é possível ver o funcionamento do projeto *Archimedes Wave Swing*. Já na Figura 22, é apresentada a instalação do projeto em Portugal.

Figura 20 - Archimedes Wave Swing



Fonte: BRIGHT HUB, 2022.

Figura 21 – Instalação do projeto em Portugal



Fonte: BRIGHT HUB, 2022.

### 2.2.2.5 PROJETO PECÉM-CE

É o primeiro projeto de uma usina maremotriz que extrai energia das ondas na América latina. Ele foi instalado do no Porto de Pecém, em parceria com a UFRJ, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) e o Porto da cidade de Pecém que fica a 60km de Fortaleza-CE. O projeto teve seu protótipo em escala 1:6,5 testado no Tanque Oceânico e no Laboratório de Tecnologia Submarina da COPPE/UFRJ, e apresentou uma capacidade de extrair 35% do potencial energético das ondas, é o mesmo percentual que as melhores tecnologias já apresentaram extraindo energia da mesma fonte. O projeto tem como grande vantagem ser modular, ou seja, possui a possibilidade de ampliação, pode ser alterado conforme a necessidade do local a ser instalado, bem como os flutuadores podem ter qualquer forma geométrica. Tais características, possibilitam a implantação de um flutuador circular que foi testado pelo laboratório e permitiu absorver a energia das ondas em diferentes direções de propagação (COPPE/UFRJ, 2006). O teste do projeto é apresentado na Figura 23.

Figura 22 - Modelo teste no Tanque Oceânico da COPPE/UFRJ



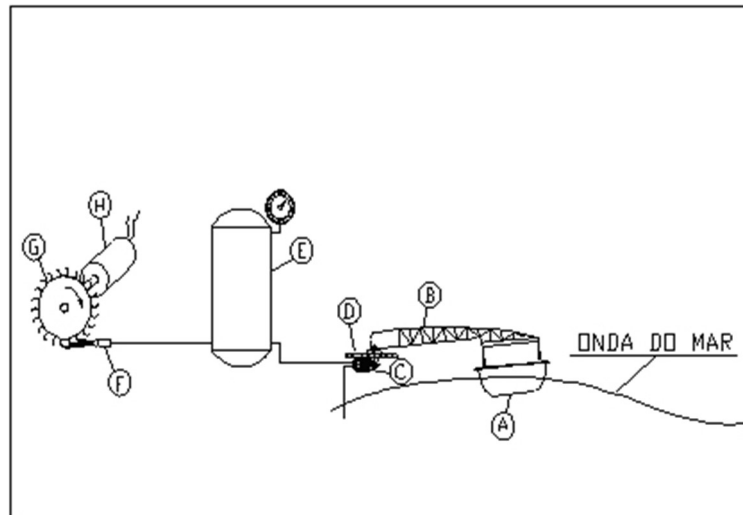
Fonte: COPPE/UFRJ, 2006.

No porto de Pecém foram instaladas unidades com capacidade de geração de 50kW, e funciona da seguinte forma: O projeto armazena água sob alta pressão em uma câmara hiperbárica. Essa pressão é obtida através do bombeamento que é feito pelo movimento das ondas que atuam nos flutuadores. A água que é liberada pela câmara aciona uma turbina ligada a um gerador que produz a energia elétrica. Esse processo simula uma queda de água de cerca de 400m de altura equivalente às grandes hidrelétricas. Cada unidade é constituída por um flutuador, um braço, uma estrutura de fixação e a bomba, além de mangueiras de alta pressão e outros componentes que fazem a ligação da unidade a câmara hiperbárica.

Na Figura 23 é apresentada o esquema de equipamentos que compõem a usina e são descritos da seguinte forma:

- A – Flutuador;
- B – Braço horizontal de articulação;
- C – Bomba hidráulica de movimento alternativo;
- D – Plataforma de sustentação;
- E – Câmara hiperbárica;
- F – Válvula reguladora de pressão;
- G – Turbina hidráulica;
- H – Gerador elétrico.

Figura 23 - Esquema de equipamentos que compõem a usina



Fonte: COPPE/UFRJ, 2006.

O local escolhido possui profundidade média de 17 metros, ondas em média de 1,4 metros com período de 7,53 segundos e instalado no quebra-mar do porto (COPPE/UFRJ). O projeto teve duração de 5 anos e foi finalizado em 2014, o professor Estefen afirma que:

É um projeto pioneiro no Brasil, o primeiro dispositivo no Brasil a gerar eletricidade pelas ondas do mar. Até hoje, no mundo todo, não existe nenhum dispositivo que está em fase comercial no aproveitamento de ondas, todos são demonstrativos, de estudos, que operam por um período e depois são desativados, buscando melhorias, (CNN BRASIL, 2021).

Já segundo o Doutor em Engenharia Oceânica Eliab Ricarte Beserra, o projeto não produziu a quantidade de energia esperada, houve a quebra de um componente estrutural, e com o fim do contrato de 15 milhões com a empresa Tractebel, o projeto foi abandonado (Quirino et al. 2017). Por outro lado, segundo o até então, diretor de engenharia do complexo de Pecém Fabio Abreu, o porto tem grande potencial de energia por possuir o quebra-mar que reduz os custos de implantação do projeto, e o porto está em parceria com uma empresa israelense que construirá geradores com potência de 8MW que representa 60% da demanda mensal do porto. Abreu ainda diz que em relação a geração de energia das ondas:

É como se fosse a eólica há 30 anos. Os parâmetros e tecnologias vão mudando, até porque cada mar tem uma característica, tem um aparelho, equipamento certo. A energia de ondas se encaixa perfeitamente “na busca por uma matriz mais verde”. Há uma estrutura que pode ser aproveitada, e é uma energia totalmente limpa, (CNN BRASIL, 2021).

A Figura 24 apresenta o projeto em funcionamento que foi instalado no porto de Pecém.

Figura 24 – Unidades instaladas no Porto de Pecém



Fonte: (Revista Planeta, 2016)

### 3 ESTUDO DE CASO

Nesta sessão serão apresentados os estudos que foram realizados para descobrir o potencial eólico e maremotriz da cidade de Itajaí-SC.

#### 3.1.1 ANÁLISE DO POTENCIAL EÓLICO DE ITAJAÍ-SC

##### 3.1.1.1 ANÁLISE DA REGIÃO

Com o auxílio do Google Maps quatro locais foram escolhidos dentro da cidade de Itajaí, evitando áreas densamente povoadas, montanhas e vegetação nas proximidades. Bem como todas as áreas possuem fácil acesso ao sistema elétrico evitando excesso de gastos referente a ligação dos aerogeradores que será feita ao sistema. Para o cálculo de parâmetro de rugosidade, como se trata de um estudo preliminar, foi usada a Equação 3 (lei da potência). A distribuição de Weibull não será utilizada nesse cálculo, pois os dados coletados já contêm a média histórica fornecida pelas três estações meteorológicas existentes na cidade. Sendo elas:

- Estação A868 pertencente a Epagri e ao sistema INMET, localizada Rod. Antônio Heil, 6800 - Itaipava, Itajaí - SC, posicionada a 9,76m do solo. Nesta região foi registrada, nos últimos 3 anos ventos com uma velocidade média de 5,58 km/h (INMET,2022);
- Estação DC-00 pertencente a Defesa Civil de Itajaí, localizada na Avenida Governador Adolfo Konder,1811 - Cidade Nova, Itajaí – SC, posicionada a 10,5m do solo. Nesta região foi registrada, nos últimos 2 anos ventos com uma velocidade média de 6km/h (Defesa Civil,2022);
- Estação Meteorológica Automática da Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI e do Porto de Itajaí, localizada na Rua Caminho de Xinxiang-Fazenda, Itajaí – SC, posicionada a 10 metros do solo. Nos últimos 3 anos registou uma velocidade média de 12km/h.

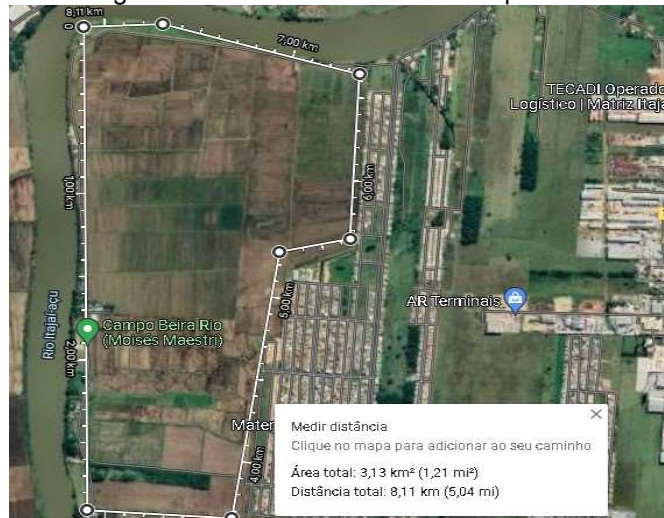
A primeira área escolhida fica nos entornos da rua Bruno Vicente da Luz, 4940, Espinheiros (lat -26,8568051 / long -48,7593317). Como pode ser visto nas Figuras 25, 26 e 27, se trata de uma área de pasto plana com vegetação rasteira, sem árvores e montanhas próximas, com uma área total disponível de aproximadamente 3,13km<sup>2</sup>. Seu fator P referente a rugosidade do terreno é de 0,16, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Figura 25 – Local 1



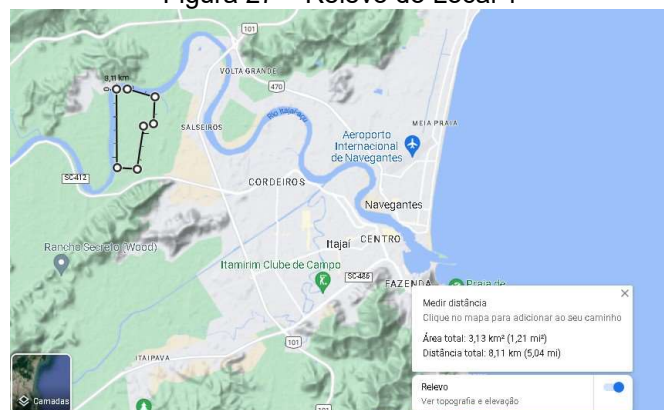
Fonte: Google Maps

Figura 26 – Local 1 – Área total disponível



Fonte: Google Maps

Figura 27 – Relevo do Local 1



Fonte: Google Maps.

A segunda área escolhida se localiza próximo à rua Amaro Belmiro, 1386, Espinheiros (lat -26,839706 / long-48,728217). Como pode ser visto na Figura 28, 29 e 30, se trata de uma área com algumas construções, vegetação rasteira e árvores próximas, com uma área total disponível de aproximadamente 0,253km<sup>2</sup>, seu fator P referente a rugosidade é de 0,22, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Figura 28 – Local 2



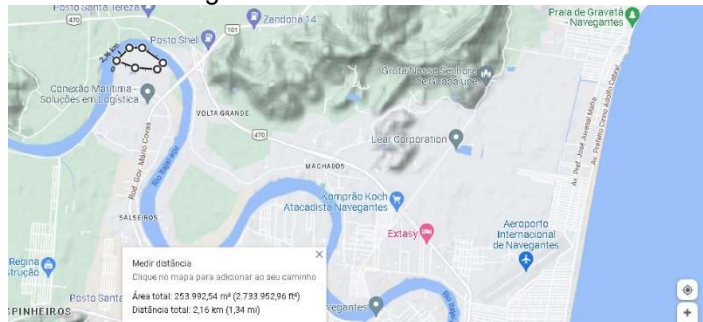
Fonte: Google Maps

Figura 29 – Local 2 – Área total disponível



Fonte: Google Maps

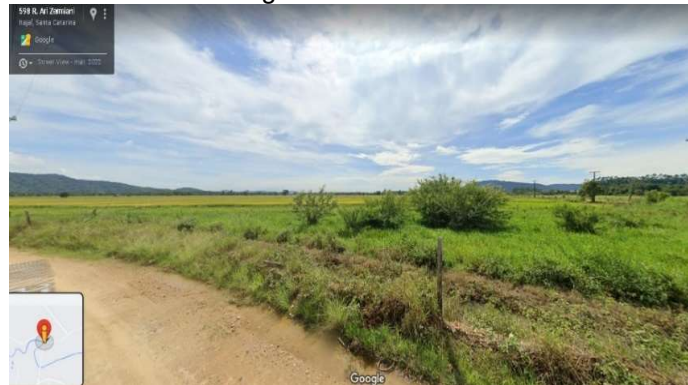
Figura 30 – Relevo do Local 2



Fonte: Google Maps

A terceira área escolhida fica localizada nas proximidades da rua Ari Zemiani, 598, Itaipava (lat -26,9360857 / long-48,7265045). Como poder ser visto na Figura 31, 32 e 33 esta aérea possui vegetação rasteira, sem montanhas e construções próximas, com uma área total disponível de aproximadamente de 1,57km<sup>2</sup>, sendo assim seu fator P referente a rugosidade é de 0,16, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Figura 31 – Local 3



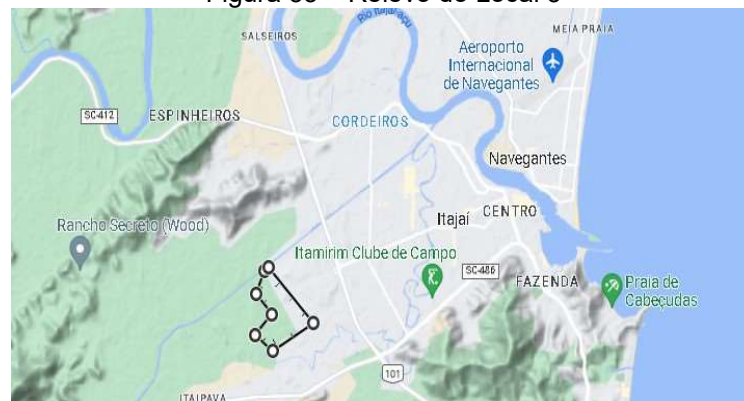
Fonte: Google Maps

Figura 32 – Local 3 – Área total disponível



Fonte: Google Maps

Figura 33 – Relevo do Local 3



Fonte: Google Maps

A quarta área escolhida é no mar, mais especificamente na Praia Brava de Itajaí, como poder ser visto na Figura 34 e 35. Por ser em alto-mar seu fator P de rugosidade é de 0,1 conforme pode ser visto na Tabela 1, uma área exata não foi determinada, visto que, em mar pode-se instalar quantos aerogeradores forem necessários, porém respeitando os mesmos requisitos de construção de um parque eólico em terra, além é claro que antes da instalação dos aerogeradores deverão ser analisadas as rotas de navegação, pois podem interferir na área aproveitada e também na distância da costa em que será possível instalar os aerogeradores.

Figura 34 – Local 4 - Praia Brava



Fonte: Google Maps

Figura 35 – Praia Brava

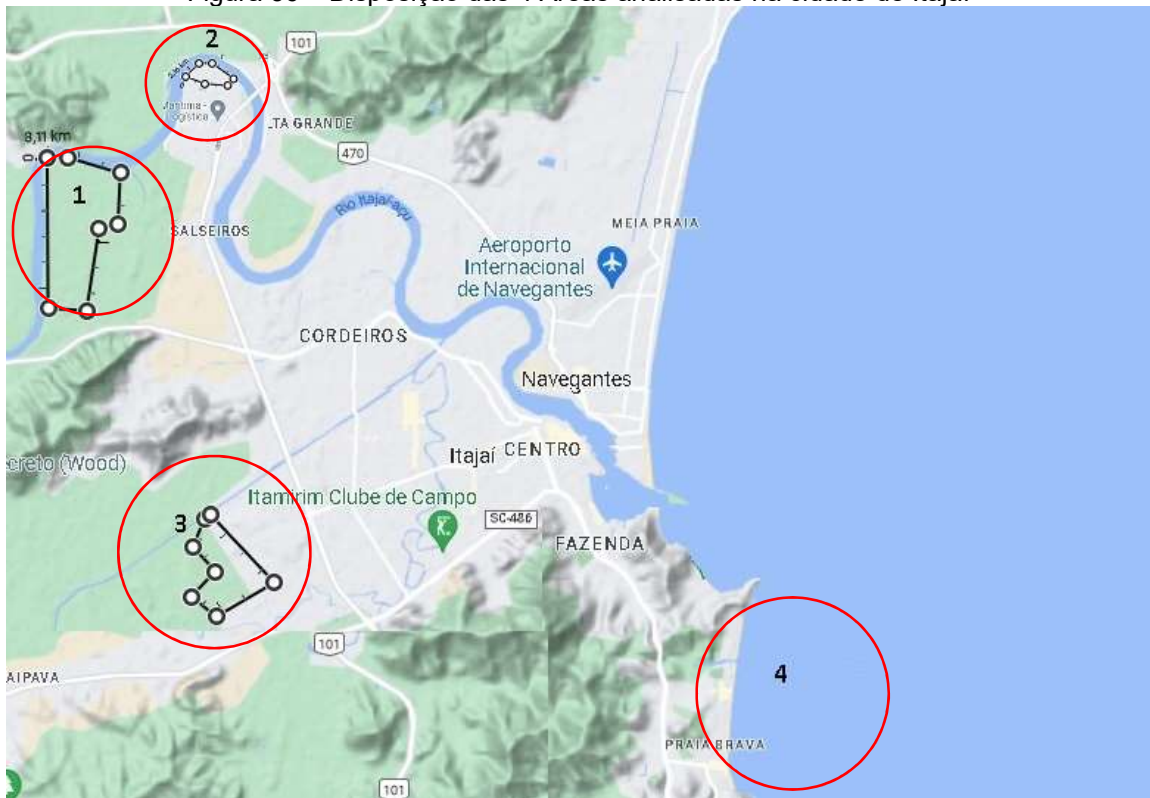


Fonte: Google Maps

Na figura 36, é possível ver a disposição dos 4 locais pesquisados na cidade de Itajaí, vários outros locais foram analisados, e, levando em conta os critérios citados

no começo dessa sessão as 4 melhores áreas disponíveis são indicadas. Porém o Local 2 por ter pouca área disponível, e por estar bem à frente de montanhas que impedem o fluxo livre de ventos que vem do mar, foi também descartado para o estudo de viabilidade.

Figura 36 – Disposição das 4 Áreas analisadas na cidade de Itajaí



Fonte: Google Maps

### 3.1.1.2 ESCOLHENDO O AEROGERADOR

Afim de economizar nos custos de logística, taxas de importação, impostos federais e estaduais, bem como instalação e manutenção dos aerogeradores, também levando em consideração boa performance, confiabilidade e alta tecnologia, a máquina escolhida foi um aerogerador síncrono de ímãs permanentes, da empresa WEG que tem sua fábrica localizada na cidade de Jaraguá do Sul/SC, e fica a uma distância de 62km da cidade de Itajaí/SC. O aerogerador tem 2200kW de potência, com transformador acoplado modelo AGW110/2.2 que pode ser visto na Figura 37, as especificações técnicas são mostradas a seguir:

- Classe de vento (IEC): S ( $V_{ref} = 9,0 \text{ m/s}$  /  $I_{ref} = 0,14$  /  $V_{e50} = 52,5 \text{ m/s}$ );
- Tensão de saída: 23 kV, 33 kV ou 34,5 kV;
- Diâmetro do rotor: 110 m;
- Altura do cubo (*hub*): 80 m, 95 m ou 120 m;
- Acoplamento mecânico: direto (sem caixa de engrenagem);
- Conexão à rede: conversor de potência plena;
- Cubo (hub) / Sistema de passo das pás (ângulo de *pitch*);
- Sistema de resfriamento fechado com fluido térmico;
- Base da nacela / Sistema de orientação ativo (ângulo de *yaw*).

Figura 37 – Aerogerador WEG AGW110/ 2.2

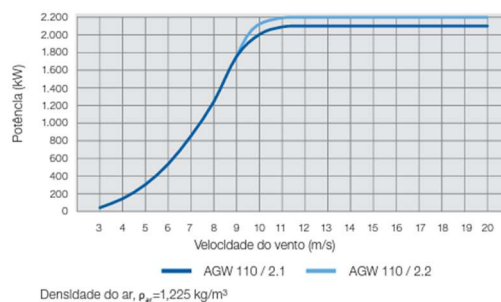


Fonte: WEG, 2022.

A Figura 38 apresenta a curva de potência gerada pelo aerogerador WEG modelo AGW110/2.2. É possível ver que esse modelo exige uma velocidade dos ventos mínima de 3m/s para começar a produzir energia, e para atingir sua potência máxima é preciso que a velocidade de ventos seja de 11m/s. Se a velocidade dos ventos chegarem até 20m/s, o sistema de freios será acionado automaticamente, evitando assim o risco de quebra do equipamento. A curva em azul claro representa o modelo escolhido.

Figura 38 – Curva de Potência do Aerogerador AGW110/2.2

Curva de Potência



Fonte: WEG, 2022.

### 3.1.1.3 RESULTADO DO ESTUDO DO POTENCIAL EÓLICO

A altura de referência usada para o cálculo da lei de potência é de 10m, pois é essa a altura em que estão as estações meteorológicas. A altura desejada é de 120m, que é a altura da turbina escolhida, a velocidade média de referência usada em terra é de 6km/h ou 1,67m/s conforme dados adquiridos com as 2 estações meteorológicas que estão localizadas no interior de Itajaí próximo as áreas 1 e 3. Pode-se observar que de frente para o mar a velocidade média dos ventos dobra passando para 12km/h ou 3,3m/s, e essa será a velocidade de referência usada para o local 4 que fica em mar. Com esses dados em mãos e reorganizado a equação 3 é possível extrapolar a velocidade média dos ventos para a altura desejada, como o Local 1 e Local 3 possuem o mesmo fator  $P$  de rugosidade e a mesma velocidade média temos então:

$$V_z = V_{zr} \left( \frac{z}{z_r} \right)^P$$

$$V_z = 1,67 \left( \frac{120}{10} \right)^{0,16} = 2,48m/s \quad (9km/h)$$

Para o local 4 em mar temos:

$$V_z = 3,33 \left( \frac{120}{10} \right)^{0,1} = 4,25m/s \quad (15km/h)$$

Ao analisar os dados das estações meteorológicas, cálculos realizados e a curva de potência do aerogerador, fica claro que a instalação de turbinas eólicas dentro da cidade de Itajaí é inviável, pois os ventos na região não atingem a velocidade mínima exigida de 3m/s para que a turbina comece a gerar energia, em alto-mar chegam a atingir 4,25m/s. Entretanto, segundo Grubb (1993), para ser tecnicamente viável a geração de energia eólica através dos aerogeradores se faz necessário que a região apresente no mínimo a uma altura de 50m a velocidade média de 7 a 8 m/s. O que não ocorre em cerca de 87% da superfície terrestre segundo a Organização Mundial de Meteorologia (OMM).

### 3.1.2 ANÁLISE DO POTENCIAL MAREMOTRIZ DE ITAJAÍ-SC

Itajaí é uma cidade portuária que está em franca expansão, e com isso demanda cada vez mais energia elétrica para indústria e a sua população. Então o objetivo dessa sessão é a analisar o litoral da cidade de Itajaí e verificar seu potencial maremotriz.

Segundo dados fornecidos pelo site da Marinha do Brasil, a cidade de Itajaí possui uma variação média na altura de maré de 0,59m. A altura significativa das ondas chega a 0,6m, porém a altura mais frequente é de 0,3m e com um período de 7,2 segundos. Faltam estudos relacionados as correntes de marés que circulam pelo litoral catarinense, por causa disso não é possível determinar qual a velocidade de corrente de maré que circula ao largo da costa da cidade de Itajaí. Porém, a média de velocidade da Corrente do Brasil (CB), corrente essa que percorre todo o litoral brasileiro, chega a 0,5m/s. (MARINHA DO BRASIL, 2022) (SILVEIRA, ET. AL. 2000).

#### 3.1.2.1 RESULTADO DO ESTUDO DO POTENCIAL MAREMOTRIZ

Levando em consideração as informações disponíveis, é possível analisar os métodos para geração de energia elétrica por meio das dinâmicas oceânicas para a cidade de Itajaí, e chegar aos seguintes resultados:

- Por ter uma variação média na altura de maré de apenas 0,59m, um mar relativamente calmo e a CB ter uma velocidade relativamente baixa, a Usina Maremotriz descrito no item 2.2.2.1, o projeto Pelamis descrito no item 2.2.2.2 e a Turbina Corrente de Maré descrito no item 2.2.2.3 são tecnicamente inviáveis para a cidade de Itajaí.
- O Projeto *Archimedes Wave Swing* descrito no item 2.2.2.4, traz uma ótima alternativa para a geração de energia elétrica, pela sua instalação rápida e simples, bastando apenas evitar que seja implantado dentro das rotas de navegação. Com os módulos em uma plataforma multiabsorvente a empresa fabricante afirma que pode gerar até 10MW de potência.

- Como a cidade de Itajaí possui um quebra-mar que fica na entrada do canal que leva ao porto de Itajaí, o projeto do Porto de Pecém descrito no item 2.2.2.5, é uma alternativa interessante. O custo do projeto será bastante reduzido. Isto porque não irá contemplar a construção de um quebra-mar. Apesar de que a altura média das ondas na região serem de 0,3m, é necessário um estudo mais aprofundado para que se possa afirmar ou não sua viabilidade técnica, visto que, a UFRJ continua melhorando a eficácia do seu protótipo.

## 4 CONCLUSÃO

A primeira etapa desse estudo de viabilidade, que visa encontrar fontes alternativas para a geração de energia elétrica, com o objetivo de ajudar a suprir a crescente demanda energética da cidade de Itajaí-SC, foi focada na análise do potencial eólico da cidade. Foram selecionadas quatro áreas onde aerogeradores poderiam ser instalados, porém ao verificar os dados fornecidos pelas estações meteorológicas da Defesa Civil de Itajaí, Univali e INMET, para uma altura padrão de 10 metros, a velocidade média anual dos ventos foram de 1,67m/s, 3,33m/s e 1,55m/s respectivamente, ou 6km/h, 12km/h e 5,58km/h respectivamente. Já para a altura de 120 metros, altura de operação do aerogerador escolhido, os valores médios aumentam para 2,48m/s, 4,25m/s e 2,30m/s respectivamente, ou 9km/h, 15km/h e 8,28km/h respectivamente.

Nota-se que quanto mais para o interior da cidade mais os ventos perdem potência, tendo sua maior velocidade média de ventos próximo ao mar. Entretanto, ao analisar todos os dados fica evidente que a instalação de turbinas eólicas dentro da cidade de Itajaí é inviável, pois os ventos na região não atingem a velocidade mínima exigida de 3m/s para que a turbina comece a gerar energia. Em alto-mar chegam a atingir 4,25m/s, porém, a velocidade média em uma altura de no mínimo 50 metros, deve ser de pelo menos 7 m/s para que o empreendimento seja técnica e economicamente viável.

Turbinas eólicas de eixo vertical para micro geração em locais com livre acesso para o mar, podem ser uma solução que atenda as residências. Pois essas turbinas geram energia elétrica com velocidades de vento bem menores que as turbinas de eixo horizontal, e a velocidade média de frente para o mar é de 12km/h em uma altura de 10m, ou seja, moradores dessa região podem gerar energia elétrica com essas turbinas. Entretanto, para se ter certeza, é necessário um estudo detalhado em cada local que se queira instalar uma turbina de eixo vertical, para verificar de fato se a geração de energia elétrica é viável.

A segunda etapa desse estudo de viabilidade, teve como finalidade descobrir o potencial maremotriz da região do litoral de Itajaí, cinco projetos promissores que geram energia elétrica através dos mares foram apresentados e analisados nesse estudo. Sendo eles a usina maremotriz que extrai energia com a variação na altura

das marés, o projeto *Pelamis*, a turbina corrente de maré, o projeto *Archimedes Wave Swing*, e o projeto brasileiro instalado no porto de Pecém-CE.

Devido à baixa variação de marés, mar relativamente calmo e baixa velocidade na corrente de maré que passa pela região de Itajaí, os três primeiros projetos são tecnicamente e economicamente inviáveis. Já os dois últimos projetos apresentam possibilidades bem interessantes para a geração de energia elétrica, visto que não exigem grandes investimentos e são de fácil instalação. Principalmente o projeto brasileiro do Porto de Pecém. Levando em conta que o porto da cidade de Itajaí possui um quebra-mar que pode ser utilizado para instalação desse tipo de ocupação, o que reduziria drasticamente o custo de implementação. Assim sugere-se iniciar uma parceria com a UFRJ, que detém a patente do projeto, para que se possa estudar detalhadamente a viabilidade de geração de energia elétrica através das ondas.

Ao fazer este estudo fica claro que poucas regiões do mundo apresentam potencial real para geração de energia elétrica por meio de fontes alternativas e renováveis, mas é de suma importância que esses estudos aconteçam. Pois, tecnologias mais eficientes para a geração de energia estão surgindo a todo momento, e em um futuro próximo, talvez seja possível que todos os países do mundo tenham como fonte principal as provenientes de energias renováveis e inesgotáveis.

## REFERÊNCIAS

- Associação Americana de Energia Eólica. **ENERGIA EÓLICA**. Disponível em: <<https://energiarenovavelbr.weebly.com/energia-eoacutelica.html>>. Acesso em: 09 setembro. 2022
- Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração**. <https://www.gov.br/aneel/pt-br>. Acesso em: 07 setembro. 2022.
- AGNOL, A. C. D. **Dados de consumo**. Disponível em: <<https://www.celesc.com.br/home/mercado-de-energia/dados-de-consumo>>. Acesso em: 05 maio. 2022.
- Alexandre, J. A. (2008). **As correntes marinhas (página 2)**. Disponível em: <<https://www.monografias.com/pt/trabalhos3/correntes-marinhas/correntes-marinhas2.shtml>>. Acesso em 09 novembro 2022.
- ALVARO, VACY. **Energia Eólica: um pouco de história**. Disponível em: <<https://webradioagua.pti.org.br/2018/05/01/um-pouco-de-historia/#:~:text=Acredita%2Dse%20que%20o%20primeiro,utilizada%20para%20iluminar%20o%20local>>. Acesso em: 07 setembro. 2022.
- AMARANTE, O. A. C. et al. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília: CRESESB, 2001.
- BÁRBARA MUNIZ VIEIR. G1. **Entenda por que está chovendo menos no Brasil e se há risco de nova crise hídrica em SP**. São Paulo: Globo, 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2021/06/14/por-que-esta-chovendo-menos-e-sao-paulo-pode-viver-nova-crise-hidrica.ghtml>>. Acesso em: 26 junho. 2022.
- BARCELLA, M. S; BRAMBILLA, F. R. **Energia eólica e os impactos socioambientais: estudo de caso em parque eólico do Rio Grande do Sul**, Brasil. Revista de Ciências Ambientais, vol.6, n.2, p. 5-18, 2012.
- BARROS, BEATRIZ ZANUT. **Conheça 12 diferentes tipos de usinas energéticas**. Disponível em: <<https://engenharia360.com/12-tipos-de-usinas-energeticas/>>. Acesso em 07/09/2022
- BLESSMANN, J. **O vento na engenharia estrutural**. Porto Alegre: Ed. Universidade / UFRGS, 1995.
- BRIGHT HUB. **Wave power: Archimedes Wave Swing Machines**. Disponível em: <<http://www.brighthub.com/environment/renewable-energy/articles/40548.aspx#>>. Acesso em: 11 novembro. 2022.
- CALDAS, DANILO MONTEIRO. **Estudo do potencial eólico e estimativa de geração de energia de um projeto eólico na cidade do Rio de Janeiro utilizando o WindPro e o WAsP**. 2010. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

Centro de Demonstração em Energias Renováveis – CEDER. **Infraestrutura Disponível.** Disponível em: <[https://www.politecnica.pucrs.br/laboratorios/default3/index.php?\\_lab=ceder&\\_lang=br&\\_pg=infraestrutura](https://www.politecnica.pucrs.br/laboratorios/default3/index.php?_lab=ceder&_lang=br&_pg=infraestrutura)>. Acesso em: 07 setembro. 2022.

CHAPMAN, S. **Fundamentos de Máquinas Elétricas.** New York. Mcgraw-Hill, 2013.

CHRISTÓFARO, BRUNO RAMOS. **Estudo do Potencial Eólico em Offshore para a Geração de Energia Elétrica no Litoral do Paraná.** 2010. 99 f. TCC (Curso de Oceanografia com Habilitação em Pesquisa Oceanográfica) – UFPR – Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2010.

CNN BRASIL. **Entenda como ondas e marés podem gerar energia no Brasil.** Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/entenda-como-ondas-e-mares-podem-gerar-energia-no-brasil/>>. Acesso em: 12 novembro 2022.

DA SILVA, JOANA EMILIE. **Análise do Recurso e Potencial Eólico da Região Sul de Santa Catarina e Estudo de Viabilidade Econômica para uma Planta Eólica na Cidade de Laguna – SC.** 2015. 59 f. TCC (Graduação em Engenharia Energia) – Universidade Federal de Santa Catarina-Campus Araranguá, Araranguá, 2015

DALMAZ, A. PASSOS, J. C.; BEYER, H. G. **Estudo do potencial eólico e previsão de ventos para a geração de eletricidade em Santa Catarina.** 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2007.

Defesa Civil de Itajaí. **Meteorologia.** Disponível em: <<https://defesacivil.itajai.sc.gov.br/>>. Acesso em: 14 outubro. 2022.

DO VAL FILHO, NILTON; DA LUZ FILHO, RONALDO QUINTILIANO. **Estudo de Viabilidade de Implantação de um Parque Eólico na Cidade de Ipanema através de Aerogeradores Síncronos.** 2015. 77 f. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) – ITC – Instituto Tecnológico de Caratinga, Caratinga, 2015.

DUTRA, R. M. **Viabilidade técnico-econômica da energia eólica face ao marco regulatório do setor eólico brasileiro.** 2001. 309 f. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

EDF. **Desenvolvido pela Electricité de France,** 2022. Apresenta textos sobre geração, transmissão e distribuição de Energia na França. Disponível em: <<https://www.edf.fr/usine-maremotrice-rance/naviguer-circuler-pecher>>. Acesso em: 09 novembro 2022.

Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica.** <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 07 setembro 2022.

ENGEL, L. **O mar.** Rio de Janeiro: J. Olympio, 1972. 201 p.

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

GONG, X.; YANG, X.; QIAO, W. **Wind speed and rotor position sensorless control for direct-drive pmg wind turbines**. In: **Industry Applications Society Annual Meeting (IAS)**. Houston, TX: IEEE, 2010. p. 1{8.

Governo Federal. **Brasil sobe para a sexta posição em ranking internacional de capacidade de energia eólica onshore**. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2022/04/brasil-sobe-para-a-sexta-posicao-em-ranking-internacional-de-capacidade-de-energia-eolica>>. Acesso em: 12 maio 2022.

GRUBB, M. J; MEYER, N. I. **Wind energy: resources, systems and regional strategies**. In: JO-HANSSON, T. B. et. al. **Renewable energy: sources for fuels and electricity**. Washington, D.C.: Island Press, 1993.

GUIDELINES. **For design of wind turbines**. Copenhagen: Det Norske Veritas; Roskilde, Denmark: Wind Energy Department, Riso National Laboratory, 2002.

HEIN, A. H. **Brasil ganhará 51 novos projetos de energia renovável**. Disponível em: <[https://canalsolar.com.br/brasil-ganhara-51-novos-projetos-de-energia-renovavel/#:~:text=A%20ANEEL%20\(Ag%C3%AAncia%20Nacional%20de](https://canalsolar.com.br/brasil-ganhara-51-novos-projetos-de-energia-renovavel/#:~:text=A%20ANEEL%20(Ag%C3%AAncia%20Nacional%20de)>. Acesso em: 12 maio 2022.

HICKOK, F. **Handbook of Solar and Wind Energy**. Cahnerns Publishing Company, Fourth Printing, 1975.

Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Anuais Históricos**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 14 outubro. 2022.

LEINZ, V., DO AMARAL, S. E. **Geologia geral**. 13 ed. São Paulo: Nacional, 1998. 399 p.

MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. **Wind Energy: Theory, Design and Application**. England: Ed. John Wiley & Sons Ltd, 2002. 577 p.

MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J.G.; ROGERS, A. L. **Wind energy explained: theory, design, and application**. 2nd ed. United Kingdom: John Wiley and Sons, 2009.

MARQUES, Gil. **Cap. 2 Máquinas Síncronas**. [S. I.], 2001. Disponível em: <http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasco/CEE-CAP%202.pdf>. Acesso em: 05 março 2023.

Marinha do Brasil. **Tábuas de Marés**. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>>. Acesso em: 18 novembro 2022.

MARTÍNEZ, C. **Princípios de conversión de la energia eólica**. In: Amenedo, J.L.R.; Gómez, S. A.; Díaz, J. C. B. Sistemas eólicos de producción de energia eléctrica. Madrid: Rueda, 2003,p.27-96.

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

MATTEDE, HENRIQUE. **Gerador eólico, como funciona?**. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/gerador-eolico-como-funciona/>>. Acesso em: 09 setembro. 2022.

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

MILANEZ, J. V. et al. **Energia Nuclear Socialmente aceitável como solução possível para a demanda energética brasileira**. Revista Ciências do Ambiente On-Line Fevereiro, 2006. Volume 2, Número 1

MOER. **Pelamis**. Disponível em: <<http://www.lpem.ufc.br/moer/energia-marinha/dispositivos/pelamis.html>>. Acesso em: 10 novembro 2022

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

OBSERVADOR. **A turbina de marés mais potente do mundo já está a funcionar na Escócia**. Disponível em: <<https://observador.pt/2021/07/29/a-turbina-de-mares-mais-potente-do-mundo-ja-esta-a-funcionar-na-escocia/>>. Acesso em: 10 novembro 2022.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS. Pen 2020/2024. Rio de Janeiro - RJ: **Gerência de Estudos Energéticos**. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/REVISTA\\_PEN\\_2020\\_versao20201112.pdf](http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/REVISTA_PEN_2020_versao20201112.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2022.

ONU. **Os oceanos cobrem mais de 70% da superfície do planeta**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/185272-os-oceanos-cobrem-mais-de-70-da-superficie-do-planeta#:~:text=%E2%80%A2-,Os%20oceanos%20cobrem%20mais%20de%2070%25%20da%20superf%C3%ADcie%20do%20planeta,de%203%20bilh%C3%B5es%20de%20pessoas.>>. Acesso em : 12 novembro 2022.

PIFFER, GABRIEL. **Comparação Técnica de Aero geradores com Máquinas DFIG e PMSG**. 2022. 45 f. TCC (Curso de Engenharia de Petróleo e Recursos Renováveis)– UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo, Santos, 2022.

Planeta COPPE – UFRJ. **Geração de Energia Elétrica pelas Ondas do Mar**. Disponível em: < <https://www.coppe.ufrj.br/pt-br/geracao-de-energia-eletrica-pelas-ondas-do-mar-0>>. Acesso em: 12 novembro 2022.

QUIRINO, AMANDA. et. al. **EXPERIÊNCIAS EXITOSAS NO USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS: ENERGIA DE MARÉS**. 2017. Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Vol. 5: Congestas.

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

REIS, JOANA MAGDA VAZ DA SILVA. **Comportamento dos geradores Eólicos Síncronos com Conversores diante de Curto-circuitos no Sistema**. 2013. 168 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE) – UFRJ– Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

REIS, PEDRO. **França anuncia 2.000MW em licenças para parques eólicos offshore**. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/franca-anuncia-2-000mw-em-licencas-para-parques-eolicos-offshore/>>. Acesso em: 07 setembro 2022.

Revista Pesquisa FAPESP. **Ventos promissores a caminho**. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/ventos-promissores-a-caminho/#:~:text=O%20potencial%20de%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de,atual%20de%20energia%20do%20Brasil>>. Acesso em: 07 setembro 2022.

Revista Planeta, **A energia que vem do mar**. Disponível em: <<https://www.revistaplaneta.com.br/energia-que-vem-do-mar/>>. Acesso em: 12 novembro 2022.

ROHATGI, J. S.; NELSON, V. **Wind Characteristics. An analysis for the generatoin of wind power**. Alternative Energy Institute, West Texas A&M University, 1994.

ROHATGI, J.; BARBEZIER, G. **Wind turbulence and atmospheric stability: Their effect on Wind turbine output**. Renewable Energy. v. 16, p 908-911, 1999.

SANTANA, ADRIELLE C. **Motores Síncronos**. Disponível em: <[http://professor.ufop.br/sites/default/files/adrielle/files/aula\\_12-motores\\_sincronos.pdf](http://professor.ufop.br/sites/default/files/adrielle/files/aula_12-motores_sincronos.pdf)>. Acesso em: 05 março 2023.

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

SEED. (2022). **Wave and Tidal Energy**. Disponível em SEED: <<https://learning.media.mit.edu/seed/wave%20energy.html>>. Acesso em 12 de novembro 2022.

SILVA, A. E.; BARRETO, G. B.; JUNIOR, H. R. S.; GONÇALVES, J. H. N.; AMARANTE, M. S. **Energia Maremotriz**. Pesquisa e Ação V4 N1: maio de 2018.

SILVERA, ILSO. C. A. et. al. **A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira**. São Paulo, São Paulo, p 1-13, 2000.

STROSKI, PEDRO NEY. **Geradores assíncrono x síncrono**. Disponível em: <<https://www.electricalibrary.com/2019/11/02/geradores-assincrono-x-sincrono/>>. Acesso em: 05 março 2023.

USP. **Circulação Geral da Atmosfera**. Disponível em: <[https://midia.atp.usp.br/plc/plc0009/impressos/plc0009\\_08.pdf](https://midia.atp.usp.br/plc/plc0009/impressos/plc0009_08.pdf)>. Acesso em: 07 setembro. 2022.

TAVARES, M. W. **Produção de Eletricidade a partir da energia maremotriz**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2005.

TUREKIAN, K. K. **Oceanos. Série de textos básicos de Geociência**. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 152 p.

VIVEN. **Quantos parques eólicos têm no Brasil 2021?** Disponível em: <<https://www.vivendobauru.com.br/quantos-parques-eolicos-tem-no-brasil-2021/#:~:text=Quantos%20parques%20e%C3%B3licos%20existem%20no,ranking%20mundial%20de%20gera%C3%A7%C3%A3o%20e%C3%B3lica>>. Acesso em: 07 setembro. 2022.

WEG. **Aerogeradores-AGW110/2.1eAGW110/2.2**. Disponível em: <[https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%2C-Transmiss%C3%A3o-e-Distribui%C3%A7%C3%A3o/Aerogeradores/Aerogeradores--AGW110-2-1-e-AGW110-2-2/Aerogeradores---AGW110-2-1-e-AGW110-2-2/p/MKT\\_WEN\\_WIND\\_AGW110](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%2C-Transmiss%C3%A3o-e-Distribui%C3%A7%C3%A3o/Aerogeradores/Aerogeradores--AGW110-2-1-e-AGW110-2-2/Aerogeradores---AGW110-2-1-e-AGW110-2-2/p/MKT_WEN_WIND_AGW110)>. Acesso em: 18 outubro, 2022.