

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LARISSA DA SILVA SANTOS
LIDYA GIOVANA DA SILVA BARÃO
PAMELA MORAES DE SOUZA
STEFANIE MARIA ANDRADE**

**PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA A INSTALAÇÃO DE UMA TURBINA
EÓLICA DE EIXO VERTICAL EM UMA RODOVIA**

VOLTA REDONDA, RJ

2021

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA A INSTALAÇÃO DE UMA TURBINA
EÓLICA DE EIXO VERTICAL EM UMA RODOVIA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso de Curso Superior de Engenharia Civil – UniFOA como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aluno: Larissa da Silva Santos

Lidya Giovana da Silva Barão

Pamela Moraes de Souza

Stefanie Maria Andrade

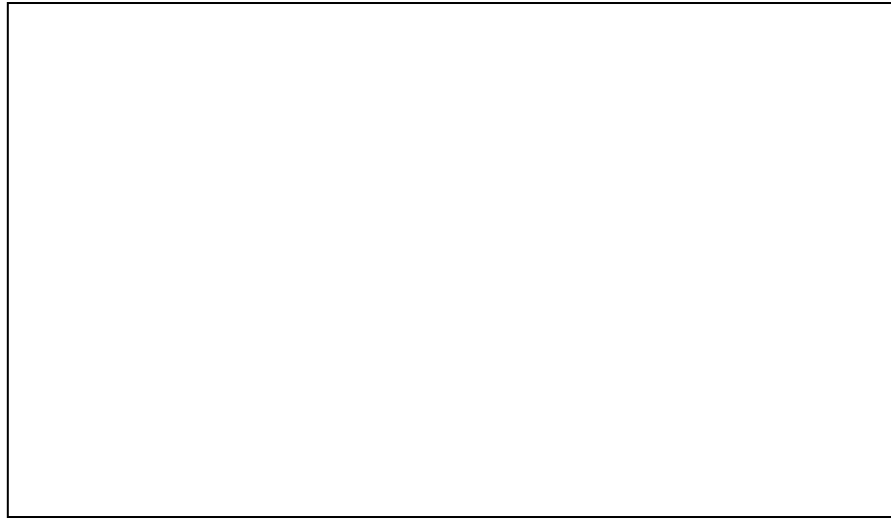
Orientador: Prof. Esp. Rogério Nogueira
Pereira.

VOLTA REDONDA, RJ

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

A large empty rectangular box with a thin black border, occupying the lower half of the page. It is likely a placeholder for a barcode or additional information related to the catalog entry.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **PRINCÍPIOS BÁSICOS PARA A INSTALAÇÃO DE UMA TURBINA EÓLICA DE EIXO VERTICAL EM UMA RODOVIA**

Elaborado por Larissa da Silva Santos, Matrícula: 201710043, Lydia Giovana da Silva Barão, Matrícula: 201710917, Pamela Moraes de Souza, Matrícula: 201610600, Stefanie Maria de Andrade, Matrícula: 201610194, apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Civil

Aprovada em 02 de junho de 2021.

Banca Avaliadora:

Assinatura dos membros da Banca Examinadora:



Professor Orientador

Rogério Nogueira Pereira, Especialista, UniFOA



Professor Avaliador

André Silva Freitas, Mestre, UniFOA



Professor Avaliador

Sérgio Luiz Taranto de Reis, Mestre, UniFOA

Dedicamos este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em nossas vidas, aos nossos pais e professores que ao longo da vida nos apontaram o caminho de uma boa educação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por toda sabedoria que tem nos proporcionado, que sem ele nos capitando não teríamos concluído esse trabalho.

A nossos pais e familiares, agradecemos por todo amparo, força e ensinamentos, pois sem seus esforços e dedicação não poderíamos concluir esse curso.

A nosso professor orientador Rogério Nogueira Pereira e a professora Joice Andrade Araújo, por todo ensinamento e motivação dedicada, sem o qual não teríamos conseguido concluir essa difícil tarefa.

A todos os profissionais da instituição UniFOA, aos professores e colaboradores do curso, que fizeram dessa experiência a mais gratificante, dando orientações e conselhos durante a realização da graduação.

RESUMO

A energia seja ela em qualquer forma é indispensável, e sua disponibilidade está associada à qualidade de vida da humanidade. A presente dissertação expõe os princípios básicos para instalação de uma turbina eólica de eixo vertical em uma rodovia, com a finalidade de utilizar a energia eólica produzida pela passagem de veículos em uma rodovia, para a produção de energia elétrica. Sendo essa uma alternativa para minimizar a dependência dos padrões atuais de geração de energia elétrica. Durante esta pesquisa foram encontradas duas tecnologias para o aproveitamento dos ventos: turbina de eixo horizontal e turbina de eixo vertical. Constatando que a turbina de eixo vertical se adapta melhor em ventos multidirecionais, como os gerados pelo movimento de veículos. Realizou-se um estudo sobre os princípios da geração de energia eólica, e com ele foi encontrado três artefatos projetados para operar em estradas e rodovias, constando que é possível a geração de energia eólica através do movimento de veículos, dando embasamento ao presente estudo.

Palavras-chave: Energia eólica; vento; rodovia; turbina eólica; sustentável.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma bibliográfico.....	20
Figura 2- Distribuição dos transportes no Brasil.....	21
Figura 3- Avaliação gráfica das condições das rodovias.....	22
Figura 4- Condições da malha rodoviária brasileira.....	24
Figura 5- Pavimentação de rodovias federais por região.....	25
Figura 6- Estrutura de pavimento flexível.....	27
Figura 7- Estrutura de pavimento rígido.....	29
Figura 8- Gráfico da matriz elétrica brasileira.....	31
Figura 9- Esquema de partes de um aerogerador.....	33
Figura 10- Modelo de sistema isolado.....	34
Figura 11- Modelo sistema híbrido.....	35
Figura 12- Dinâmica do vento em diferentes superfícies de terreno.....	36
Figura 13- Esquema de ventos verticais.....	37
Figura 14- Esquema de ventos horizontais.....	38
Figura 15- Ventos alísios e contra- alísios.....	39
Figura 16- Quadro escala de Beaufort.....	41
Figura 17- O primeiro gerador eólico de James Blyth.....	44
Figura 18- Turbinas criadas por Poul La Court.....	45
Figura 19- Princípio da conversão da energia eólica em energia elétrica.....	46
Figura 20- Turbinas com eixo horizontal (a) e (b) e vertical (c).....	47
Figura 21- Tipos de turbinas eólicas de eixo horizontal.....	49
Figura 22- Turbinas <i>upwind</i> e <i>downwind</i>	50
Figura 23- Energia renovável.....	51
Figura 24- Turbina Darrieus e suas variantes.....	52
Figura 25- Exemplos de aerogeradores Savonius.....	53
Figura 26- Turbina Savonius- Darrieus instalada na cidade Jinguashi, Taiwan- China.....	54
Figura 27- Pistola de velocidade.....	56
Figura 28- Anemômetro rotacional.....	58

Figura 29- Anemômetro ultrassônico.	59
Figura 30- Modelo de anemômetro.	60
Figura 31- Anemômetro de tubo de pressão.	60
Figura 32- Equipamento de proteção individual e coletivo.	62
Figura 33- Quadro para coleta de dados referentes a velocidade do deslocamento de ar proporcionado pelo movimento de veículos em uma rodovia.....	66
Figura 34- Representação de uma turbina eólica Enlil.....	70
Figura 35- Corredor de ônibus garantindo a constância de vento para o aerogerador. .	71
Figura 36- Turbina de eixo vertical, Capture Mobility.	72
Figura 37- Turbina de eixo vertical Alpha 311, protótipo Mk.x.....	74
Figura 38- Lâmpada a vapor de sódio de alta pressão.	78
Figura 39- Pedágio Rio de Janeiro.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Categoria de veículos.....	65
Quadro 2: Quadro comparativo das vantagens e desvantagens da instalação de um equipamento eólico	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Relação de tamanho, potência, diâmetro e área.....	48
Tabela 2- Fator de rugosidade do terreno.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A - Superfície Traçada pelas Pás do Rotor
ABEEÓLICA - Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
CBIE - Centro Brasileiro de Infra Estrutura
CCP - Concreto Cimento Portland
CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
Cepel - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
CNT - Confederação Nacional de Transporte
CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
d - Densidade do Ar no Local
DC - Depois de Cristo
Detran - Departamento de Trânsito do Estado do Rio de Janeiro
DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
EPC's - Equipamentos de Proteção Coletiva
EPI's - Equipamentos de Proteção Individual
EUA - Estados Unidos da América
GW - Gigawatt
GWEC - Global Wind Energy Council
H0 - Altura Desejada
IAG - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
Km/h - Quilômetros por Hora
m - Metros
M/s - Metro por Segundo
mm - Milímetros
Mph - milhas por hora

MW - Megawatt

n - Fator de Rugosidade do Terreno

NBR - Norma Brasileira

NR - Normas Regulamentadoras

P_d - Potência Total da Massa de Ar

PE - Pernambuco

% - Porcentagem

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas

SI - Sistema Internacional de Medidas

SNV - Sistema Nacional de Viação

UFPR - Universidade Federal do Paraná

USP - Universidade de São Paulo

V - Velocidade do Vento na Altura Desejada

V_a - Velocidade do Ar

V_v - Velocidade do Veículo

V_0 - Velocidade do Vento Disponível na Altura Conhecida

V^3 - Velocidade do Ar

XIX- Dezenove

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Problema Abordado	17
1.2	Justificativa.....	17
1.3	Estratégias de Pesquisa.....	18
1.4	Estrutura do Projeto.....	18
1.5	Objetivo Geral	19
1.5.1	Objetivos Específicos	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	Rodovias Brasileiras.....	20
2.1.1	Tipos de Pavimentos no Brasil	22
2.1.2	Pavimento Flexível	26
2.1.3	Pavimento Rígido	27
2.2	Energia e o Vento – Formação da Energia Eólica.....	29
2.2.1	Aproveitamento Energético e Potencial Brasileiro.....	30
2.2.2	A geração e Transmissão da Energia	32
2.2.3	Classificações do Vento	35
2.2.4	Classificação por Escala	40
2.2.5	Medidas do Vento	41
2.3	Turbinas Eólicas - Breve Histórico	42
2.3.1	Turbinas Eólicas	45
2.3.2	Turbina Eólica de Eixo Horizontal	48
2.3.3	Turbina Eólica de Eixo Vertical.....	50
2.3.3.1	Turbina Darrieus.....	51
2.3.3.2	Turbina Savonius	52
2.3.3.3	Turbina Darrieus-Savonius.....	53
2.4	Equipamentos de Medição	54
2.4.1	Pistola de Velocidade	55
2.4.2	Anemômetros	56
2.4.2.1	Tipos de Anemômetros	57

2.5 Equipamentos de Proteção	61
2.6 Coleta de Dados.....	63
2.7 Estudo da Arte.....	71
2.7.1 Enlil Turbina Eólica.....	71
2.7.2 Capture Mobility	72
2.7.3 Alpha 311	73
2.8 Destinação da Energia coletada.....	74
2.8.1 Iluminação em Rodovias	75
2.8.2 Iluminação Pública – NBR5101/2018.....	75
2.8.3 Iluminância da Pista	76
2.8.3.1 Vias Arteriais	76
2.8.3.2 Vias Coletoras	77
2.8.4 Luminária para Rodovia	77
2.8.5 Poste de Iluminação	78
2.8.6 Iluminação de Pedágios	79
2.9 Vantagens e Desvantagens da Energia Eólica	79
3 CONCLUSÃO.....	84
4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	85
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é abundante em fontes energéticas naturais e renováveis, explorando já em grande escala a hidráulica, necessitando aprimorar as opções existentes, exceto energia geotérmica tendo esse baixo potencial se comparada a outras como: solar, eólica, biomassa, oceânica e hidrogênio, podendo ser bem mais exploradas, de maneira que ocorra o desenvolvimento do país de forma sustentável (FADIGAS, 2011).

De acordo com projeções do IBGE (2021), o Brasil tem aproximadamente 213, 107 milhões de habitantes. Com o constante crescimento populacional, o investimento em captação de energia elétrica é constantemente estudado, já que a matriz elétrica brasileira é predominantemente vinda de hidroelétricas, que é dependente dos níveis dos reservatórios hídricos e complementada por termoelétricas.

No ano 2000 foi o ponto chave para o investimento em novos modais de energia elétrica no país. O Apagão e o Racionamento de Energia Elétrica foram responsáveis pela crise no setor energético brasileiro, por conta de uma grande seca por escassez de chuvas que durou cerca de nove meses (2000 á 2001), causando racionamento de energia. Após esse período o cenário modificou, passando assim de aproximadamente 80% para 66,6%, a geração de energia por hidroelétricas (CBIE, 2020).

Nesse cenário, as energias renováveis são uma alternativa, como a energia gerada pelos ventos (energia eólica), sendo um ótimo complemento na matriz energética brasileira e não poluidora, não contribuindo para os gases do efeito estufa, gases esses provenientes de queima de combustíveis fósseis, agravados pelo alto nível de veículos automotores em rodovias.

As rodovias brasileiras estão em um ponto crítico, segundo a Confederação Nacional de Transporte (2019), a infraestrutura existente para os veículos transitarem nas

rodovias brasileiras não serve com qualidade, a demanda crescente, se mostrando ineficiente.

Entre os anos de 2009 a 2019 houve um acréscimo de 74,1% na frota de veículos no Brasil, passando a ter seu total de 103.363.180 (cento e três milhões trezentos e sessenta e três mil cento e oitenta) veículos registrados, enquanto a malha rodoviária disponível cresceu 0,5% não acompanhando esse progresso, tendo sua extensão total de 1.720.700,3 km (um milhão e setecentos e vinte mil e setecentos quilômetros e três metros); sendo 12,4% pavimentadas, 78,5% não pavimentadas e 9,1% planejadas (CNT, 2018).

1.1 Problema Abordado

Mesmo com um alto potencial para geração de energia eólica, sendo ela uma energia limpa, renovável e não de origem fóssil, o Brasil ainda não tem alto incentivo para novas tecnologias relacionadas à captação dos ventos. Nesse contexto a malha rodoviária seria um bom objeto de estudo, visto que o vento gerado pela cinética dos veículos é desprezado, e não depende de clima ou relevo para seu funcionamento.

Nesse contexto; é possível reaproveitar a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento) proveniente do fluxo de veículos em rodovias, para geração de energia elétrica?

1.2 Justificativa

A energia seja ela em qual forma (recursos renováveis e não renováveis), é essencial para a vida humana, e ao longo dos tempos vem sendo transformada para tornar a vida mais fácil, tanto para a geração presente quanto para as gerações futuras.

O presente trabalho abordou os procedimentos necessários para o aproveitamento energético da energia eólica produzida através do movimento das massas de ar geradas com a passagem de veículos em uma rodovia.

1.3 Estratégias de Pesquisa

O presente projeto abordou uma revisão bibliográfica e descritiva sobre as variáveis a serem levadas em consideração no momento que se planejar instalar um equipamento eólico em uma rodovia; introduzindo um estudo sobre rodovias, indicando os equipamentos aerogeradores existentes, e cálculos pertinentes a serem desenvolvidos.

1.4 Estrutura do Projeto

Para melhor descrever, este projeto organiza-se da seguinte forma:

Capítulo 1 - É apresentada a contextualização, justificativa e objetivo do trabalho.

Capítulo 2 - Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica: Rodovias brasileiras, o cenário mundial do potencial eólico, modelos de turbinas eólicas existentes, equipamentos para medição, equipamentos de proteção, coleta de dados, sugestão para destinação da energia gerada e considerações finais quanto as vantagens e as desvantagens do projeto.

Capítulo 3 - Conclusões quanto à finalização do projeto.

Capítulo 4 - Sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 5 – Referências bibliográficas, utilizadas para o embasamento teórico.

1.5 Objetivo Geral

Desenvolver um roteiro descritivo sobre o comportamento dos ventos gerados pelo movimento de veículos em uma rodovia, para geração de energia eólica.

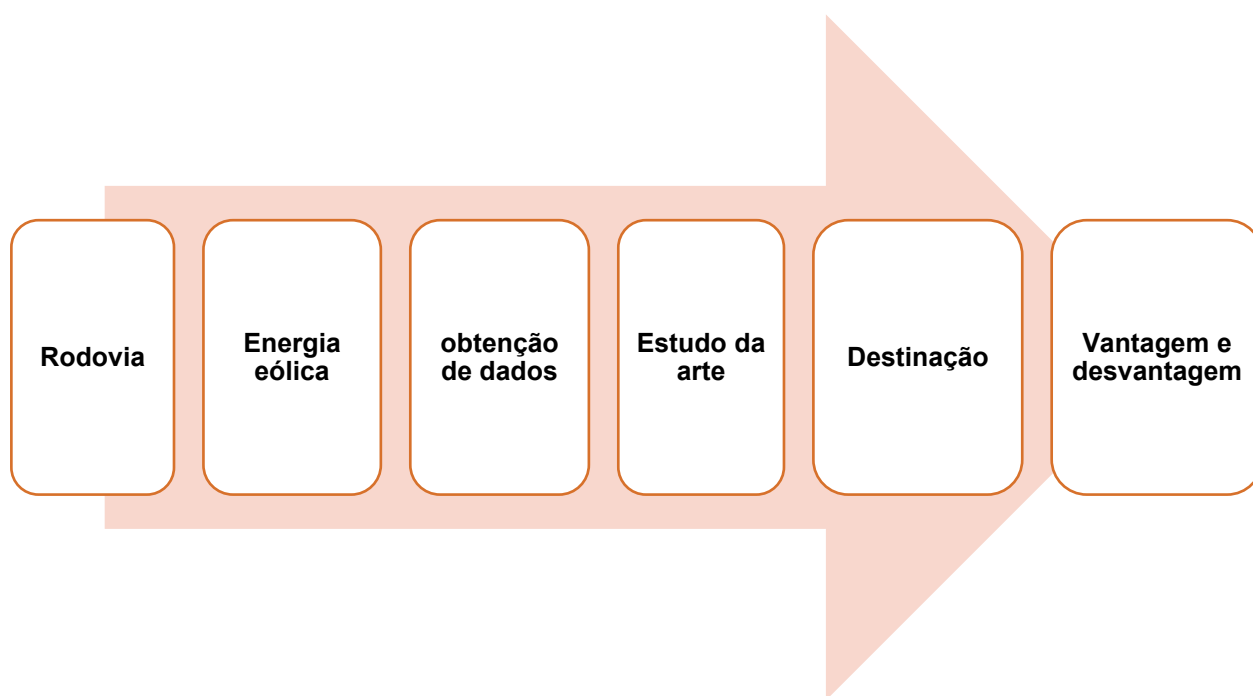
1.5.1 Objetivos Específicos

- Expor as características de uma rodovia.
- Fundamentar teoricamente como gerar e transmitir a energia eólica.
- Detalhar as variáveis do vento.
- Compreender as turbinas eólicas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo foi abordado o enquadramento teórico do trabalho, sendo expostas as variáveis a serem levadas em consideração no projeto. A seguir consta a revisão bibliográfica utilizada no projeto, sendo indicada no fluxograma presente na Figura 1.

Figura 1- Fluxograma bibliográfico.



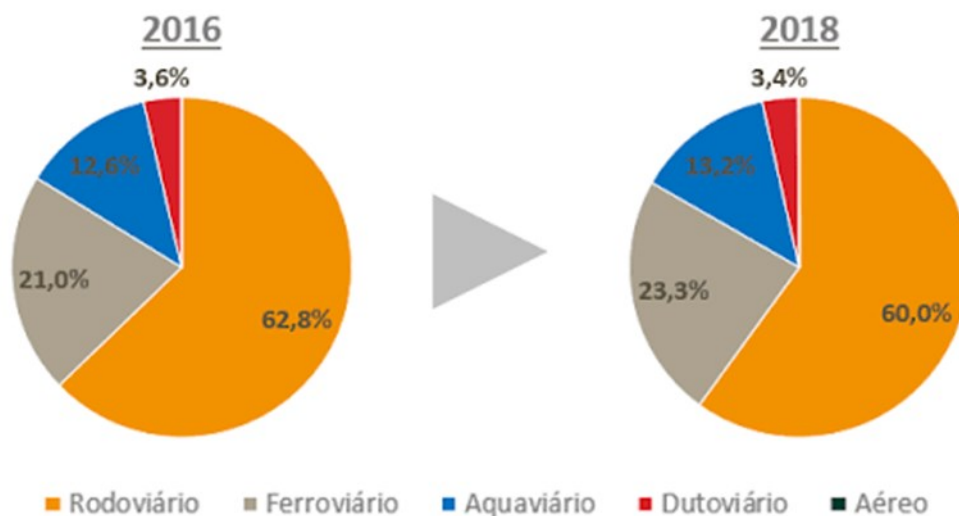
Fonte: Das autoras, 2021

2.1 Rodovias Brasileiras

O setor rodoviário brasileiro é o mais expressivo modal de transporte de cargas no país, alcançando praticamente todos os pontos do território nacional e possuindo um grande destaque na atividade econômica nacional (BRASIL, 2013).

A distribuição da matriz de transporte no Brasil está representada na Figura 2, onde se pode notar a importância do transporte rodoviário comandando com 60%.

Figura 2- Distribuição dos transportes no Brasil.

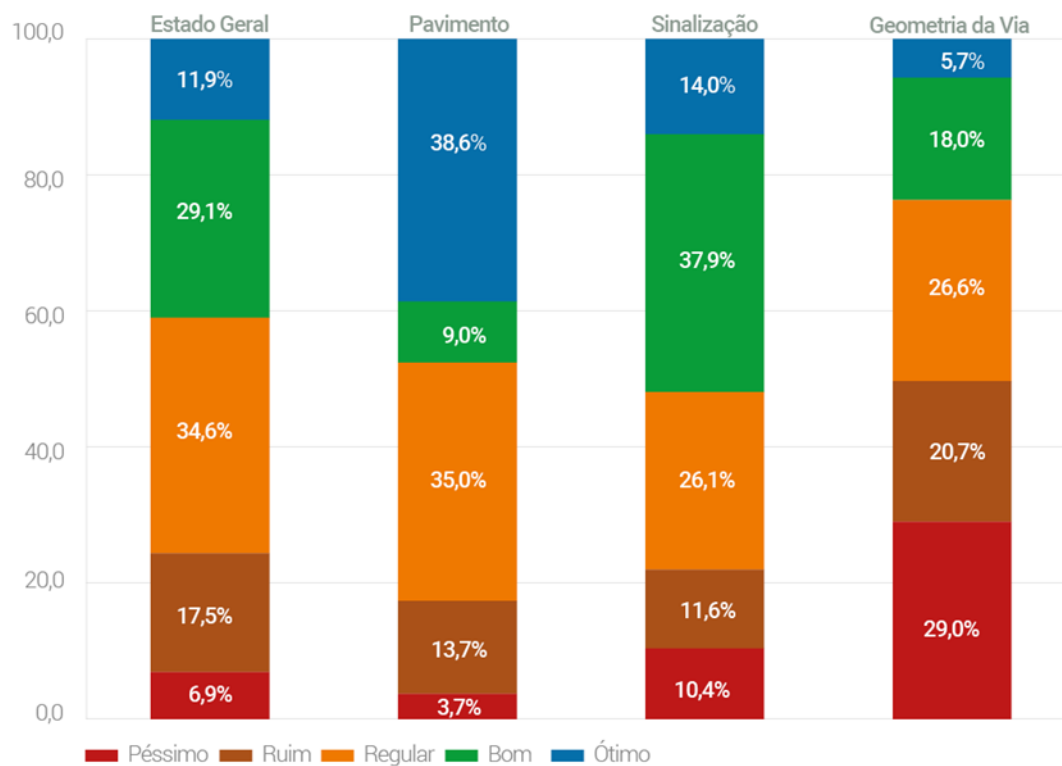


Fonte: ILOS, 2018

Segundo CNT (Confederação Nacional de Transporte), em 2019 a amplitude total da malha rodoviária federal e os principais trechos estaduais, também pavimentados no Brasil, são de 108.863 km. Onde 59,3%, apresenta algum tipo de problema, sendo considerada regular, ruim ou péssima, sendo 41% considerada ótima ou boa, representado na Figura 3.

Em relação à pavimentação, 52,4 % possui problemas em sua extensão. 47,6 % possui condição satisfatória.

Figura 3- Avaliação gráfica das condições das rodovias.



Fonte: CNT, 2019

2.1.1 Tipos de Pavimentos no Brasil

O Pavimento é definido como uma superestrutura distribuída em camadas de dimensões finitas, desenvolvida sobre uma infraestrutura, considerada como uma forma finita, intitulada como subleito. Essa estrutura recebe todas as solicitações de tráfego de veículos na superfície do pavimento sendo distribuído com Rígido e Flexível. O Brasil atualmente apresenta uma malha rodoviária pavimentada com mais de 99%, utilizando pavimento flexível (CNT, 2019).

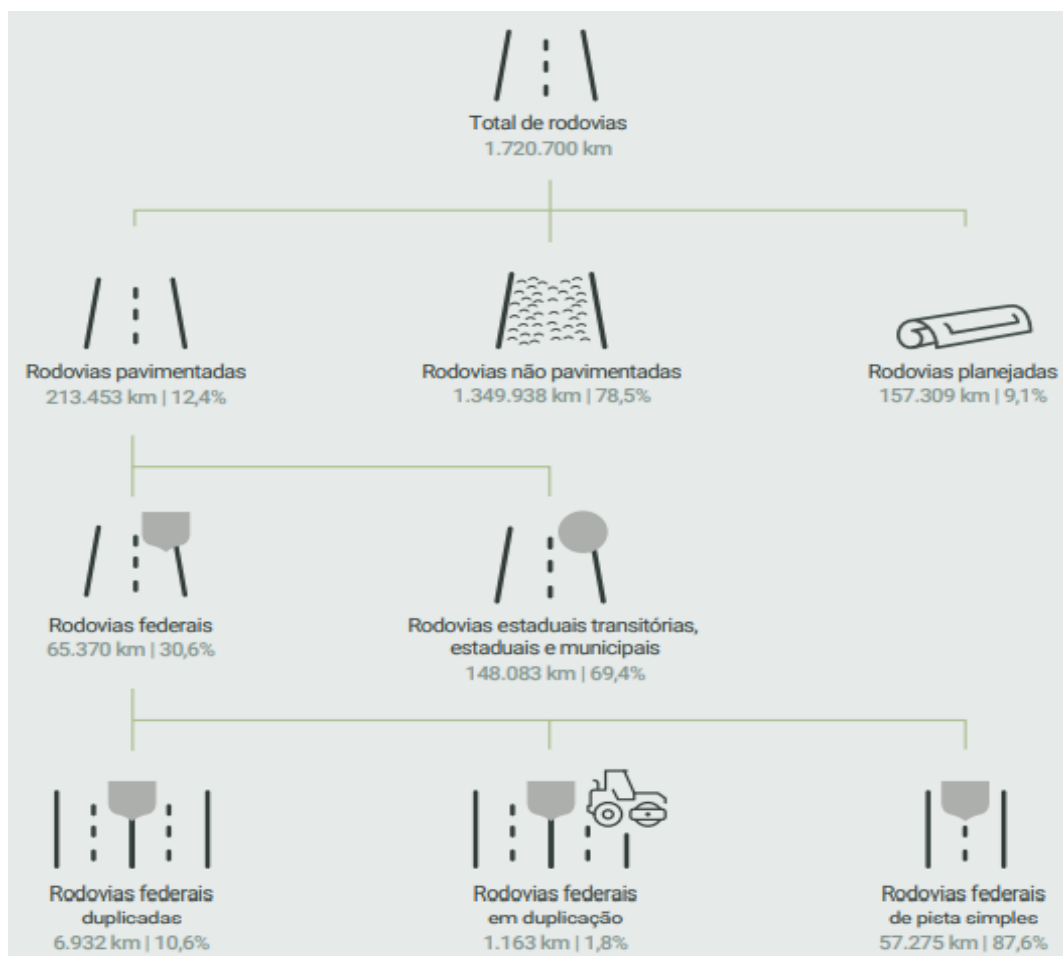
O modal de transporte rodoviário no Brasil tem a maior participação de transporte, sendo esse transporte através de ruas, estradas e rodovias, esse modal tem uma

concentração de 61% da movimentação de mercadorias e 95% de passageiros, ocorrendo a grande utilização da mesma mostrando a relevância dessa infraestrutura para o desenvolvimento econômico para toda população brasileira (CNT, 2019).

O Sistema Nacional de Viação (SNV), demonstra um levantamento da extensão da malha rodoviária brasileira, no qual conforme Figura 4 apresenta a situação das rodovias, podendo observar que apenas 12,4% da extensão total são de rodovias pavimentadas, constatando 213.453 km, e 78,5% de rodovias sem pavimentação com 1.349.938 km, totalizando 1.720.700km de rodovias no Brasil (CNT, 2019).

A Figura 4 também exemplifica a falta de disponibilidade de pavimentação nas rodovias. Comparado a outros países da América Latina, o Brasil fica para trás com a evolução das rodovias demonstrando uma grande porcentagem de rodovias sem pavimentação, mostrando estar mais avançado na tecnologia de pavimentação mesmo contendo a mesma extensão territorial (CNT, 2019).

Figura 4- Condições da malha rodoviária brasileira.



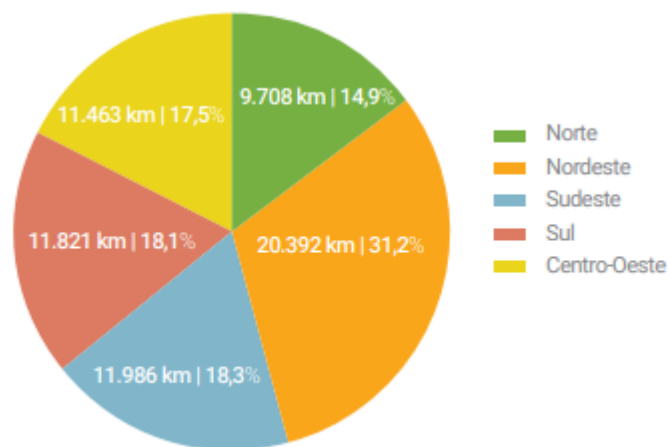
Fonte: SNV, 2018

Com esses dados, a evidência de rodovias não pavimentadas, chegando a ser 78,5% da totalidade das rodovias, indica uma grande utilização da mesma com uma grande extensão para realização de viagens, consequentemente a falta de rotas viáveis.

Segundo a SNV em 2018, as rodovias federais nacionais compreendiam uma extensão de 75,8 mil km de rodovias, sendo pavimentados 65,4 mil km e não pavimentadas 10,4 mil km, com um crescimento de sua extensão desde 2009 de 6,7% (CNT, 2019).

Conforme a Figura 5, verifica-se a distribuição da extensão das rodovias federais pavimentadas por região brasileira, onde o Nordeste apresenta uma concentração de 31,2%, com 20.392 km de rodovia pavimentada, e por último a região Norte com apenas 14,9%, sendo 9.708 km pavimentada (CNT, 2019).

Figura 5- Pavimentação de rodovias federais por região.



Fonte: CNT, 2019

De acordo com a concessionária que administra a rodovia Presidente Dutra, responsável por 3.955 km da malha rodoviária nacional, a rodovia onde faz ligação com as duas maiores regiões metropolitanas, sendo elas Rio de Janeiro e São Paulo, contém uma extensão de 402 km, cortando 34 cidades. Conhecida também por fazer ligação principal do Nordeste ao Sul do Brasil. A rodovia possui uma média de 863 mil viagens por dia, com essa quantidade diária de solicitações o pavimento é afetado diretamente por esforços horizontais e verticais, sendo elas veículos (leves ou pesados) ou pedestres, além de intemperes necessitando de restauração regular.

2.1.2 Pavimento Flexível

Segundo o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), o pavimento flexível é constituído por mais de uma camada com sua espessura limitada e determinada, sendo uma estrutura que trabalha a tração da carga por compressão. Devido ao carregamento sobreposto as suas camadas podem sofrer deformação elástica de forma expressiva, onde a carga imposta se distribuirá de maneira equivalente e com pressões concentradas. A Figura 6 ilustra a estrutura em camadas de um pavimento flexível.

O pavimento flexível (DNER, 1996), é constituído pelas camadas: Revestimento, Base, Sub-base, Reforço do subleito e Subleito.

Revestimento: Camada destinada a resistir diretamente às ações do tráfego, a impermeabilizar o pavimento, a melhorar as condições do rolamento, no que se refere ao conforto e à segurança, e a transmitir, de forma atenuada, as ações do tráfego às camadas inferiores.

Base: Camada destinada a resistir diretamente às ações dos veículos e a transmiti-las, de forma conveniente, ao subleito.

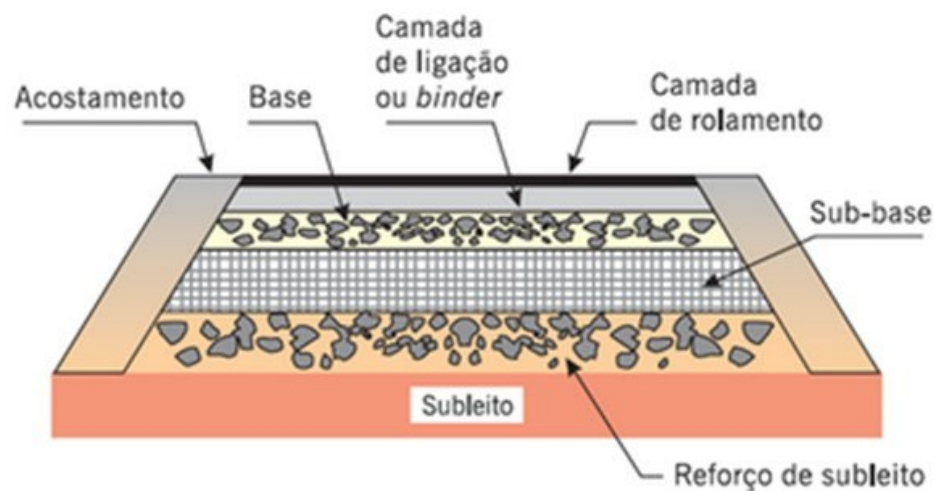
Sub-base: Camada complementar à base, com as mesmas funções desta e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura da base.

Reforço de subleito: Camada existente, no caso de pavimentos muito espessos, executada com objetivo de reduzir a espessura da própria sub-base.

Regularização do Subleito: Camada de espessura variável, executada quando se torna necessário preparar o leito da estrada para receber o pavimento; a regularização

não constitui, propriamente, uma camada de pavimento, pois tem espessura variável, podendo ser nula em um ou mais pontos da seção transversal.

Figura 6- Estrutura de pavimento flexível.



Fonte: SPTSONDAGENS, 2020

2.1.3 Pavimento Rígido

O Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes determina que pavimento rígido seja constituído por placas de cimento de concreto Portland, sendo essa camada revestida com alta rigidez, mais do que as camadas inferiores e dando mais resistência às mesmas, assim, absorvendo a maioria das tensões provenientes das cargas aplicadas distribuindo-as uniformemente (DNIT, 2016). A Figura 7 ilustra as camadas da estrutura de um pavimento rígido:

O pavimento rígido é composto pelas seguintes camadas (DNER, 1996):

Placa de concreto de cimento: camada que desempenha ao mesmo tempo o papel de revestimento e de base.

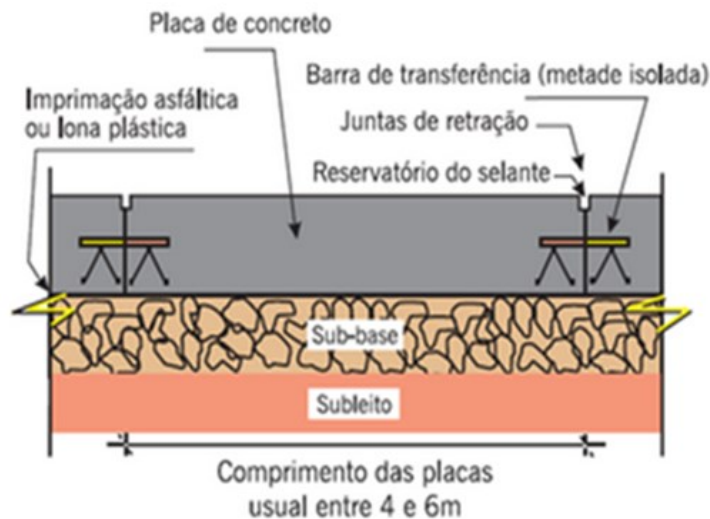
Sub-base: camada empregada, com o objetivo de melhorar a capacidade subleito e/ou evitar o fenômeno de bombeamento “*pumping*” dos solos subjacentes à placa de CCP.

As camadas Base e Sub-base Rígida têm como característica principal o concreto de cimento, contendo uma acentuada resistência a tração, fator importante para o seu dimensionamento. São utilizados dois tipos de concreto (DNER,1996):

Concreto Plástico: próprio para serem adensado por vibração manual ou mecânica.

Concreto Magro: semelhante ao usado em fundações, no que diz respeito ao pequeno consumo de cimento, mas com consistência apropriada a compactação com equipamentos rodoviários.

Figura 7- Estrutura de pavimento rígido.



Fonte: SPTSONDAGENS, 2020

2.2 Energia e o Vento – Formação da Energia Eólica

A energia gerada através do vento e conhecida como energia eólica, é denominada pelo movimento das parcelas de ar, em horizontal. A corrente de ar é responsável pelas modificações climáticas, transporte de umidade e pode ser usada para geração de energia.

O uso da energia dos ventos, para produção de energia elétrica é comprovadamente uma excelente alternativa por ser um recurso natural inesgotável, gratuito, apresentar baixo impacto socioambiental, além de ser atualmente a fonte energética com maior capacidade de crescimento mundialmente.

A formação dos ventos é influenciada por diversos mecanismos, e ocorrem em escala global, quanto local. Latitude, longitude, as estações do ano, ciclo dia-noite, mar-terra, montanha-vale. Todos esses fatores podem apresentar uma enorme variabilidade na dinâmica dos ventos. Durante meses ou anos é possível analisar regularidade nessas

variações. Dessa forma passa a ser mais fácil entender sua dinâmica, e melhores formas para aproveitamento energético (ATLAS EOLICO DO RIO DE JANEIRO, 2002).

2.2.1 Aproveitamento Energético e Potencial Brasileiro

A Dinamarca hoje apresenta em sua matriz energética maior contribuição proveniente da energia eólica (REV BRASILEIRA ENSINO DE FÍSICA, 2008). A energia eólica no Brasil começou a ser inserida em Fernando de Noronha e no Ceará (PE) no início dos anos 1990.

Atualmente, apesar de pouca participação no mercado eólico mundial, o Brasil tem apresentado um crescimento significativo da sua capacidade por conta de mecanismos de leilões de energia e programas de incentivo do governo, como por exemplo, o ProInfa (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas).

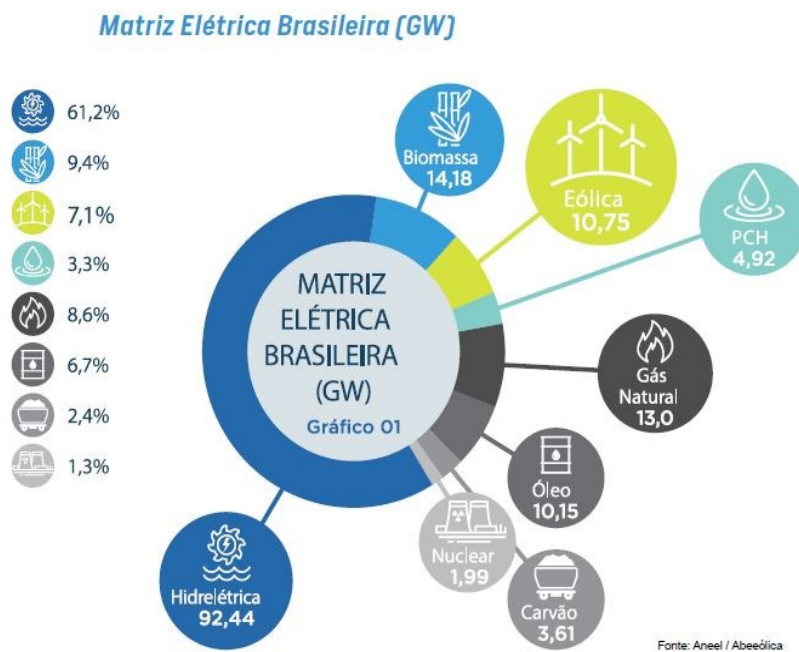
O potencial eólico brasileiro é bastante significativo, além do existir o espaço necessário para essa expansão. De acordo com um estudo realizado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – Cresesb/Cepel e divulgado no Atlas de Potencial Eólico Brasileiro (2001), a geração de energia eólica, produz 143 GW (Gigawatt). Considerando torres de 50 metros de altura acima do nível do mar desconsiderando relevos e depressões. Em um novo estudo, a Cresesb previu a geração de 250 GW de energia, com novas torres podendo atingir altura de 100 metros.

O vento brasileiro é considerado um dos melhores por ser unidirecional apresentar alta velocidade (entre 10m/s e 12 m/s) e por ser constante. Esses dados indicam grande aproveitamento para geração de energia, sendo superior a diversos países (ANEEL/ABEEÓLICA, 2017).

Segundo o Boletim Anual de Geração Eólica (2016), divulgado pela Abeeólica (Associação Brasileira de Energia Eólica), o crescimento de geração de energia por fonte

eólica foi considerável, ficando atrás somente das fontes hidrelétricas (REVISTA, O SETOR ELÉTRICO, 2017). Foram instalados 9,43 GW, e destes 21,35% provenientes do vento. Logo, a energia eólica, passa a corresponder a 7,1% da matriz elétrica do país, como podemos ver na Figura 8.

Figura 8- Gráfico da matriz elétrica brasileira.



Fonte: Aneel/Abeeólica, 2017

De acordo com o Conselho Global de Energia Eólica (Global Wind Energy Council - GWEC) o Brasil pode exceder em até 3 vezes a necessidade de energia elétrica do Brasil, tendo os melhores recursos para produção de energia proveniente do vento. (ANEEL/ABEEÓLICA, 2017).

2.2.2 A geração e Transmissão da Energia

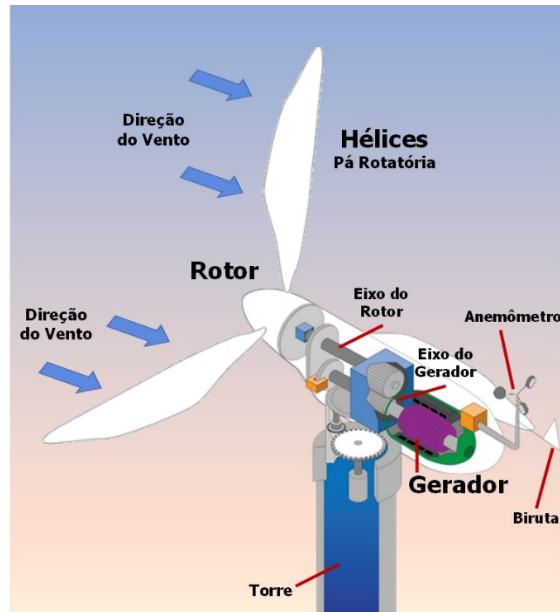
A energia contida no vento é na verdade uma forma secundária de energia solar. Já que a pressão atmosférica e suas variações estão diretamente relacionadas às trocas de calor na atmosfera (REV BRASILEIRA ENSINO DE FISICA. 2008).

Segundo a Atlas da Energia Eólica do Rio de Janeiro (2002), para que o vento seja transformado em energia, uma turbina capta uma parte de energia cinética do vento, através da área varrida do rotor e a transforma em energia elétrica (a turbina opera o gerador).

A Figura 9 demonstra um esquema das partes de um aerogerador e suas partes necessárias para transformar o vento em energia eólica. A transformação das massas de ar em movimentos, em energia elétrica começa a partir da movimentação das pás do aerogerador, para captação do vento. Esse equipamento é inserido estrategicamente em regiões com maior captação de ventos, ou seja, zonas de alta altitude. (CBIE, 2020).

O vento possibilita o movimento das pás das turbinas, de forma que interligada por um eixo central, se comunica ao rotor, fazendo-o girar no interior da Nacele. O rotor por sua vez, transforma essa rotação em energia cinética. A partir do eixo do rotor, essa energia chega enfim ao gerador, sendo finalmente transformado em energia elétrica (Portal Energia, 2018).

Figura 9- Esquema de partes de um aerogerador.



Fonte: CBIE, 2020

Outros elementos presentes em aerogeradores são os anemômetros, que tem por função medir a intensidade e velocidade do vento. E a biruta, que tem por função medir a sua direção.

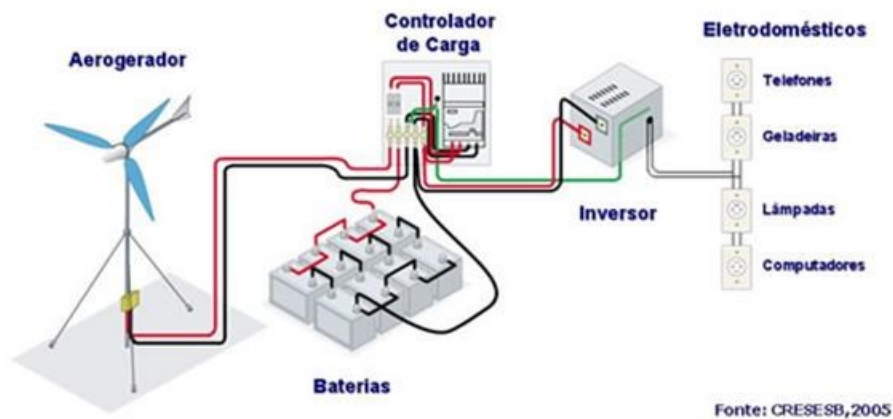
Após a conversão em energia elétrica, essa energia percorre pela torre do aerogerador, e passando por um transformador que altera a voltagem, para assim a energia seguir para uma Subestação Coletora, e percorrer até a uma rede de distribuição da eletricidade (CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA - CBIE, 2020)

Um sistema eólico pode ter três sistemas distintos:

Sistema Isolado, capaz de fornecer até 10 kW de energia, sendo considerado um sistema de pequeno porte, que armazena a energia para posterior utilização. Esse armazenamento pode ser feito por meio de baterias por exemplo (CRESESB /CEPEL,2008).

O uso desse sistema é comumente utilizado em residências e eletrodomésticos, como demonstrado na Figura 10.

Figura 10- Modelo de sistema isolado.



Fonte: CRESESB, 2005

Sistema Híbrido, capaz de fornecer de 10kW á 250kW.

Na Figura 11, está demonstrado um sistema híbrido, sendo considerado de médio á grande porte, esse sistema, funciona utilizando além da turbina eólica, algum outro sistema aliado, como por exemplo, uma célula fotovoltaica. Isso aumenta a eficiência do sistema como um todo, aumentando a sua capacidade de fornecimento.

Figura 11- Modelo sistema híbrido.



Fonte: CRESESB, 2008

Sistema Interligado a Rede, capaz de fornecer mais de 250kW. De maior complexidade, o sistema interligado a rede, atende uma área muito maior sendo considerado de grande porte. Esse modelo leva a energia gerada diretamente a sua rede elétrica. Dessa forma ele não precisa ser aliado a outro sistema e nem armazenar sua energia, pois essa energia é diretamente distribuída (CRESESB/CEPEL,2008).

2.2.3 Classificações do Vento

O vento é resultante da diferença de pressão atmosférica e da temperatura de determinado local. Sua direção e a intensidade são determinadas pelo balanço da energia da superfície terrestre, que causa variação na pressão atmosférica e de temperatura formando assim o vento.

Zonas de baixa altitude tendem a ter maior pressão atmosférica, enquanto zonas de alta altitude têm baixa pressão atmosférica. Como o movimento das parcelas de ar tem forte influência pela radiação que é afetada por inúmeros fatores como; montanhas,

tipo de solo, vegetação, presença de mar, entre outros, é necessário analisar e classificar esse movimento de acordo com o seu “tamanho”. (IAG/USP/,1998).

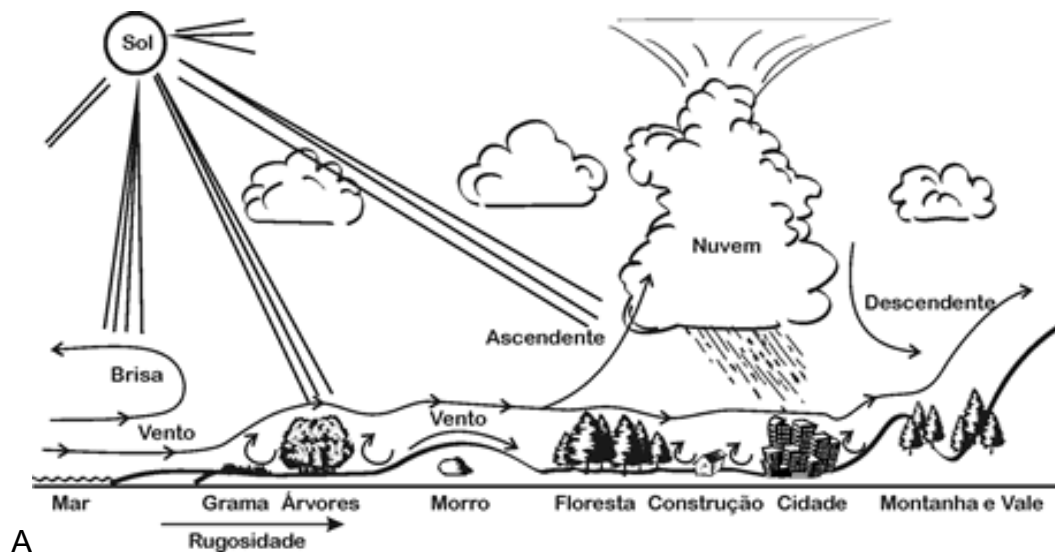
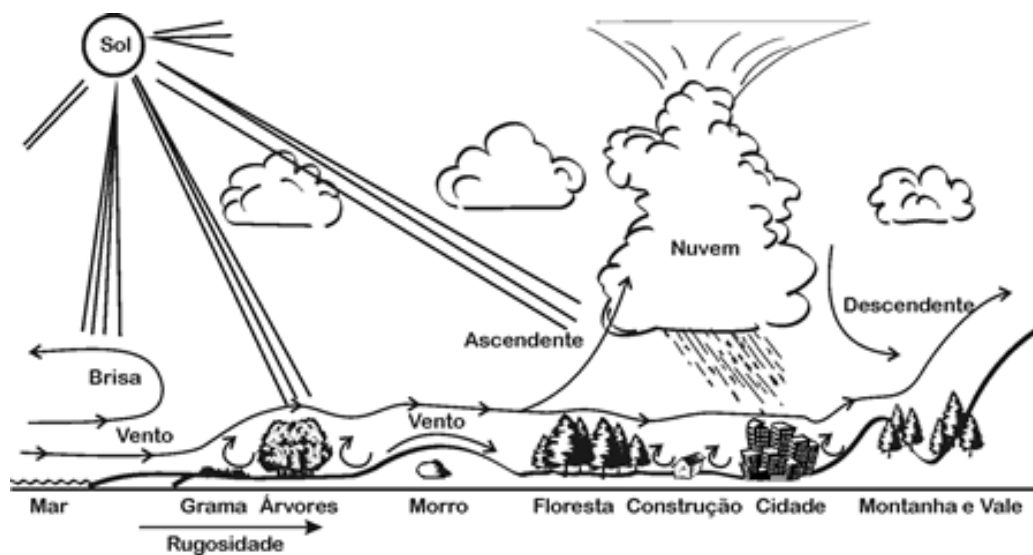


Figura 12 apresenta um esquema dessa dinâmica sob influência da diferença de solo.

Figura 12- Dinâmica do vento em diferentes superfícies de terreno.



Fonte: Atlas Eólica do Brasil, 1998

As características das regiões, e de superfícies terrestres, como por exemplo seu relevo influenciam diretamente na velocidade dos ventos. O que faz com que essas variações possam ser enormes, e interferem diretamente na sua classificação. Os estudos são feitos através de mapas topográficos, ou imagens de satélites, garantindo assim uma boa avaliação para a instalação de um aerogerador, no local de melhor aproveitamento (CRESESB/CEPEL,2008).

O vento pode ser classificado em diferentes escalas, de acordo com diferentes fatores (Energês,2020).As suas principais classificações, e que mais podem interferir no estudo do presente trabalho:

Ventos Verticais: São os ventos descendentes. Formado a partir do ar quente, que fica mais leve e sobe, e é substituída por uma camada de ar frio. A Figura 13 ilustra esse movimento de forma simples.

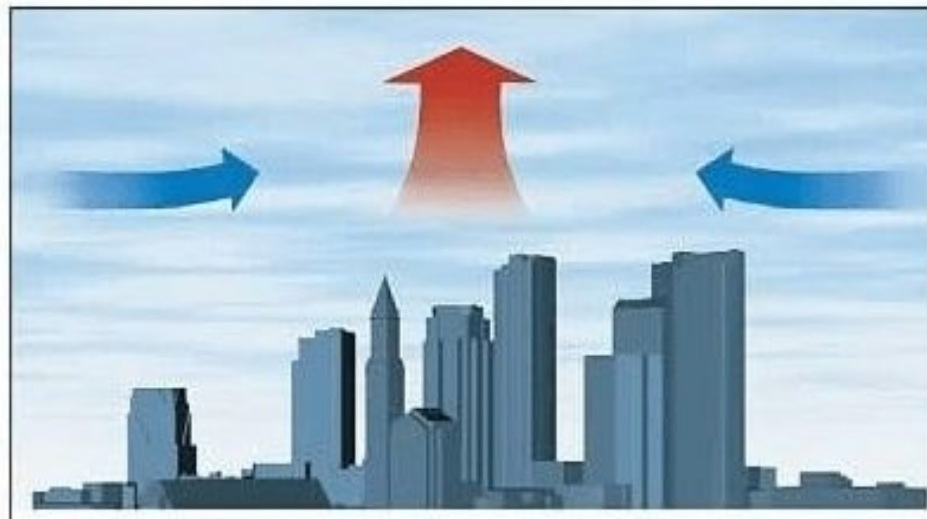
Figura 13- Esquema de ventos verticais.



Fonte: Energês, 2020

Ventos Horizontais: Quando a massa de ar quente sobe ela é substituída pela camada de ar que se encontra ao lado. Também conhecido como ventos ascendentes, ilustrado na Figura 14 a circulação dessa massa de ar.

Figura 14- Esquema de ventos horizontais.



Fonte: Energês, 2020

Ventos Constantes: São de circulação geral. São os ventos alísios e não alísios. Ventos que vem dos trópicos. Ventos de comprimento variável entre 1000 km á 4000 km. Podem ser vistos em ventos alísios e contra alísios.

Ventos alísios: São ventos constantes, vindo dos trópicos e zonas polares. Com eles vêm às chuvas, pois eles trazem umidade.

Ventos contra- alísios: São ventos contrários ao alísio, portanto trazem parcelas de ar seco. A Figura 15 ilustra essa diferença entre eles.

Figura 15- Ventos alísios e contra- alísios.



Fonte: Energês. 2020

Ventos Periódicos: São as brisas e monções. Que ocorrem repetidamente em determinadas estações, são ventos que vão do sentido do mar, em direção ao continente, ou do continente em direção ao mar.

Ventos Locais: ventos que sopram a massa de ar de um local para outro. Por exemplo: vento noroeste, vento sudeste.

Ventos Variáveis: ou irregulares. Tem grande influência do relevo do local, e da pressão atmosférica. São os conhecidos ciclones e tornados

2.2.4 Classificação por Escala

Existe uma escala atmosférica que classifica esses movimentos de acordo com a sua durabilidade e comprimento (Energês,2020).

Escala sinóptica ou macroescala: Nessa escala há movimentação de uma grande parcela de ar. Ventos de comprimentos 100 a 500 km e podem durar dias ou semanas. Como por exemplo, ciclones e furacões.

Microescala: Ventos menores que 1 km de comprimento, e que duram de segundos a minutos. São turbulências, ou rajadas de vento.

Mesoescala: Ventos que podem durar por minutos a dias, e variam de 1 á 100 km. Temos por exemplo, tornados, temporais ou brisas (IAG/USP,1998).

Outra escala muito conhecida e usada, é a escala de Beaufort (Figura 16). Essa escala foi criada pelo irlandês Francis Beaufort, em 1805, com o intuito de auxiliar a navegação, e o movimento das velas dos navios, que eram muito utilizados na época. Atualmente, essa escala é usada para medir a intensidade da força dos ventos.

Figura 16- Quadro escala de Beaufort.

Escala bft	Velocidade do Vento m/s	Velocidade do Vento Km/h	Classificação	Fenômenos Observáveis
0	<0,3	< 1,0	Calmo	Fumaça sobe na Vertical
1	0,3 a 1,5	1 a 5	Corrente Leve	Fumaça inclinada na direção do vento
2	1,6 a 3,3	6 a 11	Brisa Leve	Folhas das árvores movem
3	3,5 a 5,4	12 a 19	Brisa Suave	Vento move ramos finos e bandeiras se agitam
4	5,5 a 7,9	20 a 28	Brisa Moderada	Poeira e papéis são levantados, agitam os galhos das arvores
5	8 a 10,7	29 a 38	Brisa Fresca	Movimentação de Grandes Galhos e árvores pequenas, cristas de espuma se formam em lagos
6	10,8 a 13,8	39 a 49	Vento fresco	Difícil usar guarda-chuva, assobio do vento nos fios dos postes e árvores
7	13,9 a 17,1	50 a 61	Vento Forte	Dificuldade em andar no vento
8	17,2 a 20,7	62 a 74	Ventania	Dificuldade elevada de andar no vento, galhos de arvores são quebrados, barcos permanecem nos portos
9	20,8 a 24,4	75 a 88	Ventania forte	Impossível andar contra o vento, pequenos danos nas casas
10	24,5 a 28,4	89 a 102	Tempestade	Arvores são arrancadas e danos consideráveis nas casas
11	28,5 a 32,6	103 a 117	Tempestade Violenta	Danos generalizados em construções
12	>32,7	>118	Furacão	Destruição e devastação significativa

Fonte: Eng. Barbora, Juarez, 2018

2.2.5 Medidas do Vento

O vento pode ser medido através da sua velocidade e direção. As finalidades para essa medição são variadas, como por exemplo, para realizar previsões meteorológicas, e agrícolas, estudos para implantação de equipamentos (Meteo Blue, 2021). Dentro do caso da instalação de um aerogerador, tais dados são necessários para conhecer e

investigar o vento do local, e garantir a melhor opção economicamente e energeticamente.

A velocidade do vento é medida de diversas formas;

- Km/h (quilômetros por hora);
- M/s (metros por segundo), que é a medida oficial em SI (Sistema Internacional de Medidas) para demonstrar velocidade;
- Mph (milhas por hora) muito usada no Reino Unido e EUA (Meteo Blue, 2021).

Já a direção, é observada a partir de onde o vento começa a soprar, e medido através de graus. A direção do vento parte do ponto cardinal Norte, Sul, Leste, Oeste, ou dos pontos Colaterais, Noroeste, Sudeste, Nordeste e Sudoeste. E essa direção é marcada por graus (UFPR, 2021). O vento é medido através do uso de instrumentos próprios, são os anemômetros universais ou anemômetros de canecas.

2.3 Turbinas Eólicas - Breve Histórico

Antes das modernas turbinas eólicas (aerogeradores), a energia dos ventos era bastante presente no cotidiano das pessoas, esse tipo de energia começou a ser utilizada no bombeamento d'água, moer grãos e mais tarde na drenagem de campos de arroz, através dos moinhos de vento (FADIGAS, 2011).

O equipamento eólico mais antigo historicamente conhecido foi criado na Pérsia, chamado Panemone, seu design se dá através de quatro ou oito velas de tecido ao redor

de um eixo vertical, sendo giradas com a força dos ventos (PURIFICAÇÃO; DELLA FONTE, 2012).

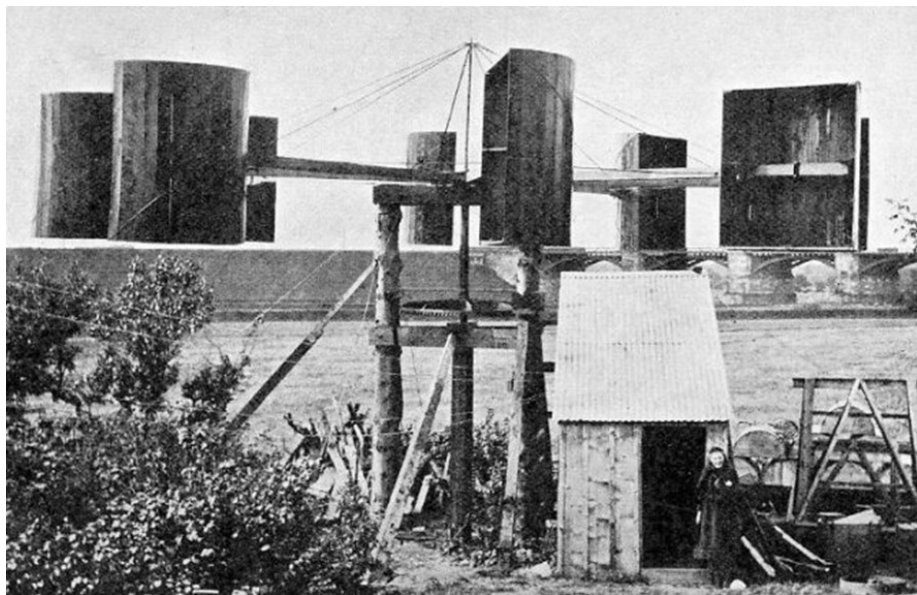
A Turbina ou moinho de vento Panemone, tem uma menor eficiência que os modelos existentes. Ela atua através da força de arrasto, consistindo no deslocamento de forma circular do vento através das pás, girando o seu eixo. Parte das pás se move a favor do vento e a outra parte contra (CASER; PAIVA, 2016).

Especula-se que a origem dos moinhos de vento se deu por volta de 3000 anos atrás no Egito próximo de Alexandria, existem autores que alegam ter sido descoberto restos de um nessa localidade, porém não comprovado (PINTO, 2013).

A partir do século XIX que a energia eólica começou a ser utilizada para gerar eletricidade, através dos aerogeradores. Nessa época as grandes cidades já eram abastecidas com energia elétrica por usinas hidrelétricas e termelétricas, não sendo viável se estender a rede até as áreas rurais, tornando o moinho de vento o principal meio de gerar energia nessas localidades, para o bombeamento de água (FADIGAS, 2011).

Segundo Pinto (2013), o primeiro moinho de vento construído para gerar eletricidade foi criado em Julho de 1887 na cidade de Glasgow, Escócia, pelo professor e engenheiro eletricitista James Blyth (1839-1906), sendo patenteada em 1891. Blyth instalou a máquina em sua casa de campo, como mostra a Figura 17, se tornando a primeira casa do mundo a ter energia elétrica através dos ventos, a máquina media 10 m de altura e eixo vertical.

Figura 17- O primeiro gerador eólico de James Blyth.



Fonte: HENRY, 2018

Segundo Fadigas (2011), Poul La Cour (1846-1908) professor dinamarquês de um centro educacional para adultos em Askov foi o responsável pelo passo inicial para o desenvolvimento dos antigos moinhos de vento, para as modernas turbinas eólicas.

No ano de 1891 Poul La Cour com auxílio de fundos do governo dinamarquês, que estava a procura de meios para fornecer eletricidade às áreas rurais do país desenvolveu um protótipo de turbina eólica que era conectado a um gerador de corrente contínua, cuja eletricidade produzida era utilizada no processo de eletrólise e no armazenamento do gás hidrogênio gerado, o mesmo utilizado em lâmpadas. Áreas rurais na Dinamarca entre

os anos de 1885 a 1902 recebiam o fornecimento de energia elétrica gerada pelas turbinas eólicas projetadas por Poul La Cour (PINTO, 2013). Ver Figura 18.

Figura 18- Turbinas criadas por Poul La Cour.



Primeira turbina eólica elétrica da Dinamarca de 1891



Grande turbina eólica de Poul la Cour de 1897

Fonte: POUL LA COUR MUSEET, 2021

No ano de 1992 instalou-se a primeira turbina eólica no Brasil, em Fernando de Noronha, possuindo um gerador com potência de 75 kW, torre de 23 m de altura e rotor horizontal de 17 m de diâmetro (FADIGAS, 2011).

2.3.1 Turbinas Eólicas

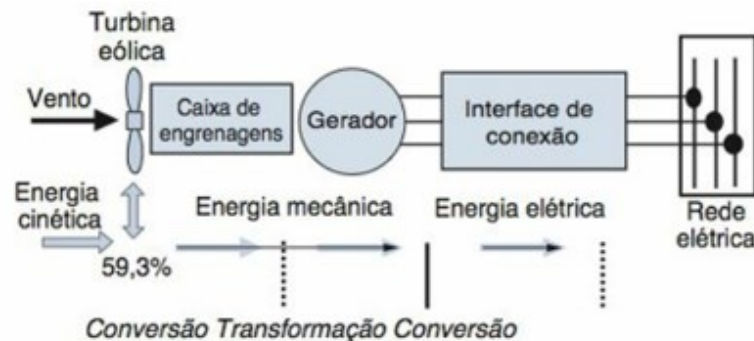
Turbinas eólicas são máquinas projetadas em sua grande maioria para geração de eletricidade em grande porte, tanto sendo conectada à rede elétrica, quanto em casos isolados em áreas rurais, transformando a energia dos ventos em energia mecânica e elétrica (FADIGAS 2011).

De acordo com Pinto (2013), Turbinas eólicas absorvem parte da energia cinética produzida pelo vento, transformando-a em energia mecânica, sendo convertida em energia elétrica por meio de um gerador. O processo de conversão da energia eólica em energia elétrica segue o seguinte princípio (Figura 19):

1º - A turbina eólica é responsável pela remoção de uma porção de energia cinética para que ocorra a conversão em energia mecânica.

2º - Chegando ao gerador a energia mecânica gerada é convertida em energia elétrica, sendo então direcionada para a rede da concessionária.

Figura 19- Princípio da conversão da energia eólica em energia elétrica.



Fonte: PINTO, 2013

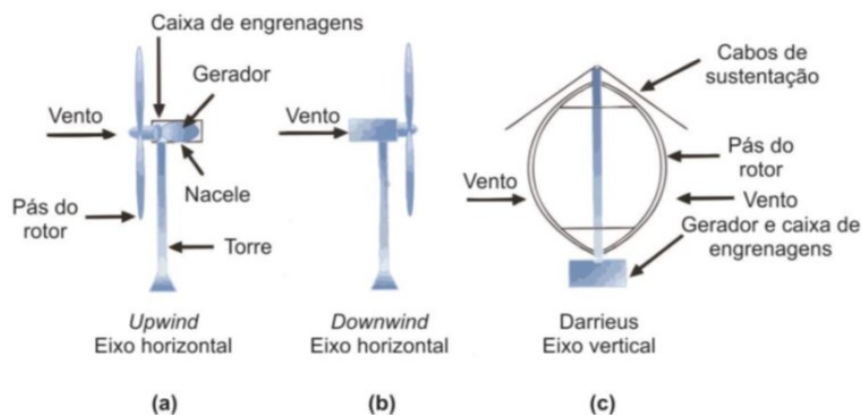
Os aerogeradores são divididos em duas classificações em relação à orientação do eixo do rotor com o solo: turbinas de eixo horizontal e turbinas de eixo vertical; sendo o rotor o componente responsável pela captação da energia cinética dos ventos e convertê-la em energia mecânica no eixo (REIS, 2011).

As pás são ligadas ao rotor, fazendo com que ocorra o torque aerodinâmico; a nacelle é uma cabine que contém os componentes para a conversão do torque em energia

elétrica; o suporte ou torre suporta a nacele e as pás do rotor; e a fundação é o que dá a sustentação a toda construção (PINTO, 2013).

Segundo Figueiredo (2019), a caixa de engrenagens é o componente responsável pelo aumento da velocidade do gerador, visto que somente o movimento das pás é insuficiente para acioná-lo; que por sua vez sendo esse o conversor da energia mecânica em energia elétrica. Podendo ser dispensável em aerogeradores onde o rotor é conectado diretamente a ele, nesse caso o gerador necessita de um número elevado de polos. Esses componentes são mostrados na Figura 20.

Figura 20- Turbinas com eixo horizontal (a) e (b) e vertical (c).



Fonte: PINTO, 2013

Outro componente é o sistema de freio, que tem como função controlar a velocidade com que as pás se movimentam, assim como exemplo evitando em dias de tempestade que as pás girem acima da velocidade adequada. O sensor de direção é responsável por girar as pás na direção principal do vento, otimizando a produção energética (FIGUEIREDO, 2019).

As turbinas eólicas vão desde pequeno porte com potências de dezenas ou centenas de kW, mais indicadas para áreas rurais, como apresentada na Tabela 1; até

turbinas de grande porte com potências de alguns MW, sendo conectadas á rede elétrica (REIS, 2011).

Tabela 1- Relação de tamanho, potência, diâmetro e área

TAMANHO	POTÊNCIA (KW)	DIÂMETRO (m)	ÁREA DO ROTOR (m²)
Pequeno	Até 80	Até 16	Até 200
Médio	De 81 a 500	16 a 45	200 a 1600
Grande	>500	>45	>1600

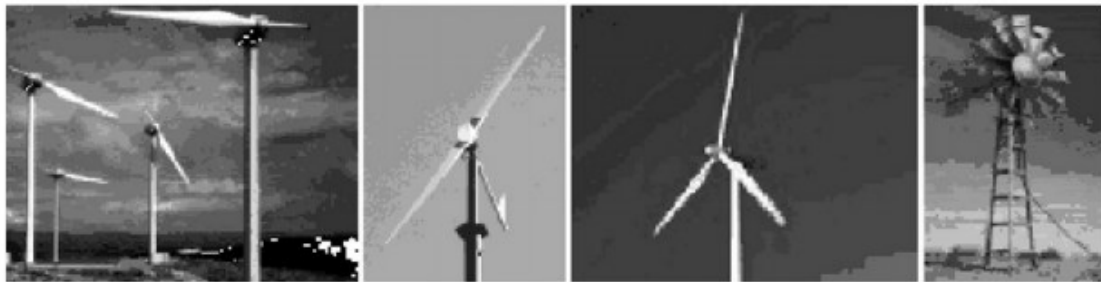
FONTE: Das autoras, adaptado de REIS, 2011.

2.3.2 Turbina Eólica de Eixo Horizontal

As TEEH (Turbina Eólica de Eixo Horizontal) são encontradas em formatos distintos, como mostrado na Figura 21; mais comumente utilizados os com duas e três pás, porém possuem turbinas com um número maior de pás, utilizadas geralmente no bombeamento de água no meio rural conhecidas como cata-vento (FADIGAS, 2011).

As turbinas múltiplas pás são normalmente instaladas em fazendas, sendo mais usadas para o bombeamento de água. As com três pás são mais utilizadas para a geração de energia elétrica; assim como as turbinas de uma e duas pás, tendo elevada eficiência, porém possuem baixo torque na partida operando somente com velocidades elevadas de ventos (REIS, 2011).

Figura 21- Tipos de turbinas eólicas de eixo horizontal.



Fonte: REIS, 2011

Os rotores de eixo horizontais são predominantemente movidos por força de sustentação, atuando perpendicularmente ao escoamento (REIS, 2011).

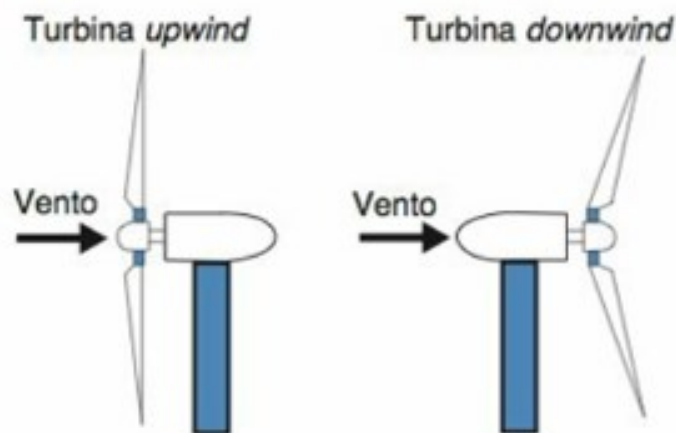
Esse modelo de turbina é mais utilizado que as de eixo vertical, por gerar mais rendimento aerodinâmico, sendo menos vulnerável á esforços mecânicos, compensando o seu custo mais elevado (MÜLLER, 2015).

Elas podem ser divididas em duas categorias, baseando-se na posição do rotor em relação à torre (PURIFICAÇÃO; DELLA FONTE, 2012): *upwind* e *downwind*.

A Figura 22 exemplifica os modelos citados. Frontal (*upwind*): mais utilizada atualmente; o vento incide pela parte frontal, o rotor é orientado contra a direção do vento. Retaguarda (*downwind*): o vento incide pela retaguarda das pás, passando primeiramente pela torre antes de chegar às pás do rotor. São construídas com material

mais leve, o tornando mais flexível e barato, porém ocorre mais turbulência causada pelo vento incidindo na torre, tendo mais carga de fadiga sendo comparada com o modelo *downwind* (PURIFICAÇÃO; DELLA FONTE, 2012).

Figura 22- Turbinas *upwind* e *downwind*.



Fonte: PINTO, 2013

2.3.3 Turbina Eólica de Eixo Vertical

TEEV (Turbina Eólica de Eixo Vertical) têm essa designação por terem o eixo do rotor disposto na posição vertical; possuindo os mesmos componentes que uma de eixo horizontal, no entanto componentes internos mais complexos, diferindo-se de fabricante (CASER; PAIVA, 2016).

As turbinas de eixo vertical podem ser movidas por força de sustentação e de arrasto (REIS, 2011).

A principal diferença entre as duas turbinas é que na vertical não necessita de um mecanismo para direcionar o rotor com a mudança no sentido e variação do vento, assim tendo mais eficiência em ventos turbulentos, a segunda vantagem é que o maquinário pesado contido na nacela está próximo ao solo, assim facilitando na manutenção (PINTO, 2013).

Como apresentado na Figura 23, com o movimento dos veículos na rodovia são deslocadas as camadas de ar multidirecionais (várias direções), tornando o modelo proposto mais adequado por não possuir um mecanismo de acompanhamento para as variações da direção do vento, não correndo o risco da paragem ou destruição da turbina eólica (CARDOSO, 2018).

Figura 23- Energia renovável.

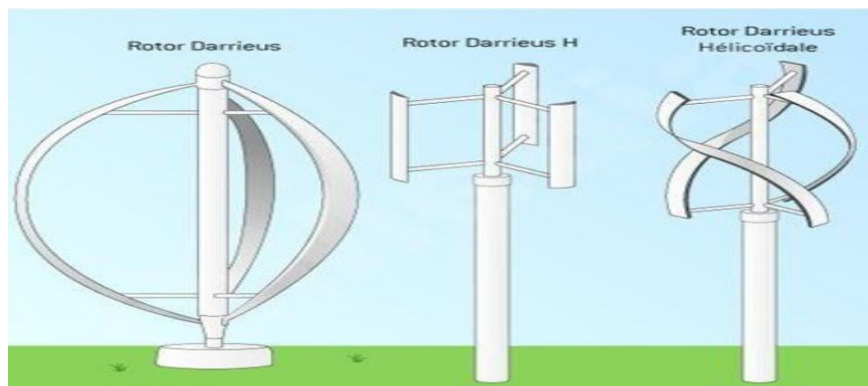


Fonte: ALPHA 311, 2021

2.3.3.1 Turbina Darrieus

Segundo Fadigas (2011) a Turbina Darrieus foi criada em 1925, pelo francês Georges Jean Marie Darrieus Engenheiro Aeronáutico, a turbina é movimentada pela força de sustentação aerodinâmica, sendo a que mais se assemelha á potência das turbinas horizontais de três pás, havendo variações, como mostrado na Figura 24.

Figura 24- Turbina Darrieus e suas variantes.



Fonte: CASER; PAIVA, 2016

O modelo é constituído de um rotor vertical, tendo sua caixa de engrenagens normalmente instalada sobre o solo, ele necessita de uma fonte de energia externa para dar velocidade de partida (PINTO, 2013).

Sendo instalados milhares em fazendas eólicas na Califórnia, Estados Unidos, Canadá, e sendo aprimoramentos na Alemanha França e Espanha (FADIGAS, 2011).

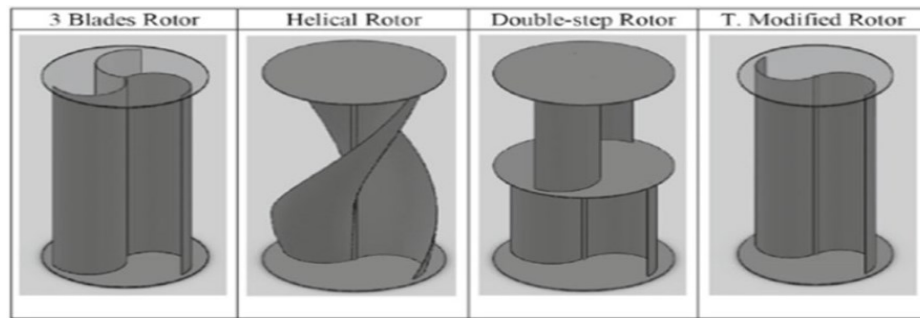
2.3.3.2 Turbina Savonius

A turbina Savonius foi criada em 1929 pelo arquiteto finlandês Sigurd Johannes Savonius (CASER; PAIVA, 2016).

Na Figura 25, são apresentados diferentes formatos existentes para a turbina: Três pás, pás helicoidais, rotor de dois estágios e tipo S.

Sendo considerada com baixa velocidade de rotação, não tendo alto potencial para geração de energia elétrica, porém com seu alto torque podendo funcionar com baixa velocidade de vento; usualmente utilizada em tarefas mecânicas, como por exemplo, bombeamento de água e ventilação, tendo outras aplicações como: carregador de baterias em faróis, em torres de telecomunicações e como medidor de correntes oceânicas. Na turbina Savonius é predominante a força de arrasto, ou seja, as turbinas rotacionam automaticamente pela ação do ar aplicada sobre as pás, sendo mais recomendada a sua utilização em regiões isoladas sem energia elétrica (PINTO, 2013).

Figura 25- Exemplos de aerogeradores Savonius.



Fonte: DÍAZ; PAJARO; SALAS, 2014

2.3.3.3 Turbina Darrieus-Savonius

A turbina Darrieus-Savonius é híbrida onde os rotores Savonius e Darrieus são acoplados entre si. Utilizando as vantagens de cada modelo, a turbina Savonius serve para dar arranque à turbina Darrieus, já esta para gerar mais potência, (FIGUEIREDO, 2019).

Essa combinação apresenta alto torque na partida e eficiência em altas velocidades de vento, podendo ser projetada com materiais recicláveis. Esse design é interessante para localidades com baixa velocidade de vento: como áreas continentais, urbanas ou locais remotos (CASER; PAIVA, 2016).

Na Figura 26 são apresentadas turbinas savonius-darrieus instaladas na cidade chinesa Jinguashi em Taiwan.

Figura 26- Turbina Savonius- Darrieus instalada na cidade Jinguashi, Taiwan- China.



Fonte: HSU, Wikimedia commons, 2009

2.4 Equipamentos de Medição

Segundo Inmetro (2021), os equipamentos de medição são dispositivos utilizados para realizar uma medição. No âmbito da Metrologia Legal, os equipamentos de medição são utilizados no comércio, nas áreas de saúde, segurança e meio ambiente e na definição ou aplicação de penalidades.

No presente trabalho, serão utilizados a pistola de velocidade e os anemômetros.

2.4.1 Pistola de Velocidade

Também conhecido como radar móvel, é um dispositivo no formato de uma pistola que tem como finalidade aferir a velocidade do veículo. É muito utilizado pela fiscalização das rodovias (Polícia Rodoviária Federal) para evitar excesso de velocidade dos veículos, evitando acidentes ao longo da via.

Segundo o Detran (Departamento de trânsito do Estado do Rio de Janeiro), 2019, a pistola funciona através de ondas de rádio, seu alcance pode chegar até 1 km e consegue capturar até 30 carros por minuto.

Seu mecanismo é através do Efeito Doppler, que segundo o físico e matemático austríaco Christian Andreas Doppler (1803-53), é um fenômeno físico que ocorre quando existe aproximação ou afastamento entre fonte de ondas e um observador.

Ou seja, é emitido e recebido por sinais sonoros ou de luzes que refletem nos veículos e voltam com outra frequência, conseguindo assim, aferir a velocidade. Na Figura 27, um exemplo de pistola de velocidade:

Figura 27- Pistola de velocidade.



Fonte: Paulo Filgueiras, 2013

2.4.2 Anemômetros

O anemômetro consiste em um equipamento capaz de medir a velocidade do vento. A maioria deles são formados por ventoinhas passíveis a girar quando expostas ao vento (MATTOS; MÁSCULO, 2011).

Para a medição da direção e velocidade do vento, são utilizados os anemômetros. Geralmente são aplicados em aeroportos, túneis de ventos, turbinas eólicas, estações meteorológicas, em navegações.

Segundo a marca e site de venda OMEGA, 2020, “Um anemômetro consegue medir a magnitude total da velocidade, a magnitude da velocidade em um plano ou o componente da velocidade em uma determinada direção”.

Segundo o site Instrutemp (2020), o primeiro anemômetro surgiu pela primeira vez, por volta do século quinze e foi desenvolvido ao longo de mais quatro séculos subsequentes. Em 1450, o italiano Leon Batista Alberti foi o pioneiro da ideia. Iniciou um disco que rodava em um pêndulo. Alguns anos após, Leonardo da Vinci aprimorou o design, incluindo uma escala que seria usada para medir com mais precisão. Em 1846, o irlandês John Thomas, recriou o anemômetro, utilizando quatro copos hemisféricos em vez de discos, que são conhecidos como anemômetro de copo e são os utilizados até hoje.

É um equipamento de fácil manuseio e prático. É necessário ligar o anemômetro no lugar em que pretende verificar a velocidade do vento e programar para a unidade, que podem ser: metros por segundos, quilômetro por hora, pés por minuto, milhas por hora e temperaturas Celsius ou Fahrenheit.

2.4.2.1 Tipos de Anemômetros

Os anemômetros mais modernos e utilizados são:

Anemômetros rotacionais: Segundo Pinto, 2006 são considerados os mais simples e populares. São formados por hélices ou canecas semi cônicas que giram conforme a velocidade passa por elas. Apresenta-se na Figura 28, a seguir o anemômetro rotacional.

Figura 28- Anemômetro rotacional.



Fonte: Catálogo OMEGA, 2015

Anemômetro ultra sônico: Segundo Pinto, 2006, o anemômetro ultra sônico (Figura 29) é capaz de aferir a velocidade, direção e temperatura do vento. É constituído por pares de transdutores ultra sônicos que reage a diferença de potencial quando expostos a pressão mecânica dos ventos. Possui vantagens como: exatidão, resposta rápida, linealidade.

Figura 29- Anemômetro ultrassônico.



Fonte: Catálogo InstruTemp, 2020

Anemômetro de deflexão (Figura 30): Segundo HORBACK, RIBEIRO, VALLADARES E DOS SANTOS (2009), o primeiro anemômetro destinado a medir velocidade do vento, criando por Leonardo da Vinci. Ele é formado por uma chapa metálica, onde somente um lado é preso, montada sobre escala logarítmica. Ele é simples e pode ser montado facilmente. Por sua simplicidade, acaba não sendo um aparelho muito preciso. Sua parte mecânica é composta por três corpos rotativos presos em hastes unidas a um corpo comum que gira em seu próprio eixo.

Figura 30- Modelo de anemômetro.



Fonte: SAMPAIO, UILLMANN e CAMARGO, 2005

Anemômetro de tubo de pressão (Figura 31): Segundo Pinto, 2006, são também conhecidos como Tudo de Pilot, é capaz de medir a velocidade do vento, convertendo energia cinética em energia potencial. É formado por duas entradas que são ligadas em um espaço preenchido por um fluido que varia seu nível em função da pressão dinâmica.

Figura 31- Anemômetro de tubo de pressão.



Fonte: Catálogo InstruTemp, 2015

2.5 Equipamentos de Proteção

Segundo a Norma Regulamentadora NR-6 (2015), que trata sobre o Equipamento de proteção individual- EPI, “todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho”.

São equipamentos de proteção coletiva (EPC) os equipamentos presentes no ambiente de trabalho, com intuito de proteger os trabalhadores dos acidentes relativos ao processo, como por exemplo, sinalização de segurança, proteção de equipamentos, entre outros. Os EPI's e EPC's são necessários para todas as atividades que possam acarretar em risco físico, sendo previsto de acordo com a atividade a ser desenvolvida (PANTALEÃO, 2019).

Para a atividade em uma rodovia a segurança é um ponto importante, faz-se necessário o uso de alguns equipamentos para a proteção dos envolvidos no projeto, como indicado na Figura 32 alguns exemplos (CAVALCANTI, 2015).

Figura 32- Equipamento de proteção individual e coletivo.



Fonte: CAVALCANTI, 2015

Proteção da cabeça: o capacete de proteção tem a finalidade de proteger a cabeça contra impactos, sendo eles no crânio e face (BARSANO; BARBOSA; SOARES, 2014).

Proteção dos membros inferiores: calça comprida em tecido grosso com faixas reflexivas capaz de alertar os motoristas sobre a presença de trabalhadores na via, a vestimenta também protege os membros inferiores do trabalhador de umidade, agentes térmicos, abrasivos e escoriantes (BARSANO; BARBOSA; SOARES, 2014).

Proteção dos membros inferiores: bota de segurança é feita para proteger os pés contra danos externos, sendo eles, impacto de objetos, umidade, danos térmicos, agentes cortantes e escoriantes, chão escorregadio, entre outros (BARSANO, BARBOSA; SOARES; 2014).

Sinalização: colete reflexivo, indicado para evitar que ocorram acidentes causados por má visibilidade em locais com pouca luminosidade, fazendo com que o usuário se destaque no ambiente, obrigatório em áreas de movimentação de veículos (NR 18, 2020).

Sinalização: cone de sinalização de segurança com cores chamativas, utilizado para demarcação de lugares facilitando a visualização mesmo em ambientes com pouca luminosidade (NR 18, 2020).

Sinalização: placa de sinalização com a função de sinalizar e alertar sobre as atividades e perigos existentes no local, a placa deve ter boa visibilidade e de fácil compreensão (NR 18, 2020).

2.6 Coleta de Dados

No Brasil a frota de veículos atingiu o quantitativo de aproximadamente 103, 3 milhões de veículos registrados, englobando leves e pesados, sendo a região sudeste com maior percentual (CNT, 2018).

Segundo Al-Aqel et al (2016), em seu artigo falam que é necessário de registrar durante as medições os veículos em movimento, para que após o estudo seja possível correlacionar a velocidade do vento com os tipos de veículos. Evidenciando que existe relação entre pressão do vento, velocidade com que o veículo se move e seu tamanho.

Sabendo- se a variedade de veículos e fabricantes existentes, de modo simplificado é apresentado no Quadro 1 a divisão das categorias de veículos, para melhor classificar e facilitando a coleta de dados (CAVALCANTI, 2015).

CATEGORIA	VEÍCULOS	DESCRIÇÃO
A	Motos, quadriciclos, etc.	Veículos leves, máximo 2 ocupantes.
B	Carros	Veículos de passeio, máximo 5 ocupantes.
C	Vans e microônibus	Veículos médios, 6 ou mais ocupantes
D	Caminhões baú, caçambas, etc.	Veículos grandes

E	Ônibus	Veículos grandes, mais de 20 ocupantes.
F	Caminhões	Veículos grandes, mais de 3 eixos.

Quadro 1: Categoria de veículos.

FONTE: Das autoras, adaptado de CAVALCANTI, 2015

Com a finalidade de extrair o máximo potencial de energia eólica produzida pelo movimento dos veículos, as turbinas devem ser instaladas em pontos específicos da rodovia, local esse com uma boa distância lateral da rodovia, um nível ideal do solo e com a direção adequada do vento, para captar a turbulência do vento. Um estudo preliminar é necessário, explorando diferentes alturas, distâncias e ângulos, com o auxílio de um anemômetro e pistola de medição (AL-AQEL et al, 2016).

A coleta de dados precisa seguir uma planilha padrão como exemplo a disposta na Figura 33, a coleta de dados deve ser realizada em pontos fixos na rodovia em análise, e em diferentes locais e horários, pois podem ocorrer possíveis variações e interferências (clima, altitude, nível de tráfego, entre outros), que possam interferir nos resultados obtidos pelo pesquisador (CAVALCANTI, 2015).

A Figura 33 apresenta uma planilha que consiste em colunas verticais, onde serão registrados os dados coletados em campo. O cabeçalho deve conter a identificação do pesquisador, com data, hora, local e condições climáticas, que a medição foi realizada. As colunas verticais estão separadas por categorias já apresentadas no Quadro 1, sendo divididas por velocidade do veículo (V_v), e velocidade do ar (V_a) (CAVALCANTI, 2015).

Figura 33- Quadro para coleta de dados referentes a velocidade do deslocamento de ar proporcionado pelo movimento de veículos em uma rodovia.

CABEÇALHO DE INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA											
Pesquisador(es):				Data:				Hora:			
Local:				Condições climáticas:							
Equipamentos utilizados para medição:											
CATEGORIA DOS VEÍCULOS											
A		B		C		D		E		F	
Vv	Va	Vv	Va	Vv	Va	Vv	Va	Vv	Va	Vv	Va

Vv- campo referente ao preenchimento da velocidade do veículo.

Va-campo referente ao preenchimento da velocidade do ar.

Fonte: Das autoras, adaptado de CAVALCANTI, 2015

Para iniciar as medições, serão necessários dois pesquisadores em lados opostos da rodovia, cada um em posse de seu equipamento de medição adequado, mantendo constante comunicação e realizando a coleta de modo conjunto. Um dos pesquisadores ficará com a pistola de medição registrando a velocidade dos veículos (Vv), enquanto o outro pesquisador fica responsável pelo registro de dados sobre a velocidade do ar gerado pelo anemômetro (Va) (CAVALCANTI, 2015).

Em posse dos dados obtidos durante a coleta, é possível calcular a potência da massa de ar. Segundo Reis (2011), a potência de uma massa de ar com uma determinada velocidade, que atravessa uma área, pode ser calculada através da Equação 1:

Equação 1- Potência de uma massa de ar

$$P_d = \frac{1}{2} \times d \times A \times V^3 \quad (1)$$

Onde:

P_d - Potência total da massa de ar

d - Densidade do ar no local

V^3 - Velocidade do ar

A - Superfície traçada pelas pás do rotor de raio $D/2$

Pequenas variações de velocidade de vento causam grande variação de potência, pois a potência do vento é proporcional ao cubo de sua velocidade.

Segundo Reis (2011), a potência do vento pode modificar dependendo do nível do terreno; essa variação é apresentada na Equação 2:

Equação 2- Variação de potência em relação ao nível de terreno

$$V = V_0 \left(\frac{H}{H_0} \right)^n \quad (2)$$

Onde:

V – velocidade do vento na altura desejada

V_0 – velocidade do vento disponível na altura conhecida

H_0 – altura desejada

n - fator de rugosidade do terreno, presente na

Tabela 2.

Tabela 2- Fator de rugosidade do terreno

(Continua)

DESCRIÇÃO DO TERRENO	FATOR DE RUGOSIDADE (n)
Vegetação	0,10
Gramado	0,12

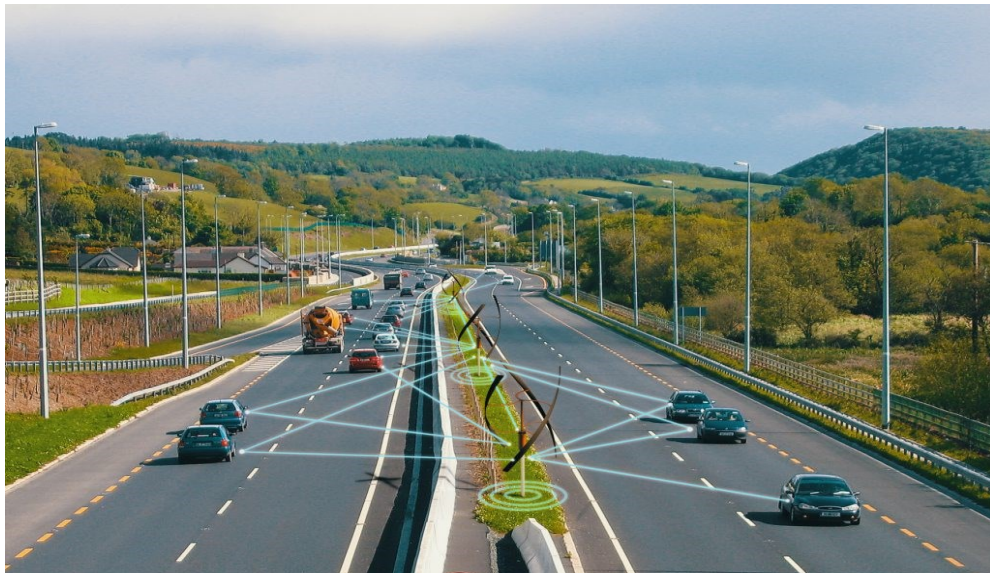
Cultivado	0,19
Poucas árvores	0,23
Muitas árvores, cerca viva ou edificações	0,26
Florestas	0,28
(Conclusão)	
DESCRIÇÃO DO TERRENO	FATOR DE RUGOSIDADE (n)
Zona urbana sem edifícios altos 0,32	0,10

FONTE: Das autoras, adaptado de REIS, 2011

O sistema eólico é determinado pela aplicação e potência necessária, que indicam o rotor e o gerador ideal, e seu rendimento é fornecido pelo fabricante (REIS, 2011).

Al-Aqel et al (2016), diz que o ideal seria que a turbina eólica seja instalada no divisor de uma rodovia, seja ele feito de metal ou blocos de concreto, pois assim receberia o vento dos dois lados, se tornando mais eficiente, e a velocidade seria superior, sendo comparada com apenas um lado da rodovia. Como exemplo mostrado na Figura 34.

Figura 34- Representação de uma turbina eólica Enlil.



Fonte: DEVECI TECH, 2021

2.7 Estudo da Arte

Durante as pesquisas três ideias foram encontradas, que serviram como inspiração para desenvolver o presente estudo. A primeira é a turbina eólica Enlil desenvolvida pela Devecitech na Turquia, a segunda é a Capture Mobility na Escócia, criada por Sanwal Muneer e a terceira ALPHA 311 desenvolvida pela empresa Alpha 311 e pelo empresário Barry Thompson no Reino Unido. As três em desenvolvimento.

2.7.1 Enlil Turbina Eólica

O Enlil é uma turbina de eixo vertical, desenvolvida pela Devecitech, que está sendo testada em Istambul na Turquia. O equipamento tem uma placa fotovoltaica acoplada em seu topo para captar energia solar, garantindo o funcionamento do aerogerador. Seu desempenho é de 1 kW/h de energia, segundo a empresa sendo capaz de gerar energia suficiente para duas residências (GRANBIO, 2019).

As turbinas podem ser instaladas em áreas costeiras, áreas públicas e em corredores de ônibus, como mostrado na Figura 35. O vento produzido pela passagem dos veículos, movimentam as pás, produzindo energia eólica (GRANBIO, 2019).

Figura 35- Corredor de ônibus garantindo a constância de vento para o aerogerador.



Fonte: DEVECI TECH, 2017

2.7.2 Capture Mobility

A Capture Mobility é uma turbina eólica de eixo vertical que captura a turbulência do vento originado pelo movimento dos veículos, criada pelo empresário paquistanês Sanwal Muneer formado em Engenharia Elétrica, que recebeu investimento da Shell e foi premiado pelas Nações Unidas, e a Turbina Capture Mobility ganhou da ONU no ano 2014 o prêmio de Energia Limpa (SHELL GLOBAL, 2021).

A turbina tem dois metros e meio de altura, feita com fibra de carbono reciclável. Sua bateria carrega até 1 kW de eletricidade e é capaz de manter ligadas duas lâmpadas e um ventilador por aproximadamente 40 horas. A Capture Mobility está instalada em Dundee na Escócia, em fase de teste, como mostrado Figura 36 (SHELL GLOBAL, 2021).

Figura 36- Turbina de eixo vertical, Capture Mobility.



Fonte: WALKER, 2016

2.7.3 Alpha 311

Desenvolvida pela empresa Alpha 311 juntamente com o empresário Barry Thompson, a turbina eólica foi criada para ser capaz de ser acoplada em colunas de iluminação perto de estradas sendo alimentada por energia eólica proveniente do movimento de veículos (MALEWAR, 2020).

A Alpha 311 tem dois metros de altura, para ser construída custa cerca de US \$ 26.000. A empresa tem interesse em testar a tecnologia nas estradas do Reino Unido, porém ainda em fase de negociação, ela está presente nos Estados Unidos em pequenas cidades (MALEWAR, 2020).

Segundo Alpha 311 (2021) com as características da turbina (tamanho, peso e design) possibilita a instalação em quase qualquer lugar. Sendo mais eficiente quando colocadas próximas a uma estrada ou ferrovia, garantindo seu funcionamento mesmo

quando não estiver ventando, gerando energia equivalente a 20 placas de painéis solares de um metro quadrado capaz de produzir 6 kWh por dia (Figura 37).

Figura 37- Turbina de eixo vertical Alpha 311, protótipo Mk.x.



Fonte: THOMPSON, 2020

2.8 Destinação da Energia coletada

Segundo o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, 2012, no Brasil, há inúmeras instituições que coletam dados de vento. Entre elas, estão o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Ministério da Marinha (BNDO/CHM), Ministério da Aeronáutica, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e as Secretarias de Energia dos Estados.

No presente trabalho, baseia-se na conversão de energia cinética dos ventos em geração de energia elétrica, tendo sua destinação em Rodovias.

2.8.1 Iluminação em Rodovias

A iluminação pública tem como finalidade fornecer claridade artificial, ou seja, luz. Para isso, é preciso proporcionar vantagens para os cidadãos e também para a economia, que seria: melhoria das condições de vida, eficiência energética, segurança, redução de acidentes, facilidade do fluxo dos transportes e entre outros.

Com o crescente aumento do tráfego de veículos nas rodovias, as iluminações, placas informativas, faixas refletoras e outros instrumentos de sinalização constitui um fator muito importante quando se trata de segurança nas vias, garantindo um melhor funcionamento, linha de visão mais clara para os motoristas, tranquilidade e segurança.

2.8.2 Iluminação Pública – NBR5101/2018

O papel principal da iluminação viária é possibilitar maior visibilidade para garantir uma maior segurança no tráfego dos veículos, de uma maneira precisa e rápida, reduzindo o número de acidentes no período noturno. Para isso, segundo a NBR5101/2018, que tem como objetivo estabelecer os requisitos básicos de iluminação das vias públicas, é necessário seguir alguns critérios mínimos, que são: Classificação das vias (que podem ser apontadas como vias de trânsito rápido, vias arteriais, vias coletoras e vias locais), fator de uniformidade, graus de iluminação, tipos de luminárias, lâmpadas e postes e suas distribuições, o tipo de instalação (residencial/predial, comercial ou industrial), tensões nos circuitos e estudo luminotécnico.

2.8.3 Iluminância da Pista

Referente a NBR5101/2018, iluminância é a densidade da qualidade de luz que incide sobre uma superfície à uma certa distância e direção.

Iluminância da pista é representada pela letra “E” e é medida através da iluminância média, representada por “Emed”. Sua unidade de medida é o lux, que indica o fluxo luminoso recebido por uma superfície, ou seja, trata-se do nível de iluminação que a luminária produz no ambiente.

Fator de uniformidade de iluminância, representado pela letra “U”, é uma relação entre a iluminância mínima e a média de uma área.

De acordo com alguns dados do site Trânsito Ideal, os parâmetros e valores adotados para os cálculos de iluminamento da pista são:

2.8.3.1 Vias Arteriais

São vias próprias para tráfego de veículos. Possuem um grande volume, pouco acesso de tráfego, muitas pistas, cruzamentos em dois planos, elevada velocidade. Possui velocidade máxima de 60km/h.

Para os pavimentos escuros, como o de asfalto a iluminância média precisa ser de 30 lux e $U = 0,3$ (fator de uniformidade de iluminância).

Para os pavimentos claros, como o de concreto, a iluminância média precisa ser de 20 lux e $U = 0,3$ (fator de uniformidade de iluminância).

2.8.3.2 Vias Coletoras

As vias coletoras são responsáveis por coletar e distribuir o trânsito que tem acesso de entrada e saída das vias arteriais. Sua velocidade máxima é de 40km/h.

Para os pavimentos escuros, como o de asfalto, a iluminância média precisa ser de 20 lux e $U= 0,3$ (fator de uniformidade de iluminância).

Para os pavimentos claros, como o de concreto, a iluminância média precisa ser de 15 lux e $U=0,3$ (fator de uniformidade de iluminância).

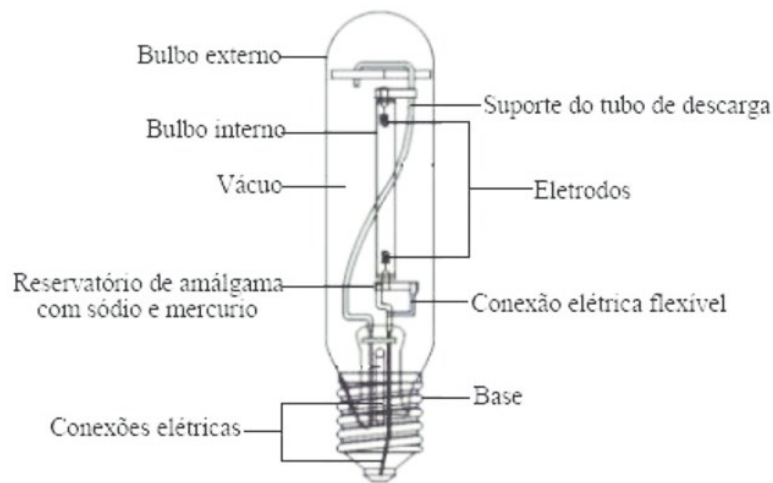
2.8.4 Luminária para Rodovia

A Luminária é um aparelho de iluminação que protege a lâmpada e serve para otimizar a distribuição do fluxo de luz, proporcionar suporte e trocar calor com o meio.

Para a iluminação da pista, de acordo com a NBR5101/2018, é necessário adotar luminárias fechadas próprias para a iluminação viária, instalada em poste, com compartimentos para equipamentos auxiliares, lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão com bulbo tubular de 250 W ou 400 W.

As lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão emitem energia sobre uma grande parte do espectro visível. Emitem um número bem alto de sódio para proporcionar saturação de vapor enquanto a lâmpada funciona. Além do sódio, também são feitas com xénon e mercúrio. Na Figura 38 a seguir, o modelo citado.

Figura 38- Lâmpada a vapor de sódio de alta pressão.



Fonte: OSRAM, 2010

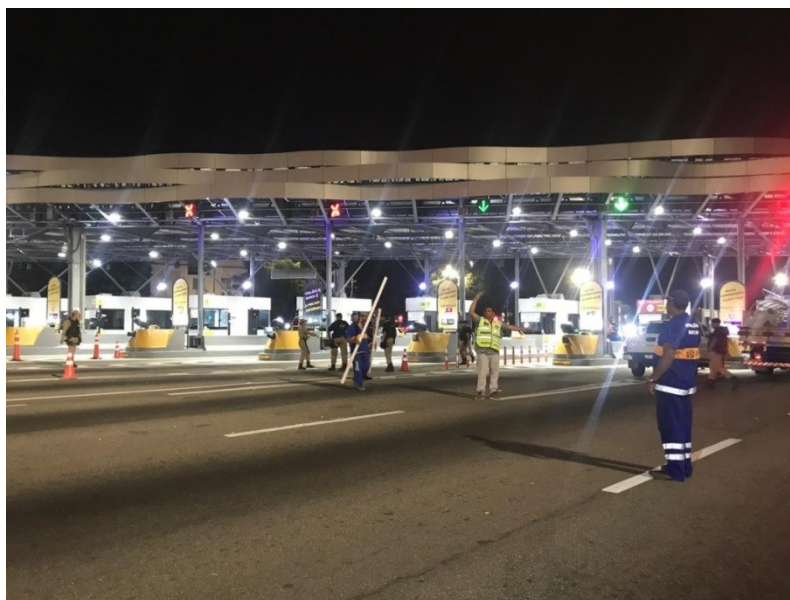
2.8.5 Poste de Iluminação

Conforme a “NBR 14744/2001 - Poste de aço para iluminação”, o poste de iluminação, também conhecido como poste de luz, luz de rua ou lâmpada de rua e precisa seguir os critérios mínimos para um bom funcionamento: ser um poste de aço cônico contínuo ou telefônico, reto, curvo simples ou duplo, com base flangeada ou engastada, fornecido com quatro chumbadores quando flangeada, fabricado de aço SAE 1010/1020, circular e com solda longitudinal; suportar ventos de até 45m/s, ter suporte adaptador tubular de aço galvanizado para instalação de luminárias com encaixe de diâmetro de 60 mm, com base compatível com o topo do poste e fixada por parafusos passantes; tratado por galvanização a fogo em toda a sua extensão, interna e externamente, com 550 gramas por metro quadrado e compartimento de fusíveis que pode instalar até 3 fusíveis do tipo DIAZED, como um terminal de aterramento.

2.8.6 Iluminação de Pedágios

O pedágio é um direito de passagem pago mediante a uma tarifa, com a finalidade de arrecadar recursos visando a conservação da rodovia (Figura 39). Os critérios mínimos, segundo a NBR 5101/2018, definidos para uma iluminação de pedágio ideal são graus de luminosidade; fator de uniformidade; tipos, distribuições e depreciação das luminárias, postes e lâmpadas; tensão nos circuitos; estudo luminotécnico e grau de ofuscamento. Na figura abaixo, o pedágio localizado na Linha Amarela na cidade do Rio de Janeiro.

Figura 39- Pedágio Rio de Janeiro.



Fonte: Estradas, 2019

2.9 Vantagens e Desvantagens da Energia Eólica

Com o crescimento da utilização e necessidade do consumo da energia não só no Brasil, mas também no mundo, demonstra cada vez mais a importância de seu investimento, a demanda do desenvolvimento de novas fontes limpas, à preservação da

natureza, a precaução da futura escassez dos combustíveis fósseis e os não renováveis, as novas tecnologias e segurança do mesmo que estão em crescimento contínuo para essa energia auto sustentável (OLIVEIRA,2006; RAMOS,2006; DOS SANTOS,2006; SANTOS,2006).

É sempre importante uma análise preliminar das vantagens e dos desafios da instalação de um equipamento eólico, da adoção de uma fonte limpa com a captação de um recurso inesgotável e sua transformação para a utilização da mesma (GALETI, 2012).

A partir do conhecimento adquirido dos benefícios propostos pela implementação de uma turbina eólica, seja de eixo vertical ou horizontal, as vantagens se sobressaem de forma positiva das desvantagens, sendo elas a baixa emissão de gases poluentes e tóxicos para o meio ambiente, demonstrado no **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (GALETI, 2012).

(continua)

Vantagens e Desvantagens	
Turbina de Eixo Vertical	Turbina de Eixo Horizontal
Recurso inesgotável	Recurso inesgotável
Não emite gases poluentes e tóxicos	Não emite gases poluentes e tóxicos

(Continuação)

Vantagens e Desvantagens	
Turbina de Eixo Vertical	Turbina de Eixo Horizontal
Não utiliza combustíveis fósseis	Não utiliza combustíveis fósseis
Rápida instalação da turbina	Rápida instalação da turbina
Diminuição de gases poluentes	Diminuição de gases poluentes
Geração de emprego	Geração de emprego
Fácil manutenção	Fácil manutenção
Redução da energia elétrica no país	Redução da energia elétrica no país

(Continuação)

Vantagens e Desvantagens	
Turbina de Eixo Vertical	Turbina de Eixo Horizontal
Diminuição da dependência de combustíveis fósseis	Diminuição da dependência de combustíveis fósseis
Bom custo benefício	Mudança de paisagem
Baixo desempenho comparado a TEH	Incômodo sonoro (ruído)
Não precisa de aceleração inicial	Perigo para as aves migratórias
Silencioso	Impacto visual
	Privação de habitat natural

(Conclusão)

Vantagens e Desvantagens	
Turbina de Eixo Vertical	Turbina de Eixo Horizontal
	Deslocamento de animais locais

Quadro 2: Quadro comparativo das vantagens e desvantagens da instalação de um equipamento eólico

FONTE: Das autoras, 2021.

3 CONCLUSÃO

Neste trabalho, o principal objetivo foi desenvolver um roteiro descritivo para expor o comportamento dos ventos gerados pelo movimento de veículos em uma rodovia para geração de energia eólica.

Foi possível concluir que é possível sim reaproveitar a energia cinética contida nas massas de ar em movimento proveniente do fluxo de veículos em rodovias para a geração de energia elétrica.

Com isso, fez-se um estudo sobre as variáveis a serem levadas em consideração para o planejamento de uma instalação de um equipamento eólico nas rodovias. Apesar de suas desvantagens, a Turbina ideal para a realização desse estudo, é a de eixo vertical. Pois possui melhor desempenho, uma baixa emissão de ruídos em comparação com a de eixo horizontal e por possui um visual mais agradável.

4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visto que o presente tema é extenso, vários pontos de discussão foram levantados e abrangem a possibilidade de um estudo mais aprofundado, sugere-se as seguintes propostas de continuidade:

- Criação de um protótipo.
- Realização de cálculos, utilizando os equipamentos de medição citados, que seriam (pistola de velocidade e os anemômetros).
- Desenvolver uma pesquisa de campo, aplicando todo o conceito teórico disposto neste material.
- Fundamentar teoricamente qual fundação utiliza-se para a instalação do equipamento eólico.
- Avaliar o uso residencial do equipamento eólico.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AA Al-Aqel, BK Lim, EE Mohd Noor, TC Yap and SA Alkaff, "*Potentiality of small wind turbines along highway in Malaysia*. **2016 International Conference on Robotics, Automation and Sciences (ICORAS)**, 2016, pp. 1-6 , doi: 10.1109 / ICORAS.2016.7872634.

ALPHA 311 (Inglaterra). **Energia renovável local para o mundo**. 2021. Disponível em: <https://alpha-311.com/>. Acesso em: 20 abr. 2021.

ALPHA 311. **O que é Alpha 311**. 2021. Disponível em: <https://alpha-311.com/#how-does-it-work>. Acesso em: 20 maio 2021.

ANEEL/ABEEÓLICA, 2017 - **Infovento**. Disponível em: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2017/10/04_Infovento.pdf. Acesso em: 05 nov. 2020

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14744. **Poste de aço para iluminação**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5101. **Iluminação pública**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5181. **Iluminação de túneis**. Rio de Janeiro, 1976.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7288. **Cabos de potência com isolamento sólida extrudada de cloreto de polivinila (PVC) ou polietileno (PE) para tensões de 1KV a 6 KV**. Rio de Janeiro, 1994.

ATLAS EOLICO BRASILEIRO, 2001. Disponível em:
http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/atlas_eolico_brasil/atlas.htm. Acesso em:
11 out. 2020

ATLAS EOLICO DO RIO DE JANEIRO, 2002. Disponível em:
http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/AtlasEolicoRJ.pdf.
Acesso em: 11 out. 2020

BARSANO, Paulo Roberto; BARBOSA, Rildo Pereira; SOARES, Suerlane Pereira da Silva. **Equipamentos de segurança**. São Paulo: Érica, 2014. (Eixos). Disponível em:
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518008/cfi/0!4/4@0.00:62.9>.
Acesso em: 18 maio 2021.

BORGES NETO, Manuel Rangel; CARVALHO, Paulo Cesar Marques de. **Geração de energia elétrica: fundamentos**. São Paulo: Érica, 2012. 155 p.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação: população do brasil**. População do Brasil. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>.
Acesso em: 21 maio 2021.

CARDOSO, Ivanilda Tavares. **Aproveitamento energético do fluxo de ar resultante da passagem dos automóveis nas (auto-) estradas**. 2018. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2018. Disponível em:
https://run.unl.pt/bitstream/10362/75612/1/Cardoso_2018.pdf. Acesso em: 15 dez. 2020.

CASER, Eduardo Spalenza; PAIVA, Giuseppe da Mota. **PROJETO AERODINÂMICO DE UMA TURBINA EÓLICA DE EIXO VERTICAL (TEEV) PARA AMBIENTES URBANOS**. 2016. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016. Disponível em: https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2._pg_final_-_eduardo_caser_giuseppe_paiva.pdf. Acesso em: 20 abr. 2021.

CAVALCANTI, Alberes Vasconcelos. **Diretrizes para o design de artefatos geradores de energia utilizando a captação dos ventos resultantes do deslocamento dos automóveis em vias expressas**. 2015. 130 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Design, Centro de Artes e Comunicação Departamento de Design, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/17119/1/ALBERES%20V%20CAVALCANTI%20-%20MESTRADO%20EM%20DESIGN%20-%202015.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2020.

CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA - CBIE (Brasil). **O que foram o apagão e o racionamento de energia?** 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/o-que-foram-o-apagao-e-o-acionamento-de-energia/>. Acesso em: 10 ago. 2020.

CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA - CBIE (Brasil). **Quem controla a geração e transmissão de eletricidade?** 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/quem-controla-a-geracao-e-transmissao-de-eletricidade/>. Acesso em: 10 ago. 2020.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO. **Faq Eólica**. 2012. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid\[\]=1&catid\[\]=5](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid[]=1&catid[]=5). Acesso em: 18 maio 2021.

CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA – CBIE (Brasil). **COMO FUNCIONA A GERAÇÃO EÓLICA?** 2020 .Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/como-funciona-a-geracao-eolica/>. Acesso em: 11 out. 2020.

CNT:SEST,SENAT. **CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE:** Pesquisa CNT de Rodovias 2019. Brasília, 2019. 236 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT (Brasil). **Piora a qualidade das rodovias brasileiras.** 2019. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/piora-a-qualidade-das-rodovias-brasileiras> Acesso : 11 set. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT (Brasil). **Somente 12,4% da malha rodoviária brasileira é pavimentada.** 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/somente-12-da-malha-rodoviaria-brasileira-pavimentada>. Acesso em: 12 ago. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT (Brasil). **10 fatos revelados pela pesquisa CNT de rodovias 2019 no brasil.** 2019. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/piora-a-qualidade-das-rodovias-brasileiras>. Acesso em: 17 set. 2020.

COTRIM, Ademaro A. M. B.. **Instalações Elétricas:** revisão e adaptação técnica em conformidade com a NBR 5410 de Geraldo Kindermann. 4. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2006. 678 p.

CRESESB /CEPEL,2008. **O Recurso Eólico.** Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=211 . Acesso em: 05 novembro. 2020. Acesso em: 15 de dez. 2020.

CRESESB /CEPEL,2008. **Aplicações dos Sistemas Eólicos**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=251. Acesso em: 15 de dez. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO DNER 1996**: Manual de Pavimentação. 2 ed. Rio de Janeiro: DNER, 1996. 320 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE. **MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO DNIT 2006**: Manual de Pavimentação. 3 ed. Rio de Janeiro: Dnit, 2006. 274 p.

DIMENSIONAMENTO de Pavimentos. 2020. Elaborada pelo Grupo SPT. Disponível em: <http://www.sptsondagens.com.br/servicos?servico=dimensionamen>. Acesso em: 28 ago. 2020.

DEVECI TECH (Turquia). **Cidades mais verdes que irão beneficiar a economia do país e o meio ambiente com rodovias que produzem energia verde são amanhã mais verdes**. Turquia, 21 mar. 2017. Facebook: @devecitech,. Disponível em: <https://www.facebook.com/devecitech/photos/954654688015543>. Acesso em: 20 maio 2021.

DEVECI TECH (Turquia). **O QUE É ENLIL?** 2021. Disponível em: <https://devecitech.com/>. Acesso em: 20 maio 2021.

DÍAZ, Argemiro Palencia; PAJARO, Giovanni Jiménez; SALAS, Khriscia Utria. Computational model of Savonius turbine: modelado computacional de turbina savonius. **Ingeniare**, Chile, v. 23, n. 3, p. 406-412, 10 nov. 2014. Disponível em: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v23n3/art09.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2021.

ENERGES,2020. Disponível em: <https://energes.com.br/fale-energes/voce-conhece-o-vento/>. Acesso em: 05 nov. 2020

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. **Energia eólica**. Barueri, Sp: Manole, 2011. 288 p. (Sustentabilidade).

FIGUEIREDO, Ana Clara Valente Salgueiro. **Avaliação de viabilidade de aplicação de aerogerador de pequeno porte em uma pousada em Arraial do Cabo**. 2019. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10028417.pdf>. Acesso em: 14 maio 2021.

FINOCCHIO, Marco Antonio Ferreira. **Apostila: Luminotécnica e lâmpadas elétricas**. Disciplina Engenharia de iluminação. Cornélio Procópio: Publicação Interna UTFPR/CP, 2013. Acesso em: 7 ago. 2020.

INSTRUTEMP. **Anemômetros: para que serve e seus modelos**. 2020. Disponível em: <https://instrutemp.com.br/anemometros-artigo/> . Acesso em: 15 dez. 2020

GREELANE. 2017. **Anemômetros e seus inventores**. Disponível em: <https://www.greelane.com/pt/humanidades/hist%C3%B3ria--cultura/history-of-the-anemometer-1991222>. Acesso em: 10 fev. 2021.

HENRY, Joalex. **Os primeiros geradores eólicos caseiros do mundo**. 2018. Disponível em: <https://meioseculodeaprendizagens.blogspot.com/2018/05/os-primeiros-geradores-eolicos-caseiros.html>. Acesso em: 7 mar. 2021.

HORBACH, RIBEIRO, VALLADARES, DOS SANTOS. **Anemômetro por Deflexão**, 2009. TCC (graduação) – Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio

Grande do Sul. Porto Alegre, 2009. Disponível em: <http://143.54.70.55/medterm/20091/ANEM%C3%94METRO%20POR%20DEFLEX%C3%83O.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2020.

HSU, Fred. **Taiwan 2009 JinGuaShi Historic Mine Gold Turbines Darrieus Savonius FRD 8638.jpg.** 2010. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taiwan_2009_JinGuaShi_Historic_Gold_Mine_Combined_Darrieus_Savonius_Wind_Turbines_FRD_8638.jpg. Acesso em: 12 dez. 2020.

(IAG/USP/1998). Dinâmica Planetária de Tempo e Clima. Disponível em: <https://www.iag.usp.br/siae98/meteorologia/dinamica.htm>. Acesso em: 17 de dez. 2020.

MALEWAR, Amit. **Nova turbina eólica coleta a energia do tráfego de passagem.** 2020. Disponível em: <https://www.inceptivemind.com/alpha-311-wind-turbine-harvests-energy-passing-traffic/15774/>. Acesso em: 17 maio 2021.

METEO BLUE. **Vento.** 2021. Disponível em: <https://content.meteoblue.com/pt/especificacoes/variaveis-meteorologicas/vento>. Acesso: 20 maio 2021.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 06** – Equipamento de Proteção Individual – EPI. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2015. Disponível em: https://www.pncq.org.br/uploads/2016/NR_MTE/NR%206%20-%20EPI.pdf. Acesso em: 9 maio 2021.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 18** – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-18-atualizada-2020.pdf/view>. Acesso em: 11 maio 2021.

MÜLLER, Matheus do Nascimento. **Projeto de uma Turbina Eólica de Eixo Horizontal**. 2015. 100 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014739.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2021.

PANTALEÃO, Sergio Ferreira. **EPI - EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL - NÃO BASTA FORNECER É PRECISO FISCALIZAR**. 2019. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/tematicas/epi.htm>. Acesso em: 15 maio 2021.

PHILIPS. **Iluminação – Noções Básicas de Iluminação. Informação de produto – Informação de Aplicação**. Disponível em: http://www.eletrica.ufpr.br/sebastiao/wa_files/te344%20aula%2029%20-%20apostila%20nocoas%20gerais%20de%20projetos%20de%20ip.pdf Acesso em: 28 out. 2020.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos de energia eólica**. Rio de Janeiro: Ltc __ Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2013. 368 p. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2193-5/cfi/0!4/2@100:0.00>. Acesso em: 2 mar. 2021.

PINTO, Mauro Sérgio Silva, 2006. **Especificações de projeto para medição de velocidade de vento utilizando anemômetro ultra-sônico com o método de diferença de fase**. Disponível em: <https://tede2.ufma.br/jspui/handle/tede/457>. Acesso em: 30 out. 2020.

PORTAL ENERGIA. **Matriz energética brasileira está entre as mais limpas do mundo**. 2018. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/matriz-energetica-brasileira/>. Acesso em: 17 dez. 2020

POUL LA COUR MUSEET (Askov). **História da galeria**. 2021. Disponível em: <https://www.poullacour.dk/en/gallery-histor/>. Acesso em: 9 mar. 2021

PURIFICAÇÃO, Luerles Silva da; DELLA FONTE, Rodrigo Borges. **DIMENSIONAMENTO DE UMA TURBINA EÓLICA DARRIEUS PARA APLICAÇÃO EM EDIFÍCIOS**. 2012. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012. Disponível em: https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/estudo_de_turbinas_eolicas_verticais_com_exemplo_de_dimensionamento_de_uma_turbina_eolica_darrieus_para_aplicacao_em_edificios.pdf. Acesso em: 1 maio 2021.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**. 2. ed. Barueri: Manole, 2011. 461 p. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520443088/cfi/0!/4/2@100:0.00>. Acesso em: 3 dez. 2021.

REV BRASILEIRA ENSINO DE FÍSICA, 2008. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/>. Acesso em: 15 maio 2021.

REVISTA, O SETOR ELÉTRICO, **Eólica alcança 7 % da matriz elétrica brasileira**. 2017. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/eolica-alcanca-7-da-matriz-eletrica-brasileira/>. Acesso em: 05 nov. 2020.

SANTOS, Alison Alves dos *et al.* **Projeto de Geração de Energia Eólica**. 2006. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Mecânica, Universidade Santa Cecília, Santos, 2006. Disponível em: <https://cursos.unisanta.br/mecanica/polari/energiaeolica-tcc.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2021.

SILVA, Mauri Luiz da. **Luz Lâmpadas & Iluminação**. 4. ed. Ciência Moderna. 2020. 56 pag.

SHELL GLOBAL. **Ventos de mudança: turbina transforma tráfego em energia**. TURBINA TRANSFORMA TRÁFEGO EM ENERGIA. 2021. Disponível em: <https://www.shell.com/inside-energy/turbine-turns-traffic-into-energy.html>. Acesso em: 20 maio 2021.

THOMPSON, Barry. **Apresentando o Protótipo Mk.X**. 2020. Disponível em: <https://alpha-311.com/news/introducing-the-mk-x-prototype/>. Acesso em: 20 maio 2021.

UFPR, **Medidas do vento**. 2021. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap7/cap7-8.html>. Acesso em: 20 Jan. 2021.

WALKER, Kate. **O Capture Mobility transforma o fluxo de ar dos carros em eletricidade**. 2016. Disponível em: <https://www.designindaba.com/articles/creative-work/capture-mobility-turns-airflow-passing-cars-electricity>. Acesso em: 20 maio 2021.