



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE SANTA CATARINA CÂMPUS ITAJAÍ

AMANDA JULIA VIEIRA

**PROJETO DE UMA MICROUSINA DE GERAÇÃO EÓLICA EM
ARAQUARI - SC EM 2021**

ITAJAÍ-SC
2021



AMANDA JULIA VIEIRA

**PROJETO DE UMA MICROUSINA DE GERAÇÃO EÓLICA EM
ARAQUARI - SC EM 2021**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina Câmpus Itajaí, ligado ao Ministério da Educação, no curso de Engenharia Elétrica, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em engenharia elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Saimon Miranda Fagundes

ITAJAÍ-SC
2021

AMANDA JULIA VIEIRA

**PROJETO DE UMA MICROUSINA DE GERAÇÃO EÓLICA EM
ARAQUARI - SC EM 2021**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina Câmpus Itajaí, ligado ao Ministério da Educação, no curso de Engenharia Elétrica, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em engenharia elétrica.

Trabalho aprovado. Itajaí-SC, 24 de Abril de 2021.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Sergio Augusto Bitencourt Petrovcic
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Prof. Me. Marcelo dos Santos Coutinho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Prof. Dr. Saimon Miranda Fagundes
Orientador

ITAJAÍ-SC
2021

Por um mundo mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, meu namorado e amigos por todo o apoio que me incentivou e muito contribuiu para a realização deste trabalho.

Agradeço também aos mestres, em especial ao meu orientador, por todo ensinamento, paciência e correções durante os 5 anos deste curso, contribuindo para meu crescimento profissional.

...A simplicidade é a sofisticação final. (Da Vinci, Leonardo).

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo de viabilidade técnica da instalação de uma micro usina de geração eólica em uma propriedade localizada na cidade de Araquari em Santa Catarina. Primeiro, mostra a utilização do vento na matriz energética mundial e brasileira, apresenta o estudo teórico para a implantação de uma usina eólica, as características técnicas de um aerogerador e do potencial eólico local através de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Além disso, apresenta também os requisitos exigidos pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e pela CELESC para a instalação de uma microusina de geração eólica e solar, na modalidade de geração distribuída, e faz uma comparação sobre as vantagens e desvantagens de instalações de usinas solares e eólicas.

Palavras-chave: Geração eólica. Geração distribuída. Microusina.

ABSTRACT

This work presents a study of technical feasibility of installing a micro wind turbine in a property located in the city of Araquari in Santa Catarina. First, it shows the use of wind in the world and brazilian energy matrix, also presents a theoretical study for the implantation of a wind power plant, as characteristics of a wind turbine and the local wind potential by analysing data from INMET. In addition, it also addresses the requirements required by ANEEL and the concession of local energy for distributed generation and makes a comparison between solar and wind power plants installations.

Keywords: Wind Generation. Distributed Generation. Micro Plant. ANEEL.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Capacidade total instalada no mundo [GW]	4
Figura 2 – Locais de geração de energia eólica no Brasil	5
Figura 3 – Locais de geração de energia eólica em Santa Catarina	6
Figura 4 – Geração compartilhada	8
Figura 5 – Autoconsumo remoto	8
Figura 6 – Condomínio	9
Figura 7 – Produção junto a carga	9
Figura 8 – Funcionamento da geração distribuída	10
Figura 9 – Fatura de energia de uma residência com sistema de microgeração de energia solar	11
Figura 10 – Comportamento do vento sob a influência das características do terreno	13
Figura 11 – Turbinas eólicas horizontais: upwind e downwind	13
Figura 12 – Aerogerador e o fluxo de ar	15
Figura 13 – C_p x TSR para diversos tipos de rotores	16
Figura 14 – Triângulo das potências	17
Figura 15 – Evolução comercial dos aerogeradores	19
Figura 16 – Maiores aerogeradores	20
Figura 17 – Redução na taxa de mortalidade de aves em 72 % devido a pintura de uma das pás	20
Figura 18 – Consumo da unidade consumidora	24
Figura 19 – Estações Meteorológicas INMET	26
Figura 20 – WRPLOT - importação de dados	27
Figura 21 – Rosa dos ventos - Estação meteorológica de Itapoá	28
Figura 22 – Rosas dos ventos no Google Earth	28
Figura 23 – Distribuição de frequência de classe do vento	29
Figura 24 – Velocidade média sazonal do vento a 50m de altura	30
Figura 25 – Curva de potência - ELV-H3.1	31
Figura 26 – Curva de potência - ELV-H2.7	33
Figura 27 – Parâmetros das funções de proteção dos inversores de frequência	35
Figura 28 – Cabo PP	37
Figura 29 – Seção transversal dos cabos	38
Figura 30 – Disjuntor 16A	39
Figura 31 – Disjuntor 40A	39
Figura 32 – Dispositivo de Proteção Contra Surtos	40
Figura 33 – Inversor de frequência	41
Figura 34 – Esquema Unifilar	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potência instalada	22
Tabela 2 – Histórico de consumo mensal	26
Tabela 3 – Produção mensal por estação do ano - ELV-H3.1	31
Tabela 4 – Produção mensal por estação do ano - ELV-H2.7	32
Tabela 5 – Produção mensal por estação do ano com dois aerogeradores - ELV-H3.1	33
Tabela 6 – Produção mensal por estação do ano com dois aerogeradores - ELV-H2.7	33
Tabela 7 – Economia mensal - Modelo ELV-H3.1	43
Tabela 8 – Economia mensal - Modelo ELV-H2.7	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ART	Termo de Responsabilidade Técnica
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COSIP	Contribuição para o Custeio da Iluminação Pública
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
EUA	Estados Unidos da América
GD	Geração Distribuída
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
SIGA	Sistema de Informação de Geração da ANEEL
TSR	<i>Tip-SpeedRatio</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ	Massa específica do ar
π	Número pi
λ	Tip-SpeedRatio
ω	Velocidade angular das pás do rotor

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
2 – PROBLEMA E JUSTIFICATIVA	2
3 – OBJETIVOS	3
3.1 Objetivo Geral	3
3.2 Objetivos Específicos	3
4 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
4.1 Energia eólica no mundo	4
4.2 Energia eólica no brasil	5
4.3 Geração distribuída	5
4.4 Geração distribuída	7
4.5 Recurso eólico	12
4.6 Partes da turbina eólica	12
4.7 Energia disponível do vento	14
4.8 Lei de Betz	15
4.9 Coeficiente de potência e TSR	16
4.10 Dimensionamentos	17
4.11 Comparação entre energia eólica e energia solar	18
5 – PROCEDIMENTOS	22
5.1 Carga instalada e Demanda	22
5.2 Histórico mensal de consumo	25
5.3 Potencial Eólico	26
5.4 Aerogerador	30
5.5 Sistema de proteção	34
5.6 Dimensionamentos	35
5.6.1 Condutores	35
5.6.2 Disjuntores	38
5.6.3 Dispositivo de proteção contra surto	39
5.6.4 Inversor de frequência	40
5.7 Projeto elétrico	41
5.8 Economia anual	42
6 – CONCLUSÃO	44
6.1 Considerações Finais	44

Referências 46

1 INTRODUÇÃO

A adoção de medidas sustentáveis está em todo o planejamento energético que é realizado na atualidade, por consequência, fontes renováveis de energia vem ganhando espaço na matriz energética (CASTRO, 2006). Nos anos 70, os países se viram obrigados a buscar por fontes alternativas de energia, em busca de segurança no fornecimento quando se depararam com a crise do petróleo (SIMAS; PACCA, 2013).

A energia eólica teve um crescimento considerável a partir de 1996 (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008) e se consolidou em 2004 quando começou a ser parte significativa da matriz energética no mundo, diminuindo assim, o impacto causado pelas crises internacionais de combustíveis fósseis e auxiliando no desenvolvimento sustentável. Estudos demonstram que a energia gerada através do vento é uma das fontes renováveis mais promissoras (CASTRO, 2006) possuindo base madura em países da Europa e nos EUA.

O potencial eólico brasileiro foi alvo de amplo estudo no ano de 2013 com simulações a 50 metros de altura que classificavam as regiões do país de acordo com a intensidade do vento na região (CEPEL, 2013). “No Brasil, estima-se que o potencial eólico seja de 500 GW (FAPESP, 2019) e em 2018 a potência instalada chegou a 14,2 GW, ocupando assim, o quarto lugar na matriz energética brasileira (ABEEÓLICA, 2018).

Um ponto positivo que vale destaque é a geração de empregos diretos e indiretos que a instalação de usinas eólicas pode gerar. Habitualmente, essas usinas são instaladas em regiões rurais (SIMAS; PACCA, 2013) e trazem empregos diretos, como a manutenção e a operação e indiretos como a hospedagem, uma vez que as usinas viram pontos atrativos para visitantes. Ainda, tem-se a produção de insumos para da usina e o aumento das indústrias que produzem materiais necessários para a construção desses parques eólicos como geração de novos trabalhos.

Para a instalação de uma usina eólica, independente da quantidade de energia no qual ela será projetada para gerar, é preciso analisar os ventos da região.

A utilização da energia solar para o presente projeto foi cogitada, porém o proprietário do sítio escolheu pela fonte eólica apesar das pontuações sobre as maiores facilidade de conseguir material e a viabilidade na microgeração solar, por isso, é apresentado também uma comparação entre as duas fontes de geração de energia.

Diante disto, o presente trabalho propõe um projeto de uma microusina eólica em um sítio localizado na cidade de Araquari no estado de Santa Catarina. O sítio em questão comercializa produtos orgânicos e preza pela sustentabilidade e autossustento. Será efetuado um estudo de caso e o projeto de instalação, avaliando as condições do terreno e dos ventos na região, definindo sua viabilidade.

2 PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

Diante do atual cenário mundial, onde a preocupação com a conservação do meio ambiente está em alta, as fontes de energia renováveis vêm ganhando destaque na composição da matriz energética mundial. Ainda, há incentivos fiscais, como redução de impostos (SOLAR, 2020a), para produtores que utilizarem as fontes limpas para a produção da própria energia.

Tem-se como vantagem de uma microusina eólica a não geração de resíduos que contribuam com o efeito estufa e a redução da dependência energética do exterior. Com isso, a geração da própria energia por produtores rurais pode ser atrativa, visto que além dos benefícios ao meio ambiente, a fatura de energia resolta no maior gasto para esses produtores.

Por fim, o presente trabalho propõe o projeto de uma microusina de geração eólica em um sítio na cidade de Araquari, pois no local há a comercialização de produtos orgânicos e também tem-se a preocupação com os fatores ambientais. Cientes do alto investimento inicial e do retorno de investimento a médio prazo, os proprietários do local pretendem contribuir e disseminar causas ambientais que fortaleçam a sustentabilidade.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Projetar uma microusina de energia eólica em um sítio na cidade de Araquari, estudando sua viabilidade técnica de acordo com as características ambientais da região.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar a demanda de energia elétrica da propriedade;
- Avaliar as condições ambientais, analisando os ventos característicos da região;
- Entender o conceito de geração distribuída e seus pré-requisitos;
- Projetar a usina de micro geração eólica.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo descreve as principais bases de conhecimento para o desenvolvimento do projeto da microusinina eólica proposta, análise da viabilidade e apresenta uma breve abordagem da matriz energética brasileira.

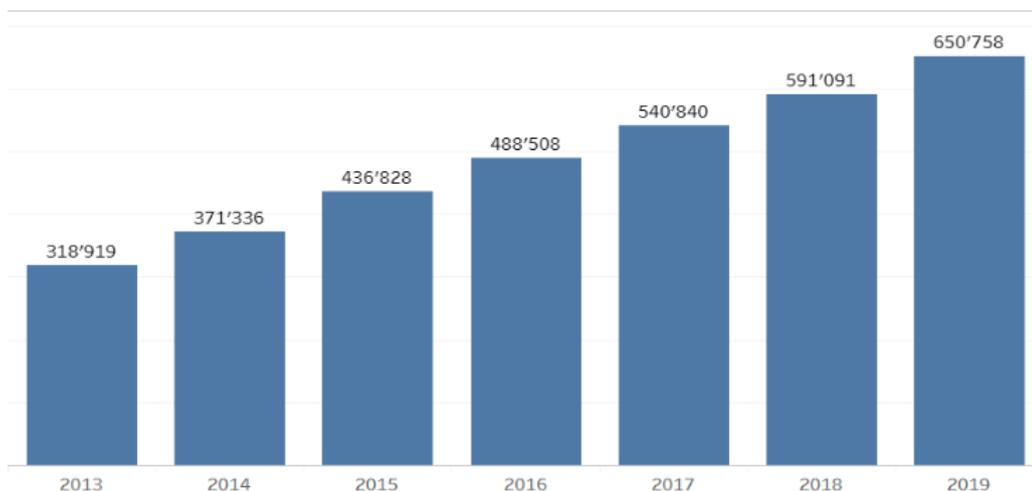
4.1 Energia eólica no mundo

O consumo de energia de uma sociedade está diretamente ligada a qualidade de vida e com a crise do petróleo em 1970 (SIMAS; PACCA, 2013), onde os países se viram obrigados a buscar segurança no fornecimento de energia reduzindo a dependência da importação de combustíveis.

O vento como força motriz é utilizado no mundo há muito tempo (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008). Primeiramente, os ventos auxiliaram no desenvolvimento agrícola por uma forma primitiva de moinho e também para mover barcos a vela e dessa forma, novas tecnologias foram desenvolvidas para a utilização do vento.

Até o final de 2019 o mundo possuía a capacidade instalada de 650,8 GW (ASSOCIATION, 2020), conforme a Figura 1, de turbinas eólicas, com o crescimento de 10,3% nesse ano e liderança da China e EUA nesta produção. A tendência é que a fonte eólica ocupe cada vez mais espaço na matriz energética mundial.

Figura 1 – Capacidade total instalada no mundo [GW]



Fonte: WWEA, 2020

4.2 Energia eólica no Brasil

Segundo o SIGA - Sistema de Informação de Geração da ANEEL - criado pela ANEEL em 2020, a capacidade de geração de energia elétrica em operação no Brasil é de 175GW (SIGA, 2020), sendo que as Usinas Hidrelétricas lideram a produção com 58,75% da produção seguidos das Usinas Termoelétricas com 25,20% e apenas 9,53% de produção eólica com 668 pontos de geração, mostrados na Figura 2 .

Figura 2 – Locais de geração de energia eólica no Brasil



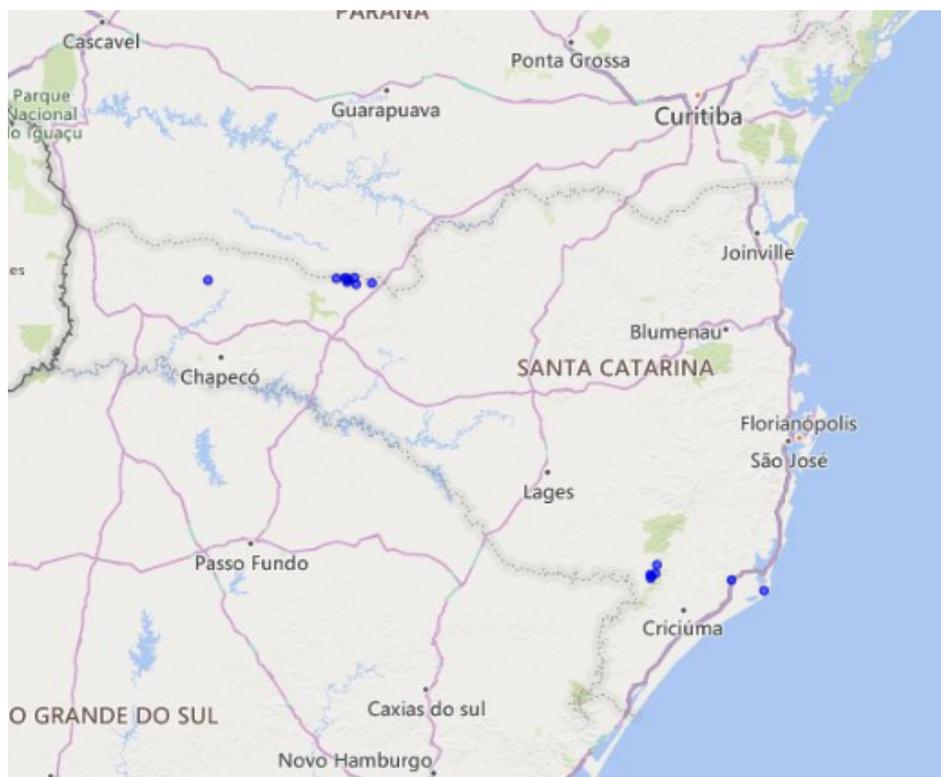
Fonte: SIGA, 2020

Em Santa Catarina, a capacidade instalada total é de 4,8 GW (SIGA, 2020) e dessa quantidade as usinas eólicas correspondem a 5,03% com 245MW de produção em 16 pontos de geração. As usinas hidrelétricas também lideram a produção no estado de Santa Catarina com 2,6GW de geração. A Figura 3 demonstra os pontos de produção de energia eólica no estado e de venda para a concessionária de energia.

4.3 Geração distribuída

A constante busca por amenizar os impactos ambientais, somado ao aumento da capacidade instalada no setor elétrico brasileiro e os investimentos necessários para esse aumento, tem colocado a geração distribuída como alternativa às soluções tradicionais

Figura 3 – Locais de geração de energia eólica em Santa Catarina



Fonte: SIGA, 2020

(DIAS; BOROTNI; HADDAD, 2005). Dessa forma, três tendências estão contribuindo para a disseminação da geração descentralizada: a reestruturação do setor energético, a necessidade do aumento de capacidade do sistema e os avanços tecnológicos dos acionadores das fontes primárias.

A geração distribuída permite reduzir investimentos e aumentar a eficiência da matriz energética, isso também porque o mercado tende a favorecer os pequenos produtores, uma vez que estes utilizam tecnologias mais simples e de mais fácil instalação (CASTILHO; SOARES, 2008).

Em abril de 2012 a ANEEL regulamentou as condições para o acesso a mini e microgeração de energia e criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, permitindo assim que o consumidor produzisse sua própria energia a partir de fontes renováveis ou pela cogeração qualificada, podendo ainda utilizar o excedente para outras unidades consumidoras de sua titularidade, uma vez que essas pequenas centrais geradoras seriam conectadas a rede de distribuição.

A ANEEL (2020) prevê cerca de 1,23 milhões de sistemas de geração distribuída até 2024, gerando aproximadamente 4.557MWp. Já para 2050 a previsão é que a produção de energia elétrica na modalidade de geração distribuída chegue a 78GWp com produções residenciais, comerciais, industriais e do poder público.

Entre as vantagens da geração distribuída estão (CASTILHO; SOARES, 2008):

diminuições das perdas na rede de transmissão de energia, redução dos investimentos para instalações de novas centrais de geração de energia, maior flexibilidade de instalação, maior estabilidade do sistema elétrico, aumento da qualidade de serviços aos consumidores próximos a uma geração distribuída, permite que a energia elétrica alcance áreas mais sensíveis e diminui impactos ambientais.

A microgeração e minigeração se caracterizam pela demanda ou potência instalada. A ANEEL (2015) define microgeração quando a potência instalada é igual ou inferior a 75 kW e estipula a capacidade da minigeração como potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fonte hídrica e para as demais fontes, menor ou igual a 5 MW.

Esta modalidade está ligada a incentivos fiscais, conforme o Artigo 8 da Lei nº 13.169 de 6 de outubro de 2015, que traz como benefício a redução das alíquotas da contribuição do PIS/Pasep e do COFINS que passaram a incidir apenas na diferença da energia consumida e a energia injetada, além de incentivos sobre a dedução do imposto de renda para pessoas físicas e pessoas jurídicas e por meio de desconto do IPTU de acordo com as leis municipais de cada cidade.

O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS, passa a ser cobrado de duas formas: aos estados que aderiram ao Convênio do CONFAZ ICMS 16/2015, este imposto é cobrado sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede, já para os estados que não aderiram ao convênio, o imposto é cobrado sobre toda a energia consumida da rede. Modalidades de geração compartilhada de condomínios, assim como empreendedores com potência instalada maior que 1MW não entram nesta regra e na regra já descrita das contribuições do PIS/Pasep e do COFINS.

Esse modelo de geração distribuída é conhecido como on-grid (NETO; MASSA; FLORIAN, 2019) e significa que a microgeração é ligada à rede de distribuição de energia, quando não há essa conexão, ou seja, quando a energia produzida é armazenada em baterias o sistema é denominado de off-grid. Ainda, quando há os dois casos, a microgeração possui a característica de sistema híbrido.

4.4 Geração distribuída

Há uma série de pré requisitos que o pequeno produtor deve seguir para que a central geradora seja caracterizada como mini ou microgeração de energia. São obrigatórios, por exemplo, as etapas de solicitação e de parecer de acesso. Neste último, são informados as condições de acesso e os requisitos técnicos que permitem a conexão das instalações. Vale ressaltar que, cabe a distribuidora - concessionária de energia regulamentada - informar a ANEEL sobre a nova geração e suas características.

A distribuidora de energia é responsável por instalar o sistema de medição bidirecional, sendo dois medidores unidirecionais ou um bidirecional, de acordo com a Resolução Normativa nº 687 de 2015 da ANEEL, a fim de mensurar a energia consumida pela unidade

consumidora da rede e a energia gerada que é injetada na rede. No caso da microgeração, não há custos para o ascendente e na minigeração a unidade consumidora é responsável por ressarcir a distribuidora dos custos sobre o sistema de medição.

Uma das inovações trazidas pela modalidade de geração distribuída é o sistema de compensação, no qual a unidade consumidora produtora, se produzir a mais do que consumir, consegue utilizar o excedente para abater na conta de outra unidade ou para utilização em outro mês de baixa produção. No primeiro caso existem quatro tipos de configuração para o consumo remoto (ANEEL, 2012).

O primeiro modelo é a geração compartilhada, caracterizada por um consócio ou cooperativa de consumidores, pessoas físicas ou jurídicas, dentro da mesma área de concessão, Figura 4. Desde que, as unidades consumidoras estejam ligadas a mesma concessionária de energia é possível redigir um contrato para que uma usina abasteça outras propriedades.

Figura 4 – Geração compartilhada



Fonte: ANEEL, 2019

Figura 5 – Autoconsumo remoto



Fonte: ANEEL, 2019

Já no autoconsumo remoto a compensação é feita em outras unidades consumidoras com a mesma titularidade de pessoa física ou pessoa jurídica, Figura 5. Dessa forma, dentro da mesma concessão, é possível utilizar os excedentes gerados para abater em outras faturas de energia do mesmo proprietário.

O terceiro caso é o empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínio), esse modelo é caracterizado pela utilização da energia por várias unidades consumidoras em uma mesma propriedade ou dispostas em área contíguas - Figura 6.

Figura 6 – Condomínio



Fonte: ANEEL, 2019

A última modalidade é a produção junto a carga, ou seja, quando a usina está localizada no terreno da unidade consumidora que fará o uso dessa energia elétrica produzida, Figura 7.

Figura 7 – Produção junto a carga



Fonte: ANEEL, 2019

As empresas que fornecem consultoria e instalação de microusinas de geração de energia elétrica por fontes renováveis estão utilizando o histórico de consumo mensal da unidade consumidora a fim de dimensionar a capacidade de geração da usina, pois o cálculo de demanda, além de mais complexo, não fornece uma amostra real do consumo mensal.

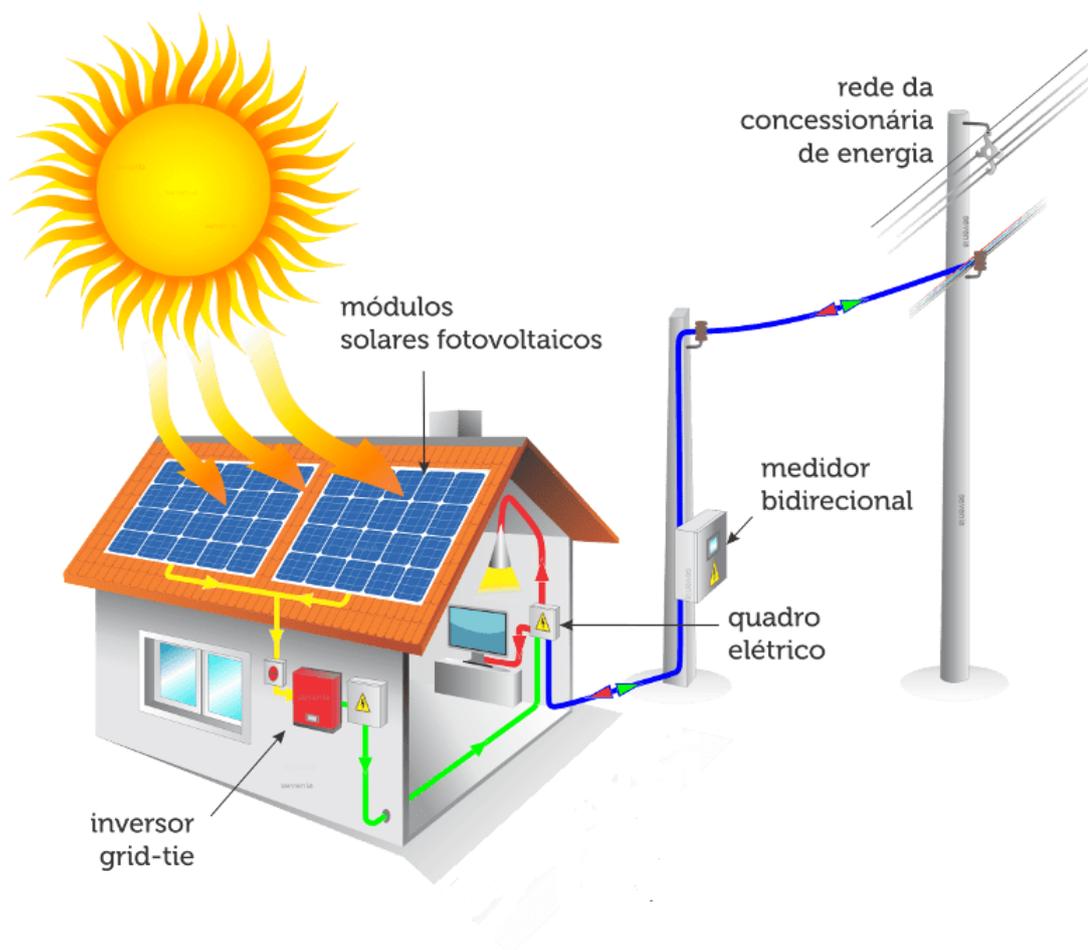
O projeto de uma usina de geração distribuída requer uma ART - Termo de Responsabilidade Técnica - assinado pelo engenheiro responsável pela obra e pelo titular

da unidade consumidora. O termo descreve a classificação da geração de energia e também deve conter: sistema de aterramento e o projeto elétrico de acordo com o nível de tensão das instalações (CELESC, 2018).

Já o memorial descritivo da obra deve conter o sistema de proteção, o projeto da instalação do gerador, diagrama unifilar, cálculo de dimensionamento dos condutores, disjuntores, eletrodutos, DPS (Dispositivo de proteção contra surtos), e outros, além das especificações técnicas dos equipamentos que serão instalados (CELESC, 2018).

Após as solicitações à concessionária de energia local, ela tem uma quantidade de dias pré definidos por ela mesmo, 15 dias no caso da CELESC, para analisar o pedido e dar seu parecer. Ainda, caso falte informações ou documentos, a distribuidora de energia pode solicitar os dados faltantes antes da resposta definitiva sobre a instalação (CELESC, 2018). Além de analisar a documentação enviada, a concessionária de energia também irá analisar se é necessário melhorias ou reforços no sistema de distribuição no local em que será instalado o sistema de geração de energia. Se for necessário qualquer manutenção na rede, a concessionária que assume os custos.

Figura 8 – Funcionamento da geração distribuída



Fonte: Sunset Energia, 2020

A Figura 8 ilustra o esquema de conexão da geração distribuída, apesar da figura apresentar um sistema de microgeração solar, o conceito é o mesmo para a microgeração eólica. As normas dos órgãos regulamentadores apresentam os mesmos procedimentos para a instalação dos dois sistemas.

A linha amarela na Figura 8 representa toda a energia elétrica produzida pelos painéis solares em corrente contínua. No caso da energia eólica alteraria apenas o fato de que seria o aerogerador produz corrente contínua. Após a energia ser gerada em corrente contínua, ela passa por um inversor de frequência que transforma a energia elétrica em corrente alternada, identificada na figura pela cor verde.

Em seguida, a corrente alternada é direcionada ao quadro de distribuição que, ou encaminha essa energia produzida para ser consumida no local, cor vermelha, ou injeta essa energia gerada na rede da concessionária local, passando primeiro pelo medidor bidirecional para computar essa energia elétrica injetada na rede como crédito (energia representada pela cor azul e seta verde na Figura 8). Quando não há energia suficiente sendo produzida ou não há produção, a energia consumida pela casa é fornecida pela rede da concessionária, linha azul com a seta vermelha, sendo que esta também passa pelo medidor bidirecional para ser computada.

Dessa forma, o medidor consegue registrar a quantidade de energia injetada na rede e o quanto foi consumido da rede para realizar a cobrança da fatura de energia elétrica. Contudo, o sistema de compensação não tem valores iguais de cobrança e é o consumidor que paga a mais, ou seja, o preço da energia injetada na rede é inferior ao preço da energia consumida, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 – Fatura de energia de uma residência com sistema de microgeração de energia solar

Dados do Faturamento	Faturado	Tarifa (R\$)	Valor (R\$)
Consumo	150	0,606467	90,97
Consumo	935	0,718524	671,82
Ener Injetada	-150	0,530200	-79,53
Ener Injetada	-330	0,530303	-175,00
Adic Band. Amarela			17,83
Adic Band. Amarela			2,40
Ener Inj B Amar			-6,75
Subtotal (R\$)			521,74
Lançamentos e Serviços			
Correcao Monetaria por Atraso 11/2020			56,08
Juros Conta Anterior 11/2020			30,02
Multa Conta Anterior 11/2020			29,43
Cobranca de Ajuste de Faturamento			13,70
Cosip			57,18
Preville S Cat 47 3433 9799			55,00
Subtotal (R\$)			241,41

Fonte: Do autor, 2021

Na fatura apresentada, podemos observar a distinção dos valores. A energia consumida da rede é dividida em dois preços, nos primeiros $150kWh$ é pago o valor de R\$ 0,606 por kWh consumido, para o restante é cobrado o valor de R\$ 0,718. Já para a energia injetada na rede, a diferença de valor entre os primeiros $150kWh$ e o restante é de R\$0,000103. Por conta disso, é possível considerar que o preço pela energia injetada por kWh é de R\$ 0,530, independente da quantidade.

Nos primeiros $150kW$ o valor da compensação é 12,54% menor e essa porcentagem chega a 32,13% para o restante dos kWh . Segundo a Resolução Normativa ANEEL nº 414 de 2010 os créditos gerados pela energia injetada na rede podem ser utilizados em até 60 meses, ou seja, 5 anos.

4.5 Recurso eólico

Os ventos são caracterizados por sua direção e velocidade, porém eles não apresentam uma intensidade constante e, por conta disso, é necessário um estudo aprofundado sobre o tema para a construção de usina de energia eólica. Segundo (SOUZA; RODRIGUES, 2016), um dos principais fatores que influenciam no aproveitamento do recurso eólico é a altura, geografia local e possíveis obstáculos ao vento.

O relevo do terreno influencia diretamente na direção e velocidade do vento, já a altura influencia diretamente na velocidade, por isso faz-se necessário efetuar medições do vento em um determinado período de tempo na altura que se pretende instalar a usina (CRESESB, 2008). Já os obstáculos são facilmente identificados, podendo ser formações rochosas, construções civis, agrupamento denso de árvores, que assim como o relevo, podem impactar na direção e na velocidade do vento. A Figura 10 mostra, de forma genérica, o comportamento do vento sob a influência das características do terreno.

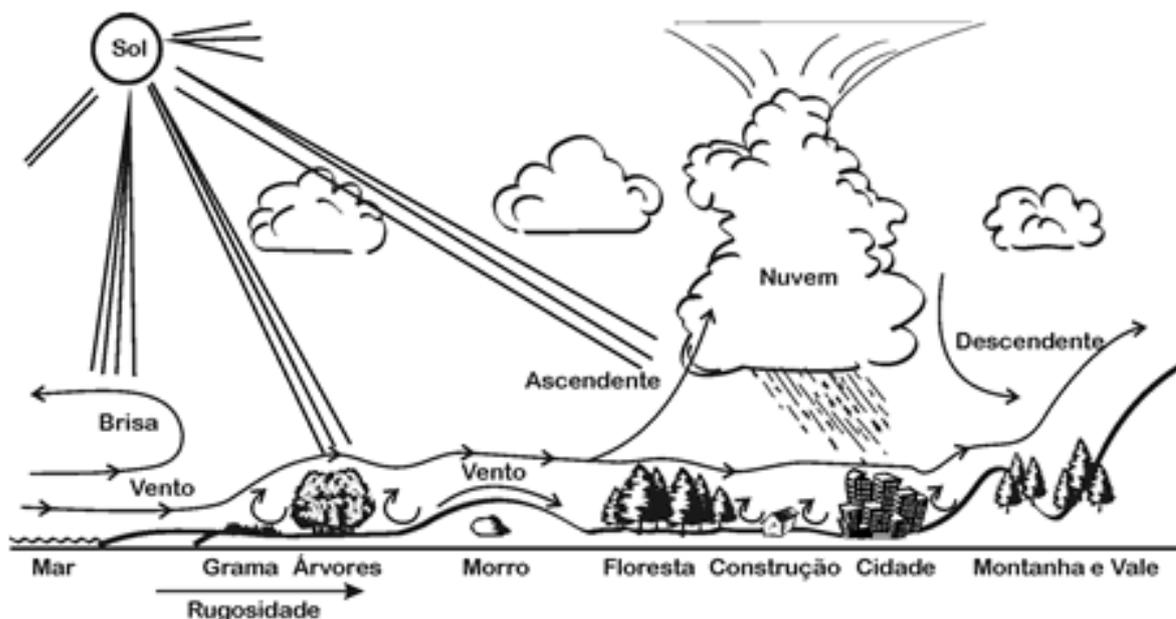
Dessa forma, o aproveitamento eólico é uma finalidade muito exigente devido aos estudos de suas características quando se trata de fins energéticos. Pela inconstância dos recursos eólicos, faz-se necessário caracterizar o vento de acordo com épocas do ano, tratando os dados estatisticamente (CEPEL, 2001).

4.6 Partes da turbina eólica

Um turbina eólica é classificada por seu eixo, eixo horizontal e eixo vertical, a primeira é a mais utilizada no mundo para geração de energia e também será utilizada no presente trabalho (MARQUES, 2004). Ainda, as turbinas de eixo horizontal podem ser subclassificadas como *upwind* - o vento incide na frente do rotor - e *downwind* - o vento incide por trás da turbina eólica, Figura 11.

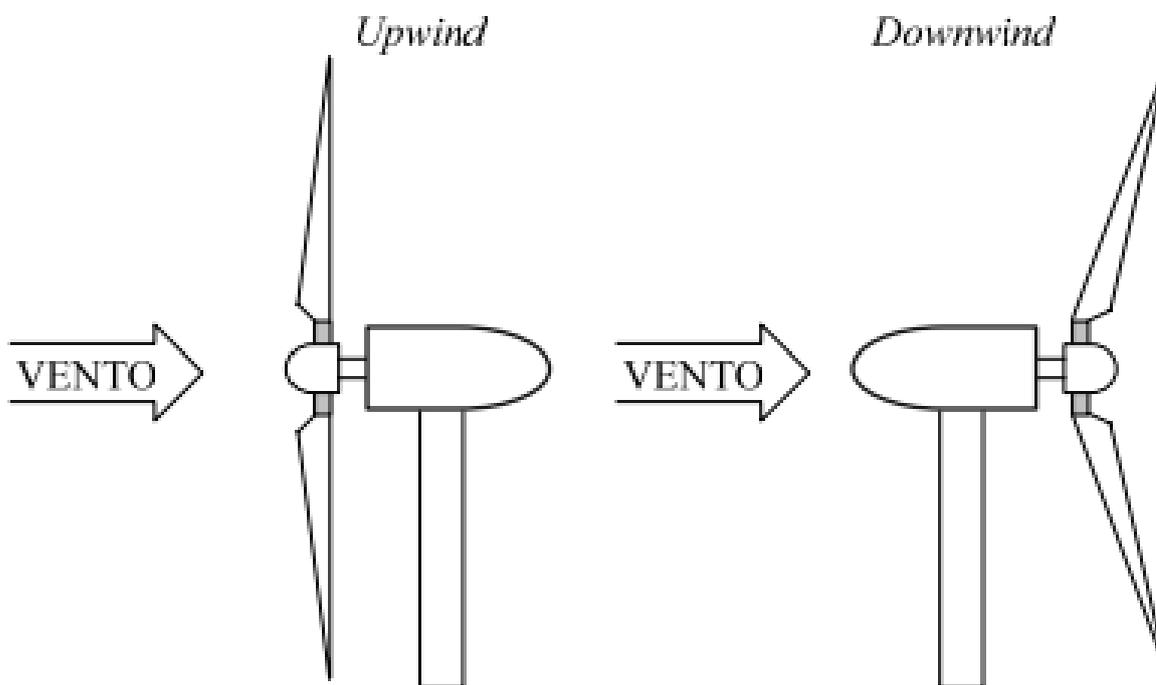
No modelo teórico (MARQUES, 2004), a turbina eólica horizontal *downwind* possui vantagem pois não necessita de um mecanismo que direcione a turbina em relação

Figura 10 – Comportamento do vento sob a influência das características do terreno



Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 1998

Figura 11 – Turbinas eólicas horizontais: upwind e downwind



Fonte: Marques, 2004

ao vento, entretanto, nesse modelo, as pás podem colidir com a torre em fortes rajadas de vento, por isso, quando essa configuração é utilizada, é disposta em pequenas turbinas.

O modelo de turbina eólica horizontal *upwind* necessitam de direcionamento em

relação ao vento (MARQUES, 2004), o quê provoca uma carga maior na torre para evitar pulsações de torque na turbina decorrente da passagem periódica das pás pela torre, porém esse modelo evita o distúrbio causado pela torre no vento.

Os principais componentes que compõem uma turbina eólica são:

- Rotor: composto pelas pás e cubo do rotor;
- Caixa multiplicadora: aumenta a velocidade rotacional para a exigida pelo gerador;
- Freio: freio a disco para auxiliar a turbina em condições ambientais adversas;
- Mecanismos de controle: utilizado para ligar ou desligar a turbina eólica, de acordo com o estado da mesma;
- Gerador: responsável pela conversão de energia mecânica em energia elétrica;
- Torre: estrutura construída para que as pás estejam na altura necessária para a melhor captação do vento;
- Mecanismo de orientação direcional: mantém o rotor de frente à direção do vento, utilizado em turbinas upwind.

4.7 Energia disponível do vento

A conversão de energia cinética em energia mecânica é o primeiro processo para a geração de energia de energia a partir dos ventos. A energia cinética pode ser definida como (1) (SILVA, 2014):

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

Onde a massa de ar é definida por m em [kg] e a velocidade do vento é representada por ' v ' em [m/s]. Ao considerar uma área (SILVA, 2014), transversal ao fluxo de ar - área das pás - é possível definir a potência disponível em [W] dada a seguir, considerando ρ como a massa específica do ar em [kg/m³].

$$P = \frac{\rho Av^3}{2} \quad (2)$$

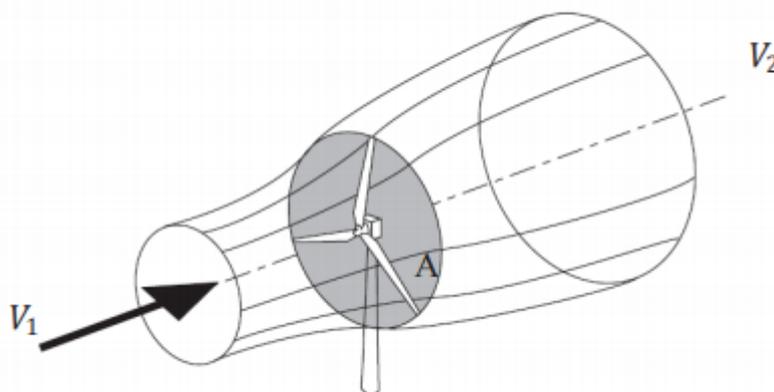
Ainda, é possível definir a densidade de potência DP pela equação (3). A energia cinética é convertida em energia mecânica através da rotação das pás (SILVA, 2014), enquanto a velocidade de deslocamento da massa do ar é reduzida. Porém, não é possível aproveitar 100% da energia cinética pela turbina eólica, por isso é definido o coeficiente de potência C_p - potência eólica extraída das pás, de acordo com algumas características físicas.

$$DP = \frac{\rho v^3}{2} = \frac{P}{A} \quad (3)$$

4.8 Lei de Betz

O físico Albert Betz, em 1919, concluiu que a máxima eficiência de uma turbina eólica é de 59,3%, ou seja, apenas 16/27 de energia cinética proveniente dos ventos pode ser convertida em energia mecânica (MORAES, 2015). Betz simulou a passagem do ar por um tubo de corrente, identificando que a zona de transição - pás - geram a descontinuação do ar.

Figura 12 – Aerogerador e o fluxo de ar



Fonte: Lima, 2015

A Figura 12 demonstra o aumento da área do fluxo de ar. A velocidade do vento - V_1 - antes da turbina é maior do que a velocidade - V_2 - do ar após a turbina que é proporcional à área, segundo a lei da descontinuidade (4) (LIMA, 2018). Para que a eficiência de conversão da energia cinética para energia mecânica fosse de 100% seria necessário que as pás cobrissem toda a área de passagem do ar, porém isso impediria a rotação do rotor.

$$A_1V_1 = A_2V_2 \quad (4)$$

Quando adicionamos a força e a durabilidade das pás no projeto, a eficiência da turbina cai para valores entre 35% e 45% (FONTENELE et al., 2016), e ainda, ao somar as ineficiências de todo o sistema - aerogerador, transmissão - a conversão de energia gira em torno de 10% a 30%.

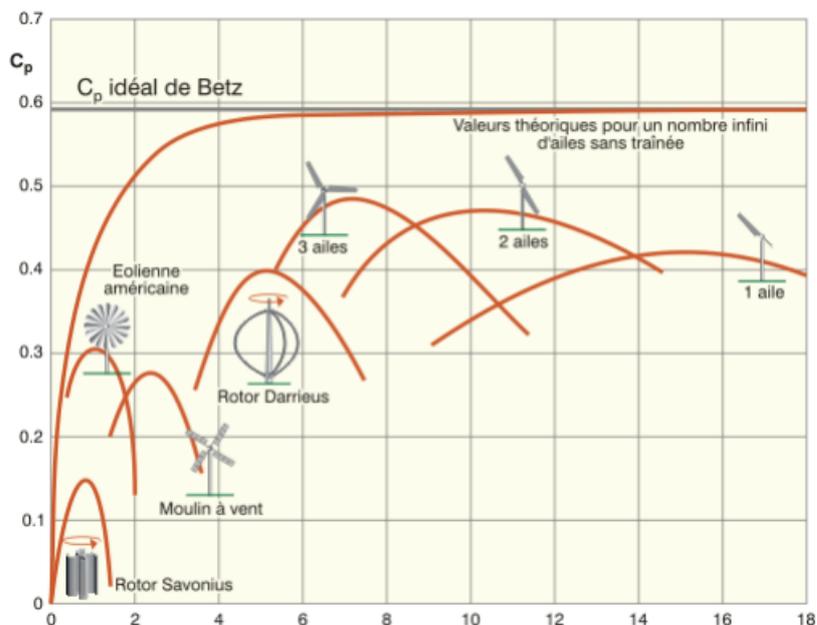
Ao se definir a potência de uma turbina (MORAES, 2015) é necessário levar em consideração a massa específica do ar (ρ), diâmetro do rotor (Dr), coeficiente de potência (Cp), velocidade nominal do vento (U) e o coeficiente de rendimento nominal (n), sendo o coeficiente de potência, a relação entre a potência real obtida e a potência máxima

disponível, resultando na equação (5).

$$P = \frac{\rho\pi D r^2 (U_\infty)^3 C_{pn}}{8} \quad (5)$$

4.9 Coeficiente de potência e TSR

Figura 13 – C_p x TSR para diversos tipos de rotores



Fonte: Muller, 2015

O número de pás está diretamente ligado ao *Tip-SpeedRatio* ou TSR (λ) (MULLER, 2015), onde o TSR define a razão entre a velocidade tangencial da ponta da pá e a velocidade real do vento, equação a seguir (6):

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \quad (6)$$

Sendo:

- λ = TSR;
- ω = velocidade angular das pás do rotor [rad/s];
- U = velocidade do vento [m/s];
- R = raio do rotor [m].

O valor do TSR está relacionado ao coeficiente de potência - Figura 13, de acordo com a configuração do rotor (MULLER, 2015). Quanto maior o TSR, menor será o número de pás, porém, maior será a força centrífuga, e conseqüentemente, mais resistência deverá ser agregada às pás. Abaixo é apresentada a relação do TSR com o C_p , Figura 13.

Ao construir uma turbina eólica com três pás, cerca de 20% do valor total do projeto diz respeito ao rotor e às pás (MARQUES, 2004). Diminuir o número de pás, faz diminuir

esse custo, porém essa diminuição acarreta em uma alta complexidade do projeto do rotor para evitar esforços ocasionados pela passagem das pás pela torre, além de aumentar significativamente os ruídos pela velocidade rotacional da pá. A turbina eólica horizontal de três pás é a mais utilizada porque são mais estáveis pela sua melhor distribuição do peso e menores cargas mecânicas nos componentes da turbina.

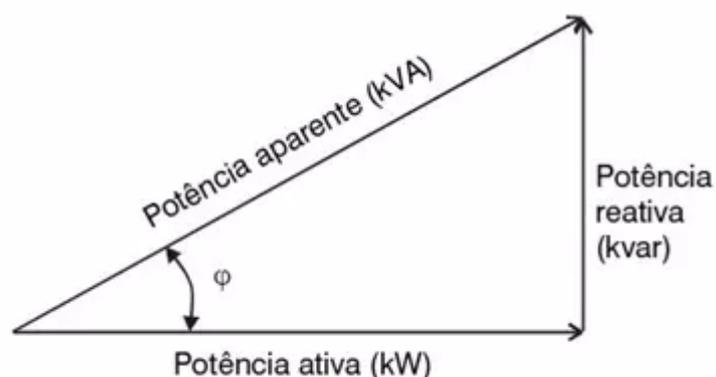
4.10 Dimensionamentos

Para o cálculo de dimensionamento do condutor, disjuntor e outros equipamentos do sistema, é necessário saber a corrente elétrica do circuito, e por ser um sistema monofásico, os cálculos se simplificam. O cálculo das correntes elétricas serão divididos em duas partes, as correntes contínuas (CC) e as correntes alternadas (CA).

Os inversores modernos conseguem atuar na correção do fator de potência (GROTH, 2013), melhorando a qualidade de energia encontrando o ponto de operação para a máxima potência. Por conta disso, será utilizado o fator de potência de 0,92, o mínimo permitido pela concessionária de energia, no Adendo 02 (CELESC, 2018).

O fator de potência é a relação entre a potência ativa e a potência aparente. A potência ativa, medida em Watts [W], é a energia transformada em trabalho, já a potência aparente é medida em volt-ampere [VA] e representa o total (MATTEDE, 2020). A Figura 14 apresenta o triângulo das potências e como elas se relacionam.

Figura 14 – Triângulo das potências



Fonte: CELESC, 2018

Dessa forma, o fator de potência é utilizado para indicar a eficiência do uso da energia, ou seja, a quantidade de trabalho efetivo. A Equação (7) relaciona o fator de potência (FP), a potência ativa (P), a tensão (V) e corrente elétrica (I) para fins de cálculos de dimensionamentos em casos onde a corrente é alternada.

$$P[W] = V[V] * I[A] * FP \quad (7)$$

Agora para o lado de corrente contínua, antes do inversor de frequência, o cálculo é feito com a máxima potência, considerando a produção nominal. Para isso, utiliza-se a Lei de Ohm (FERREIRA, 2015) que calcula a corrente elétrica (I) utilizando a potência (P) e a tensão (V), conforme a Equação (8).

$$I[A] = \frac{P[W]}{V[V]} \quad (8)$$

Segundo a NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão, para realizar o dimensionamento dos cabos, além das correntes, é necessário saber também em que ambiente o condutor estará inserido e quantos condutores carregados estarão presentes, pelo método de referência, listados a seguir:

- A1: condutores isolados em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante;
- A2: cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante;
- B1: condutores isolados em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira;
- B2: cabo multipolar em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira;
- C: cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede de madeira;
- D: cabo multipolar em eletroduto enterrado no solo;
- E: cabo multipolar ao ar livre;
- F: cabos unipolares justapostos (na horizontal, na vertical ou em trifólio) ao ar livre;
- G: cabos unipolares espaçados ao ar livre.

4.11 Comparação entre energia eólica e energia solar

A presente seção do projeto irá falar sobre as diferenças entre as usinas solares e usinas eólicas. Ambas são energias limpas e abundantes, auxiliam na diminuição da emissão de gases do efeito estufa e possuem um custo de instalação elevado. Em decorrência da vida útil do aerogerador e dos painéis solares, o custo é recuperado em alguns anos pela economia feita na fatura de energia elétrica. (SOLAR, 2020b).

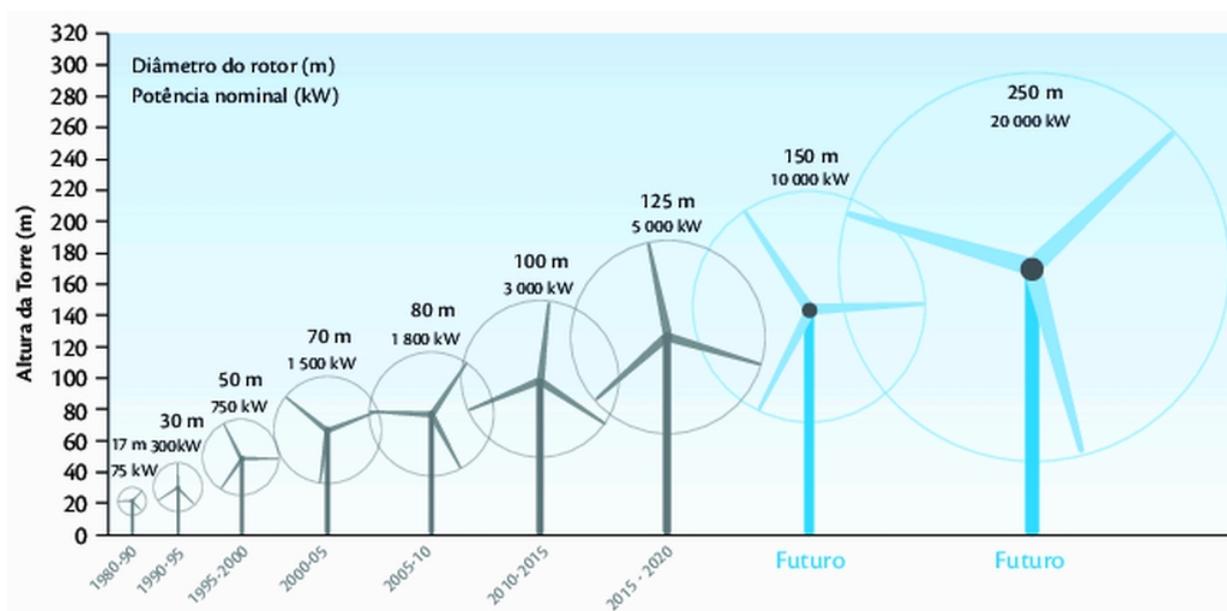
Para poucos modelos de aerogeradores há a produção direta em corrente alternada, porém nesse caso a frequência da rede, estabelecida em 60 Hz no Brasil, deve ser ajustada estruturalmente no aerogerador e para que haja a constância na frequência os ventos também precisam ser constantes. Já na modalidade fotovoltaica ou aerogeradores de corrente contínua, o inversor de frequência realiza essa conversão eletronicamente.

A energia solar possui uma grande vantagem: a facilidade de realizar manutenção no sistema. Enquanto aerogeradores necessitam de rotinas de manutenções por gerar atrito, os painéis fotovoltaicos apenas demandam a limpeza com água e sabão, pois a sujeira interfere na produção de energia.

Outra vantagem da energia gerada pelo sol é sobre a instalação do sistema de captação, onde sua estrutura pode ser fixada no telhado e as placas não precisam de grandes alturas para captar a luz. Já os aerogeradores precisam ser instalados a uma distância significativa do solo, onde a velocidade do vento é maior.

A Figura 15 mostra a evolução comercial ao longo dos anos dos aerogeradores e, quanto maior o diâmetro do rotor, maior é a capacidade do gerador de converter energia mecânica em energia elétrica (CAVALCANTI et al., 2015). Porém quanto maior as pás, mais vento é necessário para que elas se movimentem. Pode-se notar que um aerogerador com 50m, de diâmetro do rotor, produz apenas 750kWh, enquanto o equipamento de 100m produz 3000kWh, ou seja, o dobro do tamanho produz o quádruplo da penergia.

Figura 15 – Evolução comercial dos aerogeradores



Fonte: Cavalcanti et al., 2015

O maior aerogerador do mundo está instalado no centro nacional de testes de grandes turbinas eólicas da companhia Vestas, na cidade de Oesterild, na Dinamarca (ATLANTIC, 2016), com capacidade para produzir 8MWh de energia elétrica. Sua turbina fica a 140 metros de altura, o rotor possui 164 metros de diâmetro e as pás tem o comprimento de 80 metros. Já o maior equipamento de energia eólica do Brasil está localizado na cidade de Santa Vitória do Palmar, no Rio Grande do Sul, podendo produzir até 3MWh de energia elétrica com sua torre de 120 metros de altura, suas pás de 63 metros e o rotor com um diâmetro de 125 metros, Figura 16.

Uma pauta em discussão sobre os sistemas eólicos é que os aerogeradores pode levar a morte de algumas aves, nos momento em que elas estão na sua rota de migração, elas podem não identificar o aerogerador, e conseqüentemente, não desviar dele. Porém estudos demonstram que pintar uma das pás de preto pode diminuir em até 72% a taxa

Figura 16 – Maiores aerogeradores



Fonte: Atlantic, 2016

de mortalidade de aves em parques eólicos, conforme a Figura 17 (JESUS, 2020).

Figura 17 – Redução na taxa de mortalidade de aves em 72 % devido a pintura de uma das pás



Fonte: Jesus, 2020

Em Santa Catarina, o potencial eólico é muito menor que o potencial solar, uma vez que a região não conta com grandes ventos constantes mas dias ensolarados sempre se fazem presentes. No estado, o número de instalações solares cresce exponencialmente

desde o ano em que as regras de geração distribuída foram criadas, em 2012 (F., 2020).

5 PROCEDIMENTOS

O presente capítulo descreve como o projeto foi desenvolvido, apresentando os dados da propriedade para o dimensionamento dos componentes.

5.1 Carga instalada e Demanda

A carga instalada é definida como a soma das potências de todos os equipamentos da residência em kW (ANEEL, 2010). Para o cálculo da demanda a partir da carga instalada, pode-se também considerar os equipamentos que serão futuramente instalados na unidade consumidora na soma das potências. Já os equipamentos reservas não precisam entrar na conta, ou seja, aqueles só usados em caso de substituição.

A Tabela 1 a seguir apresenta os equipamentos que consomem energia elétrica na propriedade, a quantidade deles e a potência nominal de cada um.

Tabela 1 – Potência instalada

Item	Qntd	Potência Unitária [kW]
Geladeira	2	0,25
Motor água	1	0,4
Lâmpada	8	0,009
Computador	1	0,065
Tablet	1	0,04
Air Fryer	1	1,9
Chuveiro	1	5,5
Ventilador	2	0,08
Máquina lavar roupa	1	1
Frezer	1	1

A carga instalada da propriedade é de $10,256kW$, conforme a Tabela 1, caracterizando o nível de tensão da conexão como baixa tensão monofásica (CELESC, 2018). Contudo, nenhum dos equipamentos consome essa potência 24 horas por dia, alguns permanecem em estado de *stand by*, consumindo menos energia, e outros, não estão sempre conectados a rede. Por esse motivo, não é possível utilizar apenas a carga instalada para dimensionar a quantidade de energia elétrica que a propriedade utilizará em um mês, dessa forma, é necessário realizar o cálculo da demanda.

A demanda elétrica de um equipamento é a quantidade de potência que ele precisa para funcionar (RODRIGUES, 2020). Analogicamente, a demanda elétrica de uma unidade consumidora é a quantidade de potência elétrica que ela requer da rede de distribuição da concessionária local para o seu perfeito funcionamento. Segundo a CELESC (2018), a demanda mínima para uma unidade consumidora de baixa tensão é de $30kWh$, ou seja,

para uma unidade com até $75kW$ instalados, o mínimo a ser pago é o valor correspondente a essa demanda mínima. Por conta disso, se há uma propriedade que não consumiu nada, nesta categoria, ligada à rede de distribuição de energia, a fatura de energia será cobrada com base na demanda mínima.

A Figura 18 demonstra que o histórico de consumo da propriedade e pode-se observar que no ano de 2019 e em alguns meses de 2020, o consumo foi de $30kWh$ e nesse período não havia consumo na propriedade, ou seja, apesar de não haver utilização da energia elétrica na unidade consumidora a concessionária local cobrou o valor mínimo. Já no mês de agosto de 2020, segundo o proprietário do sítio, foi cobrado um consumo alto para compensar as contas atrasadas, as multas e a regularização da entrada de energia da propriedade.

O cálculo da demanda de uma unidade consumidora (ANEEL, 2010) é feito a partir do fator de carga e do fator de demanda estipulados pela concessionária de energia local.

O fator de demanda (FD), segundo a resolução nº 414 de 9 de setembro de 2010 da ANEEL, é a razão entre a demanda máxima em um intervalo de tempo especificado e a potência instalada, descrita na Equação (9). Já o fator de carga (FC) é definido entre a razão da demanda média e a demanda máxima da unidade consumidora ocorridas no mesmo intervalo de tempo, Equação (10) ou, também podemos definir o fator de carga como a razão entre a energia ativa consumida (CEA) e a energia máxima que poderia ser utilizada em um intervalo de tempo - Equação (11). Todas as equações pedem um intervalo de tempo definido, e como a cobrança da fatura de energia é feita mensalmente, o intervalo de tempo utilizado é a quantidade de horas em um mês (12).

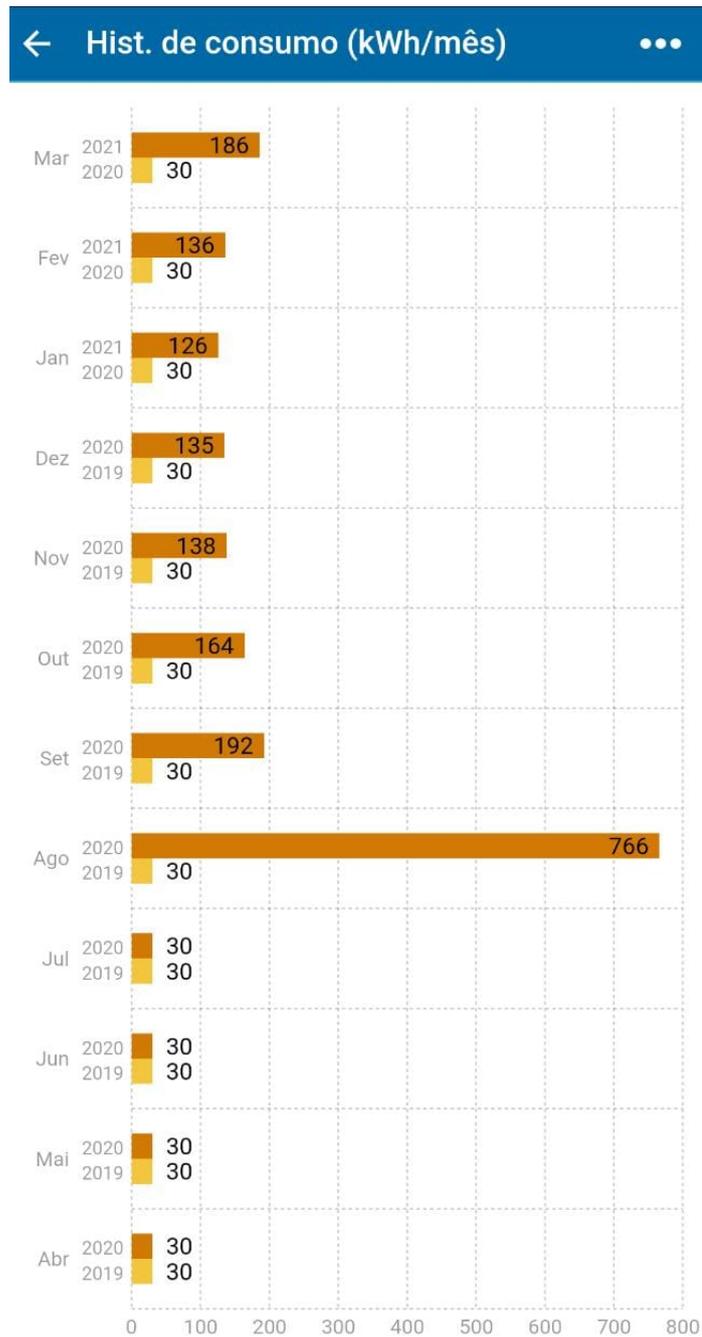
Para as equações apresentadas, considera-se:

- FC = fator de carga;
- FD = fator de demanda;
- DM = demanda máxima;
- PI = potência instalada;
- DMD = demanda média;
- CEA = consumo de energia ativa;
- NH = número de horas;
- CM = consumo mensal;
- QHM = Quantidade de horas mensais.

$$FD = \frac{DM[kW]}{PI[kW]} \quad (9)$$

$$FC = \frac{DMD[kW]}{DM[kW]} \quad (10)$$

Figura 18 – Consumo da unidade consumidora



Fonte: Do autor, 2020

$$FC = \frac{CEA[kWh]}{DM[kW] * NH[h]} \tag{11}$$

$$QHM = 30 * 24 = 720[horas] \tag{12}$$

O fator de carga e o fator de demanda são estipulados pela CELESC, na Norma Técnica N-321.0002, conforme o ramo de atividade da unidade consumidora. A propriedade

para qual o projeto está sendo projetado se enquadra em residências de baixa tensão, que possui o fator de demanda de 0,2136 e o fator de carga de 0,1335.

Com esses valores definidos, primeiro calcula-se a demanda máxima a partir do fator de demanda, conforme a Equação (13):

$$DM[kW] = PI[kW] * FD = 10,256 * 0,2136 = 2,19kW \quad (13)$$

Agora para descobrir uma estimativa do consumo mensal, é necessário encontrar a demanda média em um hora, calculado na Equação (14), a partir do fator de carga, e em seguida, multiplicar pelo número de horas mensais para estimar o valor do consumo mensal - Equação (15).

$$DMD[kWh] = FC * DM[kWh] = 0,292[kWh] \quad (14)$$

$$CM[kWh] = 0,292 * 720horas = 210,56kWh \quad (15)$$

Ao considerar o cálculo da demanda para definir o consumo mensal da unidade consumidora, o sistema de geração de energia precisaria produzir 210,56kWh em um mês. Porém, a seguir será apresentado a forma que as empresas dimensionam os sistemas de microgeração de energia.

5.2 Histórico mensal de consumo

O cálculo do consumo mensal estimado pela demanda pode se apresentar complexo e por vezes não mostrar o real consumo, por conta disso, os novos dimensionamentos das usinas de microgeração distribuída são feitos a partir do histórico de consumo da propriedade para definir uma média de consumo mensal. As empresas que fornecem o serviço de projeto e instalação de microusinas solares e eólicas utilizam a fatura de energia elétrica para acessar o histórico de consumo da propriedade e dimensionar o sistema de forma a cobrir 100% do valor calculado, sem a geração de muitos excedentes.

A Tabela 2 relaciona o consumo mensal dos últimos meses em que houve consumo no sítio em Araquari, uma vez que a propriedade começou a ser utilizada em setembro de 2020. Conforme a Tabela 2, o consumo médio mensal da propriedade é de 151kW, valor abaixo do estipulado no cálculo da demanda e, para um dimensionamento mais realista, será utilizado essa média de consumo mensal no presente projeto, visto que este valor apresenta um consumo mensal mais próximo do que realmente é consumido na unidade consumidora.

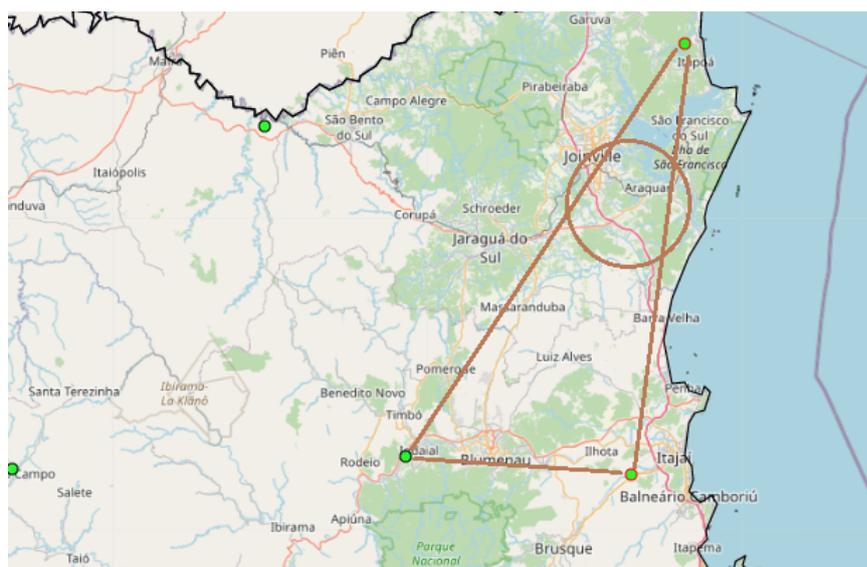
Tabela 2 – Histórico de consumo mensal

Mês	Consumo [kWh]
Setembro	192
Outubro	164
Novembro	138
Dezembro	135
Janeiro (2021)	126
Média	151

5.3 Potencial Eólico

Os dados sobre os ventos da região foram coletados do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, pelas estações meteorológicas que mais se aproximam da propriedade em Araquari. As três estações próximas ao sítio são em Itajaí, em Indaial e em Itapoá.

Figura 19 – Estações Meteorológicas INMET



Fonte: do autor, 2015

A Figura 19 mostra a posição geográfica de cada estação anteriormente citada e a triangulação que as três estações formam, no meio dela - em forma de círculo - encontra-se a cidade de Araquari. Como a estação de Itapoá é muito mais próxima que as outras duas, os dados utilizados serão desta estação, por indicação do Prof. Dr. Thiago Alves. A latitude e longitude dela são, respectivamente, $-26,081^\circ$ e $-48,642^\circ$.

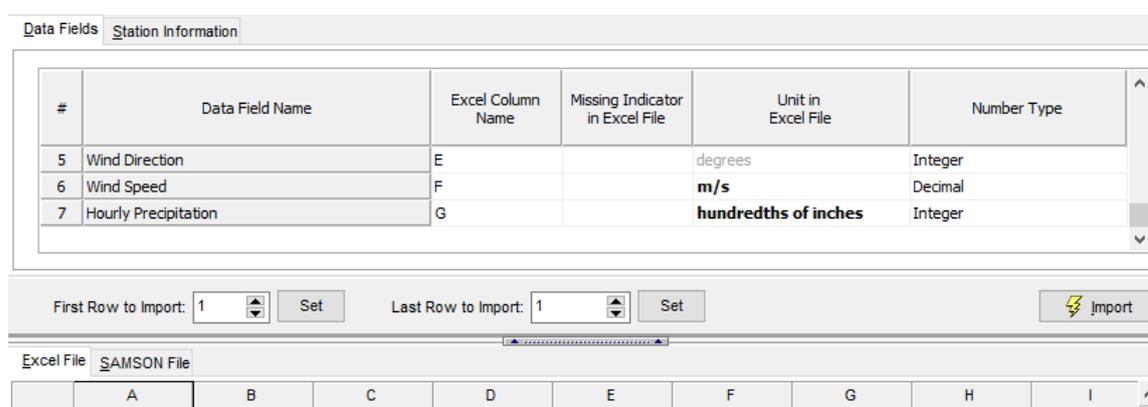
Após a coleta de dados, utiliza-se o software WRPLOT (ENVIRONMENTAL, 2018) para processar a rosa dos ventos da estação a partir do histórico disponibilizado pelo INMET. A rosa dos ventos demonstra graficamente as direções e intensidades dos ventos na região. Os dados da estação de Itapoá, solicitados ao Instituto Nacional de Meteorologia,

possuem informações horárias sobre os ventos da região no período de 01/01/2011 até 31/12/2020.

Para obter os dados pelo site do INMET, basta acessar o site e selecionar a estação ou as estações meteorológicas, selecionar o período almejado e inserir o e-mail. Os dados são recebidos no endereço de e-mail cadastrado em um arquivo com a extensão .csv.

No software WRPLOT - Figura 20 - é possível realizar a importação de um arquivo .csv manualmente, ou seja, é preciso copiar as informações do arquivo e colar no software. Para o processamento da rosa dos ventos é necessário informar: ano, mês, dia, hora, direção do vento, velocidade do vento e precipitação.

Figura 20 – WRPLOT - importação de dados



Fonte: Do autor, 2021

Como os dados do INMET possuem o dia, mês e ano na mesma coluna fez-se necessário realizar a divisão desses dados em três colunas das 87.672 linhas de informação da estação meteorológica de Itapoá. Dessa forma, foi possível copiar os dados para cada coluna do software e relacioná-los com o seu correspondente.

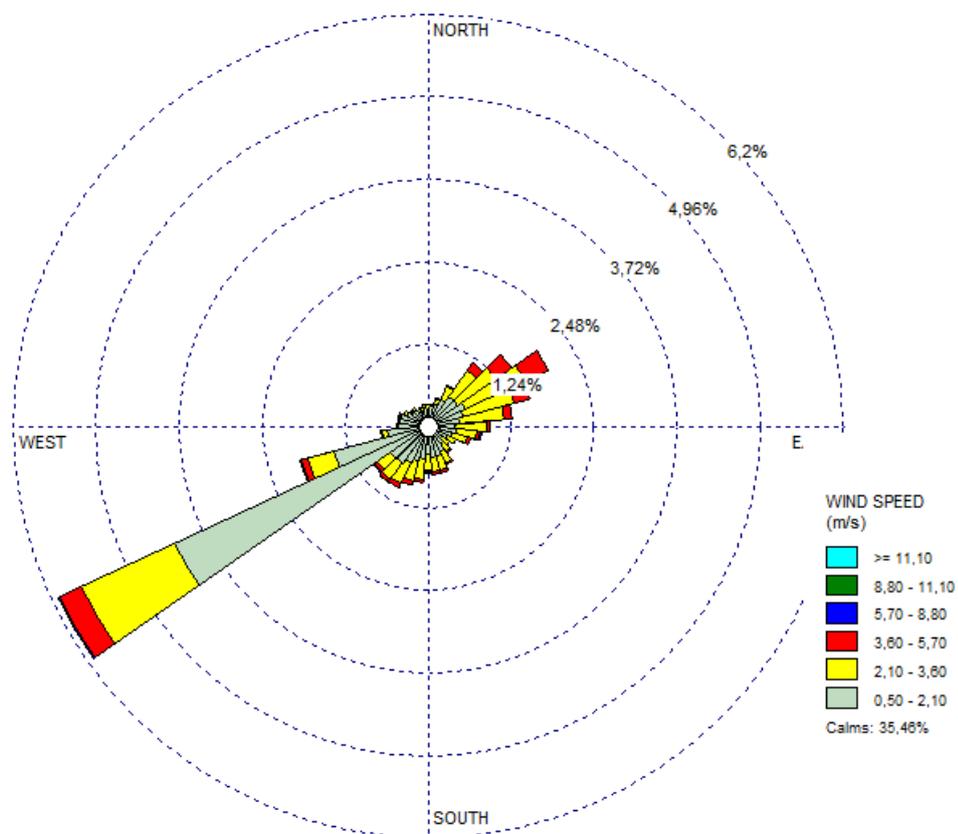
Após essa etapa, basta informar latitude e longitude da região, cidade, estado e país para que o software exporte um arquivo .sam. Com este arquivo, o próximo passo é colocá-lo em outro campo do software que o mesmo irá processar e mostrar os resultados. Um dos resultados obtidos é mostrado na Figura 21, a rosa dos ventos da região.

Ainda, é possível extrair o arquivo da rosa dos ventos para o Google Earth, onde o software mostra a direção dos ventos e suas porcentagens em cima do mapa da região, como mostra a Figura 22.

A Figura 23 mostra a frequência de distribuição da classe do vento. Enquanto neste gráfico é possível visualizar melhor as velocidades médias do vento, a rosa dos ventos já traz as informações sobre a direção do vento.

Considerando que os aerogeradores de pequeno porte possuem velocidade média de partida de $3m/s$ (ELETROVENTO, 2020), então em menos de 12,6% do tempo o aerogerador estaria gerando energia elétrica, isso de acordo com a Figura 23, e em 35,5% do tempo não há ventos na região. A velocidade média do vento é de apenas $0,9m/s$,

Figura 21 – Rosa dos ventos - Estação metereológica de Itapoá



Fonte: Do autor, 2021

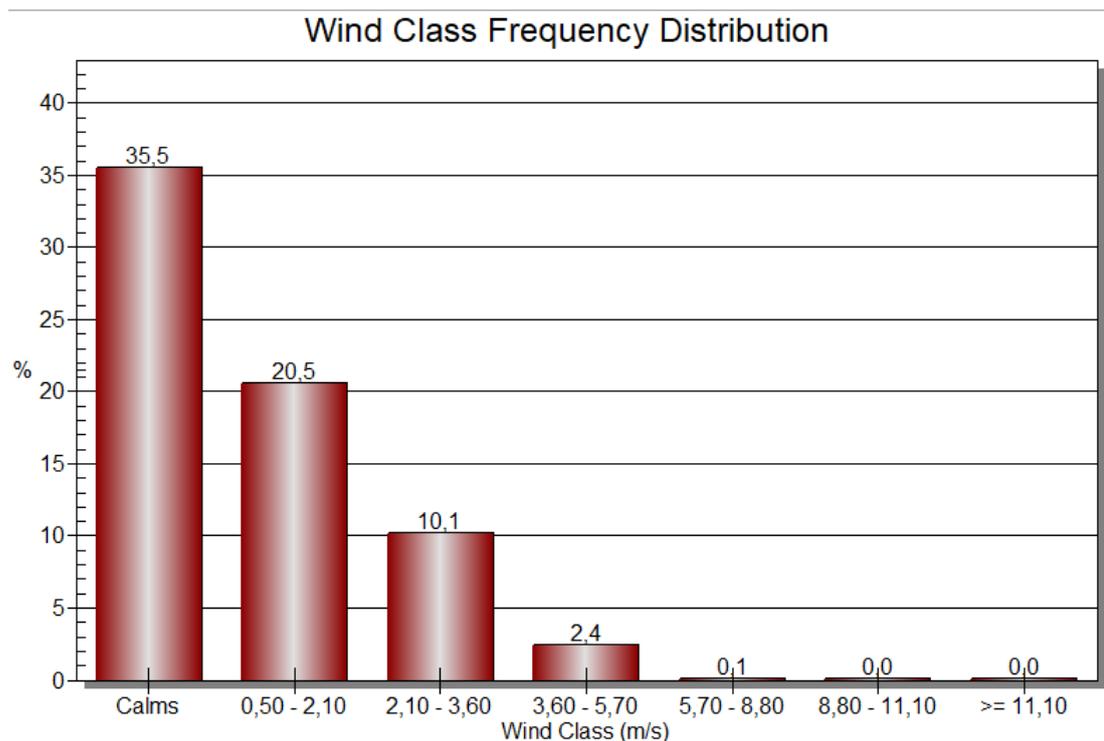
Figura 22 – Rosas dos ventos no Google Earth



Fonte: Do autor, 2021

segundo o software, considerando uma altura de 6,18m, sendo esta, uma velocidade baixa

Figura 23 – Distribuição de frequência de classe do vento



Fonte: Do autor, 2021

demais para que o aerogerador trabalhe.

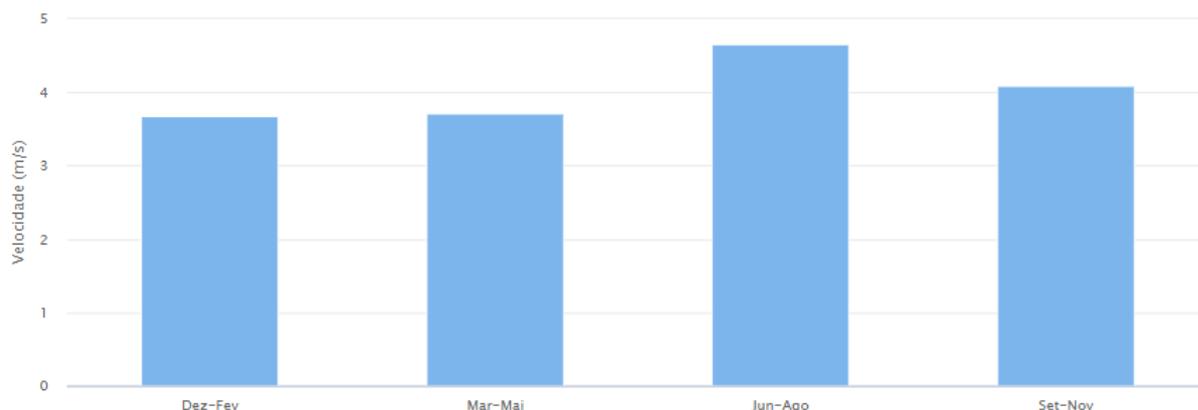
Em contrapartida, dados tirados do Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sergio de S. Brito - CRESESB - a uma altura de 50 metros, os ventos, na mesma região, tem uma velocidade média de 4,03 m/s, velocidade suficiente para que pás girem. Esses dados foram coletados apenas informando a latitude e longitude da região desejada, assim não há como saber o período em que os dados foram coletados, apesar disso, essas informações serão usadas para o dimensionamento dos aerogeradores. Como a altura de instalação será de 50 metros e, na região onde está localizada a propriedade, não há obstáculos ao vento neste patamar, o relevo do terreno se torna irrelevante.

A Figura 24 mostra a velocidade média de acordo com as estações do ano, nota-se que a estação com ventos mais fortes é o inverno. Visto isso, desde que instalados a 50 metros de altura, é possível produzir energia através de um sistema de geração eólica. Além disso, em todas as épocas do ano é possível produzir energia a partir do vento nesta altura, porém, uma produção em menor escala.

Com base na Figura 24, pode-se dizer que a velocidade média do vento, para cada estação é:

- Verão: 3,6m/s;
- Outono: 3,7m/s;
- Inverno: 4,6m/s;
- Primavera: 4,1m/s;

Figura 24 – Velocidade média sazonal do vento a 50m de altura



Fonte: CRESEBS, 2021

5.4 Aeroerador

O primeiro passo para definir o tipo de aerogerador e suas características técnicas é analisar a velocidade do vento média mensal e por estação do ano, a fim de identificar os meses em que a produção pode ser maior com a finalidade de compensar meses com baixas produções.

As principais características do aerogerador são: faixa de velocidade de operação, velocidade do vento de partida, velocidade nominal e a potência nominal. Com as características acima, é possível estipular a produção mensal de energia com base na velocidade média do vento no local da instalação.

A velocidade média do vento ficou em torno de 4,03 m/s à 50 metros de altura e nessa velocidade, há dois modelos de aerogeradores que podem ser utilizados para esta aplicação.

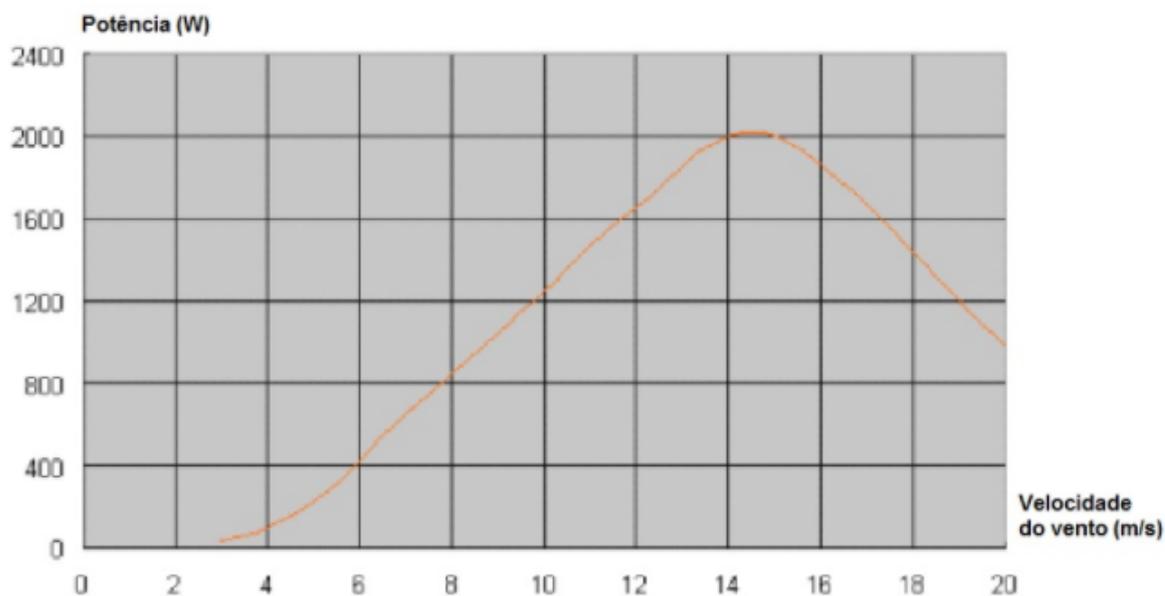
O primeiro é o aerogerador de 1000W da Eletrovento, modelo ELV-H3.1 (ELETROVENTO, 2020). Contudo, para a produção da potência nominal é necessário uma velocidade média do vento de 9 m/s, como não é o caso, é preciso analisar a curva de potência do equipamento, mostrada na Figura 25.

Na Figura 25, com a velocidade média de cada estação do ano, é possível extrair a produção de energia do aerogerador, definido como (PA), e calcular a produção mensal (PM) do aerogerador a partir da equação (16), se definirmos o mês com 30 dias e o dia com 24 horas.

$$PM[kWH] = 30 * 24 * PA \quad (16)$$

Para cada estação do ano, com a velocidade já informada na Figura 24, temos a produção aproximada de:

Figura 25 – Curva de potência - ELV-H3.1



Fonte: Eletrovento, 2021

- Verão: 50W;
- Outono: 70W;
- Inverno: 250W;
- Primavera: 170W;

Aplicando na equação (16) cada potência acima, temos a produção média mensal por estação do ano:

Tabela 3 – Produção mensal por estação do ano - ELV-H3.1

Estação do ano	Produção média mensal [kWh]
Verão	36,0
Outono	50,4
Inverno	180,0
Primavera	122,4

A seguir, são apresentados mais alguns dados do aerogerador da Eletrovento modelo ELV-H3.1.

- Potência nominal: 1000W;
- Número de pás: 3;
- Tensão de saída: 48V;
- Material das pás: fibra de vidro reforçada;
- Diâmetro das pás: 3,1metros;
- Velocidade de partida: 3m/s;

- Velocidade nominal: $9m/s$;
- Faixa de velocidade de operação: $3 - 25m/s$;
- Rotação nominal das pás: $500RPM$;
- Modo de controle de velocidade: Yawing e Freio Eletromagnético;
- Frenagem: Furling Mecânico e Eletromagnética;
- Coeficiente de Performance (C_p) : $0,45$;
- Peso no Topo da Torre: $60kg$;

O outro aerogerador, também da marca Eletrovento, modelo ELV-H2.7 – 500 W, tem as seguintes características:

- Potência máxima: $500W$;
- Número de pás: 3;
- Tensão de saída: $24V$;
- Material das pás: fibra de vidro reforçada;
- Diâmetro das pás: $2,7metros$;
- Velocidade de partida: $3m/s$;
- Velocidade nominal: $7m/s$;
- Faixa de velocidade de operação: $3 - 25m/s$;
- Rotação nominal das pás: $600RPM$;
- Modo de controle de velocidade: Yawing e Freio Eletromagnético;
- Frenagem: Furling Mecânico e Eletromagnética;
- Coeficiente de Performance (C_p) : $0,48$;
- Peso no Topo da Torre: $35kg$;

A Figura 26 apresenta, na mesma configuração que o modelo anterior de aerogerador, a curva de potência desse equipamento, onde se pode estimar a produção do aerogerador com base na velocidade do vento.

Da mesma forma que o modelo anterior, define-se a produção para cada estação do ano desse equipamento e também a produção média mensal, Tabela 4.

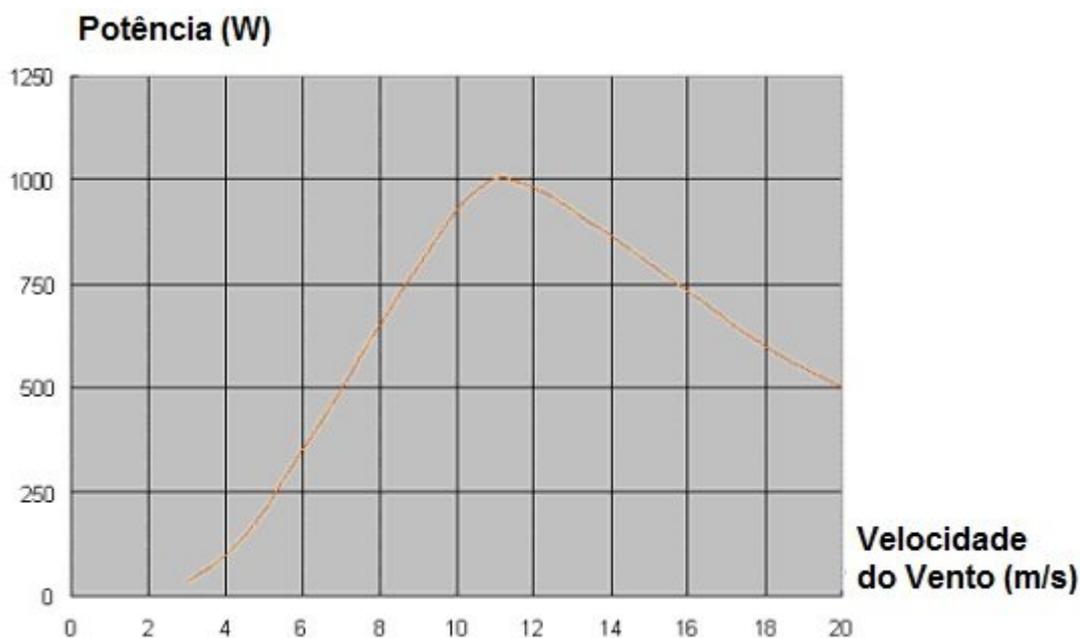
- Verão: $70W$;
- Outono: $90W$;
- Inverno: $140W$;
- Primavera: $100W$;

Tabela 4 – Produção mensal por estação do ano - ELV-H2.7

Estação do ano	Produção média mensal [kWh]
Verão	50,4
Outono	64,8
Inverno	100,8
Primavera	72,0

No primeiro aerogerador, apenas em uma estação do ano, no inverno, o aerogerador

Figura 26 – Curva de potência - ELV-H2.7



Fonte: Eletrovento, 2021

iria produzir o suficiente para o consumo médio mensal da propriedade, de $151kWh$, e sobraria um excedente. Porém, essa sobra não é o suficiente para compensar a falta de produção de energia elétrica dos outros meses. Já no segundo caso, em nenhuma das estações a velocidade média do vento é suficiente para produzir a energia consumida na propriedade.

Por conta disso, fez-se o cálculo com dois equipamentos de cada modelo, a Tabela 5 e 6 mostram a produção mensal nesta condição.

Tabela 5 – Produção mensal por estação do ano com dois aerogeradores - ELV-H3.1

Estação do ano	Produção média mensal [kWh]
Verão	72,0
Outono	100,8
Inverno	360,0
Primavera	244,8

Tabela 6 – Produção mensal por estação do ano com dois aerogeradores - ELV-H2.7

Estação do ano	Produção média mensal [kWh]
Verão	100,8
Outono	129,6
Inverno	201,6
Primavera	144,0

Com base nas informações apresentadas nas duas tabelas acima e considerando que a propriedade tem um consumo médio mensal de $151kW$, fica claro que são necessário dois aerogeradores para suprir a necessidade da unidade consumidora. Para efeito de comparação, definiu-se a produção média mensal para cada caso, ou seja, para cada dupla de aerogeradores.

Considerando a média mensal de consumo da propriedade como $151kW$, então o consumo anual é de $1.812kW$. No primeiro caso, com dois equipamentos do modelo ELV-H3.1, a produção anual é de $2.332,8kW$ e para segundo caso, com os aerogeradores do modelo ELV-H2.7 a produção é de $1.728kW$.

Na dupla com potência nominal de $1kW$ há uma produção anual excedente, que poderia ser aproveitada por outros equipamentos que podem ser futuramente colocados na propriedade. Porém, apesar de haver excedente na produção anual, a fatura de energia elétrica nem sempre virá apenas com os impostos, pois em meses, como no verão, que a produção do aerogerador é mais baixa, a unidade consumidora iria utilizar os créditos provenientes dos meses de maior produção e como já mencionado aqui, o preço pago pela energia consumida da rede local é maior do que o valor da energia injetada na rede. Esses créditos seriam utilizados no verão e no outono, conforme já mostrado na Figura 9.

Já no segundo caso a produção anual de energia é menor do que a potência consumida anualmente pela propriedade, nesse caso, apenas no inverno há a geração de créditos para consumo posterior. Contudo, neste caso, as faturas de energia no verão, outono e primavera viriam maior do que as faturas dessa mesma estação quando comparadas ao primeiro caso, pois nesse último o excedente do inverno não supre o que falta nos outros meses.

5.5 Sistema de proteção

A concessionária de energia de Santa Catarina determina uma série de regras para o sistema de proteção de uma microssistema, entre eles podemos citar que, se ocorrer o interrompimento do serviço da distribuidora, o sistema deve ser desligado em até dois segundos, a fim de não operar isoladamente e injetar na rede corrente elétrica.

Algumas das regras incluem (CELESC, 2018): o acessante é responsável por todas as manutenções dos equipamentos da propriedade e pela sincronização do gerador com o sistema elétrico, ainda, a concessionária se reserva no direito de vistoriar a qualquer momento os equipamentos.

Já os inversores de frequência utilizados devem ter as especificações da Figura 27, tabela retirada da Resolução Normativa da ANEEL nº414 de 2010, que demonstra os parâmetros de proteção ANSI, criados visando padronizar o código de proteção. O parâmetro está entre parênteses na primeira coluna da tabela e está relacionado com possíveis situações do sistema.

Os códigos significam (ETL, 2020):

Figura 27 – Parâmetros das funções de proteção dos inversores de frequência

Função	Parametrização (Referência)
Subtensão (27)	0,8 pu (0,4 s)
Sobretensão (59)	1,1 pu (0,2 s)
Subfrequência (81U)	57,5 Hz (0,2s)
Sobrefrequência (81O)	62,0 Hz (0,2 s)
Sobrecorrente (50/51)	Conforme padrão de entrada
Sincronismo (25)	10° 10 % tensão 0,3 Hz
Anti-ilhamento (78)	Ativa

Fonte: CELESC, 2018

- 27: Relé de subtensão;
- 59: Relé de sobretensão;
- 81U: Relé de subfrequência;
- 81O: Relé de sobrefrequência;
- 50/51: Relé de sobrecorrente instantâneo/ Relé de sobrecorrente temporizado;
- 25: Relé de verificação de sincronismo ou sincronização;
- 78: Relé de medição de ângulo de fase;

Ou seja, todos os parâmetros ANSI determinam um tipo de proteção para uma possível situação a partir de um relé, já que este dispositivo é um equipamento que tem a capacidade de realizar modificações súbitas no sistema a partir de parâmetros predeterminados, que estão listados na segunda coluna da Figura 27. Além de estabelecer o parâmetro, a tabela também traz o tempo máximo que o circuito pode ficar operando naquela situação, por exemplo, no caso de subtensão é permitido no máximo 0,8 pu (sistema por unidade) de subtensão por 0,4 segundos.

5.6 Dimensionamentos

A seção a seguir apresenta o dimensionamento dos condutores de energia e o inversor de frequência que devem ser utilizados na implantação desse projeto.

5.6.1 Condutores

Com dois aerogeradores do modelo ELV-H3.1, a máxima produção é de 250W por aerogerador e já no segundo caso, para dois equipamentos do modelo ELV-H2.7 a maior produção é de 140W. A tensão nos dois casos é 220V, valor utilizado pela rede de distribuição de energia. Para o primeiro conjunto de aerogeradores serão utilizado dois valores de corrente elétrica, a corrente produzida (I_a) por apenas aerogerador - Equação

(17) e a corrente (I_{total}) produzida pelos dois equipamentos juntos - Equação (18), assim temos:

$$I_a[A] = \frac{250[W]}{220[V] * 0,92} = 1,24A \quad (17)$$

$$I_{total}[A] = 2 * I_a[A] = 2,48A \quad (18)$$

Já no segundo conjunto de aerogeradores, temos a Equação (19) para a corrente elétrica (I_b) produzida por um aerogerador do modelo ELV-H2.7 e a Equação (20) para a corrente (I_{total}) dos dois equipamentos desse modelo:

$$I_b[A] = \frac{140[W]}{220[V] * 0,92} = 0,69A \quad (19)$$

$$I_{total}[A] = 2 * I_b[A] = 1,38A \quad (20)$$

Contudo o aerogerador ELV-H3.1, tem a potência nominal dele em 1 kW, por conta disso, apesar de não haver evidências que o aerogerador chegue a produzir isso, é necessário calcular a corrente elétrica (I_c) a partir da potência nominal como forma de prevenção para o dimensionamento dos dispositivos de proteção e também a soma das correntes produzidas pelos dois equipamentos (I_{total}).

$$I_c[A] = \frac{1000[W]}{220[V] * 0,92} = 4,94A \quad (21)$$

$$I_{total}[A] = 2 * I_c[A] = 9,88A \quad (22)$$

Da mesma forma, tem-se a corrente elétrica nominal (I_d) do aerogerador ELV-H2.7 e a corrente nominal total (I_{total}) gerada pelos dois equipamentos.

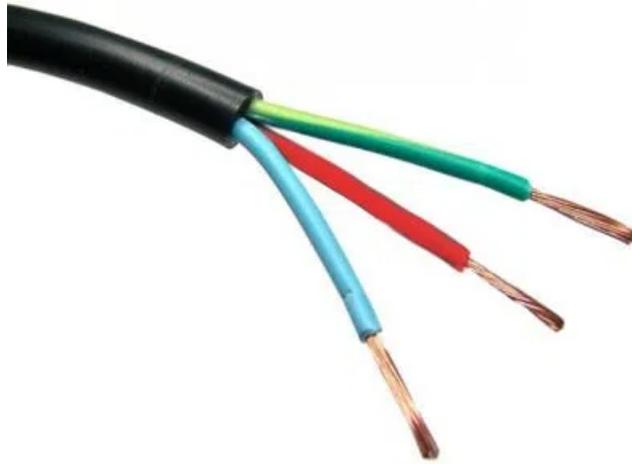
$$I_d[A] = \frac{500[W]}{220[V] * 0,92} = 2,47A \quad (23)$$

$$I_{total}[A] = 2 * I_d[A] = 4,94A \quad (24)$$

Neste projeto, por se tratar de um projeto para o ambiente externo, o cabo a ser utilizado é o Cabo PP que possui esse nome por possuir duas camadas de PVC - Figura 28, garante mais segurança em aplicações em ambientes externos por possuir dupla proteção (ELÉTRICA, 2020).

Esse tipo de cabo descrito se enquadra na referência D, pois ele será enterrado diretamente no solo. Ainda conforme a NBR 5410, o condutor precisa ser enterrado a uma profundidade de $0,7m$ e a mínima seção permitida para o condutor nessas condições é de $2,5mm^2$

Figura 28 – Cabo PP



Fonte: Ensinando Elétrica, 2020

Para o dimensionamento do cabo, será utilizado a corrente nominal dos dois casos, ou seja, no primeiro caso com dois aerogeradores do modelo ELV-H3.1 e no segundo com dois aerogeradores do modelo ELV-H2.7. Para tal utilizamos a tabela da Figura 29 na coluna de dois condutores carregados e referência D.

Notamos, destacado na Figura 29, que a mínima seção permitida, de $2,5\text{mm}^2$ pode conter uma corrente elétrica de até 29A , suficiente para todas as correntes até aqui calculadas. Dessa forma, os dois projetos utilizarão o cabo PP, enterrado a uma profundidade de $0,7\text{m}$, com seção transversal do condutor de $2,5\text{mm}^2$.

Já no lado de corrente contínua, conforme a Equação (8), no primeiro caso temos, de acordo com a equação (8), a soma de potências de 2000W , sendo que a tensão de saída dos aerogeradores, modelo ELV-H3.1, é de 48V .

$$I_{cc1}[\text{A}] = \frac{2000[\text{W}]}{48[\text{V}]} = 41,66\text{A} \quad (25)$$

Para o segundo caso, a soma da potência dos dois aerogeradores modelo ELV-H2.7 é de 1000W e com uma tensão de saída de 24V , a corrente contínua nessa situação é - Equação (26):

$$I_{cc2}[\text{A}] = \frac{1000[\text{W}]}{24[\text{V}]} = 41,66\text{A} \quad (26)$$

Em ambos os casos a corrente contínua possui o mesmo valor e considerando que antes do inversor de frequência também será utilizado o Cabo PP, a seção do cabo, de acordo com a Figura 29, é de 6mm .

Figura 29 – Seção transversal dos cabos

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577
1 000	767	679	698	618	1 012	906	827	738	1 125	996	792	652

Fonte: NBR 5140, 2004

5.6.2 Disjuntores

A partir do valor da corrente nominal calculada, de 4,94A para um caso e de 9,88A para outro, será dimensionado o disjuntor que ficará após o inversor de frequência. De acordo com a NBR 5410, a corrente nominal do disjuntor tem que respeitar a característica apresentada na Equação (27):

$$I_n < I_d < I_m \tag{27}$$

Onde:

- I_n = corrente nominal do circuito, $I_{d1} = 9,88A$ e $I_{d2} = 4,94A$;
- I_d = corrente nominal do disjuntor;
- I_m = corrente máxima do condutor $I_m = 29A$;

Sendo assim, o disjuntor escolhido precisa ter uma corrente nominal de no mínimo 9,88A e no máximo 29A. Visto isso, para os dois projetos pode ser usado apenas um disjuntor de 16A após o inversor de frequência, como o disjuntor apresentado na Figura 30 da marca Steck e curva C.

O outro disjuntor que estará no projeto é o último equipamento antes do ligamento com a rede de distribuição de energia com a concessionária, isto é, o disjuntor externo da

Figura 30 – Disjuntor 16A



Fonte: Steck, 2004

propriedade. De acordo com a Norma NBR 5410, esse equipamento possui uma corrente mais alta, de uns 40A, como o equipamento mostrado na Figura 31.

Figura 31 – Disjuntor 40A



Fonte: Steck, 2004

5.6.3 Dispositivo de proteção contra surto

O Dispositivo de Proteção contra Surtos - DPS - são dispositivos que detectam sobretensões transitórias na rede elétrica para desviar as correntes de surto (CAMPLER, 2016). O surto elétrico, mas comum do que muitos imaginam, caracterizam-se por uma grande variação da corrente, tensão ou potência em um pequeno período de tempo.

Os surtos podem ser causados por descargas atmosféricas, manobras da rede e quando grandes motores são ligados ou desligados. Essas alterações podem diminuir a vida útil dos equipamentos conectados a rede, podendo levar até mesmo a queima deles.

A primeiro passo é definir a tensão máxima de funcionamento do DPS, por definição, quando a rede é de 220V a tensão máxima é de 275VCA (tensão em corrente

alternada). O próximo passo é definir a corrente máxima de descarga, esta é sempre maior do que a corrente nominal do projeto.

A norma 5410 de 2004 afirma que para áreas rurais o recomendado é utilizar DPS com corrente máxima de descarga igual ou superior a $60kA$. Ainda, a norma define classes dos dispositivos de proteção, elas identificam o teste que o dispositivo foi submetido e onde deve ser instalado. Como o DPS, neste projeto, será instalado próximo ao quadro geral, então deve-se utilizar um dispositivo da Classe I.

Figura 32 – Dispositivo de Proteção Contra Surtos



Fonte: Steck, 2004

O DPS escolhido é encontrado na Figura 32, da marca Camplere, com as seguintes características:

- Classe I/II;
- Máxima corrente de surto a $8/20 \mu s$: $60kA$;
- Corrente nominal a $8/20 \mu s$: $30kA$;
- Máxima tensão de operação contínua: $275Vac/350Vdc$;
- Corrente de impulso a $10/350 \mu s$: $12,5kA$;
- Nível de proteção (U_p): $< 1,3kV$.

5.6.4 Inversor de frequência

O inversor de frequência é o equipamento responsável por converter corrente contínua em corrente alternada, seguindo as proteções ANSI da seção 5.5. No primeiro caso temos dois aerogeradores com a potência nominal de $1000W$ com a produção máxima, dos dois equipamentos, segundo os dados já mostrados, de $360kW$. Já no segundo caso, os dois aerogeradores podem chegar a produzir $201,6kW$ juntos, ainda os inversores de frequência podem aguentar até 30% a mais da sua potência nominal. Dessa forma, o

melhor inversor de frequência on grid para os dois caso é da Figura 33 com as seguintes características.

- Tensão de entrada: Até 500VCC;
- Tensão de nominal de saída: 230V(180V – 280V);
- Potência: 1500W;
- Fabricante: Growatt;
- Frequência nominal: 60Hz;
- Corrente DC máxima: 13A;
- Corrente máxima de saída: 7,5A; Valor: aproximadamente R\$3.000,00.

Figura 33 – Inversor de frequência



Fonte: Growatt, 2021

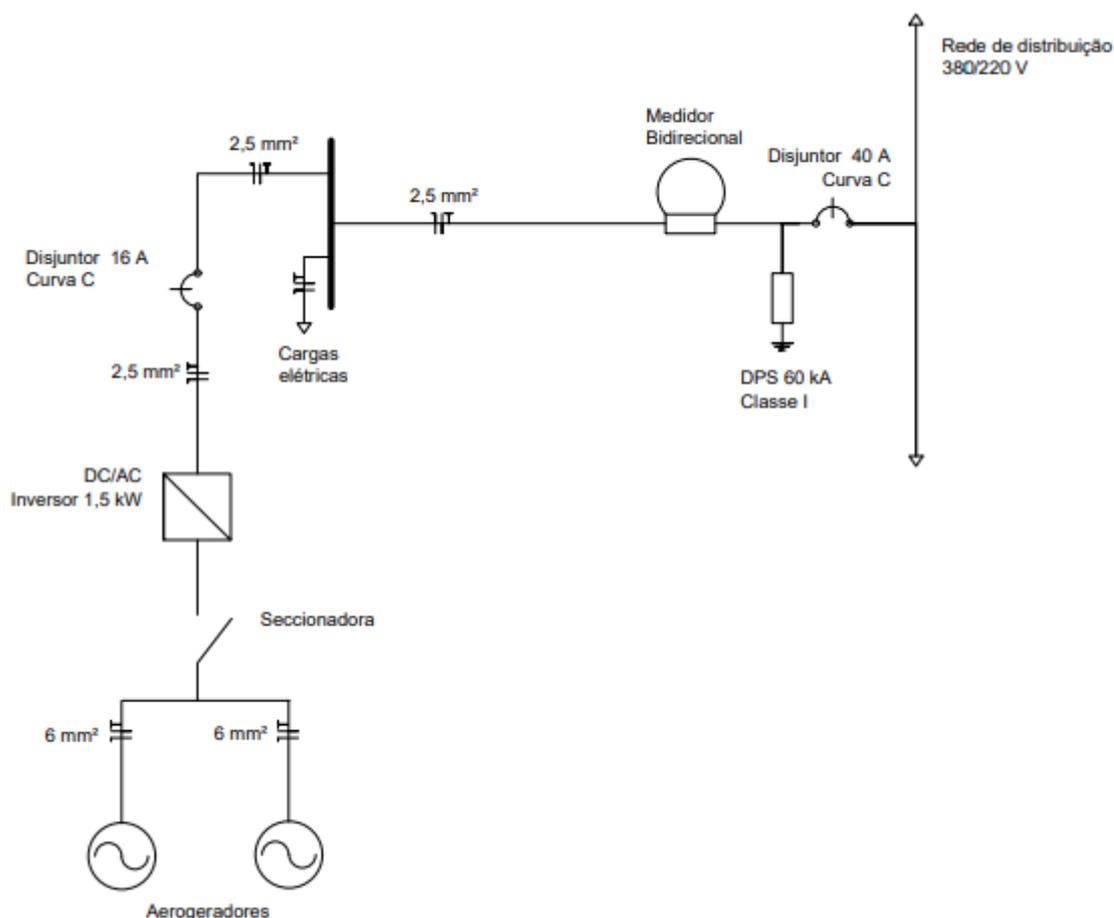
5.7 Projeto elétrico

O projeto elétrico da microusinha de geração eólica em Araquari foi construído utilizando o software AutoCAD em 2D. Nele há todo o dimensionamento dos aerogeradores e do circuito de proteção por meio do diagrama unifilar - Figura 34.

Os componentes presentes no projeto da microusinha são:

- Aerogerador;
- Inversor de frequência;
- Sistema de proteção;
- Medidor;
- DPS - Dispositivo de proteção contra surtos;
- Disjuntores;
- Condutores.

Figura 34 – Esquema Unifilar



Fonte: do autor, 2021

5.8 Economia anual

A seção irá apresentar a economia máxima que os aerogeradores instalados a propriedade podem trazer a unidade consumidora em Araquari. Da mesma forma que nas outras análises, será apresentado primeiro a economia máxima de dois aerogeradores modelo ELV-H3.1 podem trazer ao consumidor, considerando a produção, descrita na seção 5.4, de cada aerogerador por mês do ano. Da mesma forma, posteriormente a mesma análise será realizada com dois aerogeradores modelo ELV-H2.7.

A Tabela 7, a seguir, apresenta a economia estimada por mês com a fatura de energia elétrica da unidade consumidora. Conforme a tabela, os dois equipamentos, modelo ELV-H3.1, podem levar à uma economia de até R\$1.500,26 por ano.

A economia, que pode ser gerada por dois aerogeradores modelo ELV-H2.7, pode chegar a R\$1.051,68 por ano, conforme a Tabela 8 a seguir.

Os valores apresentados dizem respeito a economia máxima desses equipamentos gerando energia a partir dos dados da velocidade do vento da região. Contudo, é realmente difícil alcançar esses valores, pois, como já vimos neste trabalho, o valor da energia injetada

Tabela 7 – Economia mensal - Modelo ELV-H3.1

Mês	Produção [kWh]	Valor [R\$]
Janeiro	72	43,20
Fevereiro	72	43,20
Março	72	43,20
Abril	100,8	60,48
Maio	100,8	60,48
Junho	100,8	60,48
Julho	360	239,10
Agosto	360	239,10
Setembro	360	239,10
Outubro	244,8	157,31
Novembro	244,8	157,31
Dezembro	244,8	157,31

Tabela 8 – Economia mensal - Modelo ELV-H2.7

Mês	Produção [kWh]	Valor [R\$]
Janeiro	100,8	60,48
Fevereiro	100,8	60,48
Março	100,8	60,48
Abril	129,6	77,76
Maio	129,6	77,76
Junho	129,6	77,76
Julho	201,6	125,92
Agosto	201,6	125,92
Setembro	201,6	125,92
Outubro	144	86,40
Novembro	144	86,40
Dezembro	144	86,40

é inferior ao da energia consumida. Por mais que o aerogerador produza a quantidade igual ou superior ao consumido pela propriedade, haverá momento em que não haverá produção de energia elétrica e a unidade consumidora irá consumir da rede e utilizar o sistema de compensação e neste sistema, a compensação não tem o mesmo valor.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o projeto de uma microusina de geração eólica, para uma propriedade na cidade de Araqueari/SC. A escolha por essa fonte primária foi de responsabilidade do proprietário do sítio.

Tanto usinas solares quanto eólicas utilizam recursos naturais para a produção de energia, portanto, a definição de qual fonte primária utilizar para a geração da própria energia se dá pelo estudo do ambiente no qual a usina será instalada. No Brasil, os melhores lugares para se instalar usinas eólicas são o Nordeste, no Rio Grande do Sul e em alguns lugares de Santa Catarina, mas não na cidade de Araquari.

Os estudos demonstram que um aerogerador na propriedade não iria produzir energia suficiente a uma altitude de 6 metros pois o vento a essa altura não é constante e não possui velocidades suficientes para fazer as pás girarem, em decorrência disso o equipamento precisaria ser instalado a uma altitude de 50 metros, nessa altura ficam instalados aerogeradores que produzem cerca de 0,5MW, como em Água Doce, município mais a oeste do estado de Santa Catarina (DOCE, 2020).

Além da altura em que o equipamento precisaria ser instalado, é necessário utilizar dois equipamentos para suprir a demanda da unidade consumidora uma vez que apenas um equipamento, em decorrência da velocidade do vento a 50 metros de altitude, produziria, na maior parte do tempo, menos que um quarto da potência nominal do aerogerador.

Levando em contas esses fatores a instalação de uma microusina de geração eólica no local é possível mas se mostra financeiramente inviável, apesar do trabalho não apresentar os custos para a instalação do projeto, utilizar dois equipamentos para produzir menos do que um quarto de sua capacidade não é recomendável.

6.1 Considerações Finais

A principal dificuldade no presente projeto foi encontrar o aerogerador ideal para a aplicação, uma vez que se trata de uma microusina e as maiores empresas do setor, principalmente no mercado brasileiro, não produzem aerogeradores de tal porte para aplicações residenciais, diferente da energia solar que é um ramo em expansão no Brasil e cada vez há mais empresas focando em atender pequenos consumidores.

Este fato se acentuou com a pandemia de Covid-19, que interveio nas relações comerciais do mundo e algumas empresas pararam de importar aerogeradores produzidos em outros países. Além disso, a alta do dólar também influenciou na pausa dessas importações, pois a energia solar estaria suprimindo a necessidade das instalações de mini e microgeração de energia por fontes renováveis e neste caso, o equipamento é produzido dentro do território brasileiro, facilitando transportes, negociações e sendo financeiramente mais viável. Em

consequência disso, o presente trabalho não apresentou a análise financeira por não conseguir valores reais dos equipamentos.

Referências

- ABEEÓLICA. Potencial eólico brasileiro. 2018. Citado na página 1.
- ASSOCIATION, W. W. E. Capacidade eólica mundial de 650,8 gw, crise da corona desacelerará os mercados em 2020, e as energias renováveis serão o núcleo dos programas de estímulo econômico, publisher=WWEA. 2020. Citado na página 4.
- ATLANTIC. Atlantic instala aerogeradores mais potentes do brasil em santa vitória do palmar. 2016. Citado na página 19.
- CAMPLER. O que é dps? conheça os dispositivos de proteção contra surtos e como eles protegem seus equipamentos contra queimas causadas por raios. 2016. Citado na página 39.
- CASTILHO, F. A.; SOARES, F. M. Geração distribuída versus centralizada. IPV, 2008. Citado na página 6.
- CASTRO, R. M. Introdução À energia eólica. Universidade Técnica de Lisboa, 2006. Citado na página 1.
- CAVALCANTI, C. Z. B. et al. Programa demonstrativo para inovação em cadeia produtiva selecionada - energia eólica. 2015. Citado na página 19.
- CELESC. Requisitos para a conexão de micro ou minigeradores de energia ao sistema elétrico da celesc distribuição. Celesc, 2018. Citado 4 vezes nas páginas 10, 17, 22 e 34.
- CEPEL. Atlas eólico brasileiro. CRESESB, 2001. Citado na página 12.
- CEPEL. Atlas do potencial eólico brasileiro. 2013. Citado na página 1.
- CRESESB. O recurso eólico. CRESESB, 2008. Citado na página 12.
- DIAS, M. V. X.; BOROTNI, E. d. C.; HADDAD, J. Geração distribuída no brasil: oportunidades e barreiras. SBPE, 2005. Citado na página 6.
- DOCE, P. de Turismo de Água. Complexo eólico de Água doce. 2020. Citado na página 44.
- ELETROVENTO. Modelo elv-h3.1 - 1 kw. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 30.
- ELÉTRICA, E. O que é e quando utilizar um cabo pp. 2020. Citado na página 36.
- ENVIRONMENTAL, L. Wrplot view™ - freeware. Lakes Environmental, 2018. Citado na página 26.
- ETL. Tabela de função ansi. ETL, 2020. Citado na página 34.
- F., R. Energia solar em santa catarina: Guia para quem quer instalar ou fazer dinheiro com placas solares. BlueSol, 2020. Citado na página 21.
- FAPESP. Ventos promissores a caminho. 2019. Citado na página 1.

- FERREIRA, M. Lei de ohm. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2015. Citado na página 18.
- FONTENELE, A. O. A. et al. Telha que gera eletricidade através da energia eólica. IFCE, 2016. Citado na página 15.
- GROTH, J. A. Usina de geração fotovoltaica. UFRGS, 2013. Citado na página 17.
- JESUS, F. Pintar pás de preto reduziu taxa de mortalidade de aves em 72 %. 2020. Citado na página 20.
- LIMA, T. N. d. A. e. Projeto de um protótipo de uma turbina eólica de eixo horizontal. UFRJ, 2018. Citado na página 15.
- MARQUES, J. Turbinas eólicas: modelo, análise e controle do gerador de indução com dupla alimentação, publisher=UFSM. 2004. Citado 3 vezes nas páginas 12, 14 e 16.
- MARTINS, F.; GUARNIERI, R.; PEREIRA, E. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Scielo**, Revista Brasileira de Ensino de Física, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 4.
- MATTEDE, H. Fator de potência – o que é e como calcular. Mundo da elétrica, 2020. Citado na página 17.
- MORAES, G. L. Projeto aerodinâmico de pás de uma turbina eólica. UFERSA, 2015. Citado na página 15.
- MULLER, M. d. N. Projeto de um protótipo de uma turbina eólica de eixo horizontal, publisher=UFRJ. 2015. Citado na página 16.
- NETO, L. G.; MASSA, A.; FLORIAN, F. Estudo do sistema fotovoltaico on-grid e off-grid, publisher=Universidade de Araraquara. 2019. Citado na página 7.
- RODRIGUES, S. Como gerenciar a demanda contratada de energia? Way2, 2020. Citado na página 22.
- SIGA. Matriz energética brasileira, publisher=ANEEL. 2020. Citado na página 5.
- SILVA, E. R. R. G. d. Projeto de um protótipo de uma turbina eólica de eixo horizontal, publisher=UFRJ. 2014. Citado na página 14.
- SIMAS, M.; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Scielo**, USP, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 4.
- SOLAR, P. Comissão aprova incentivo à energia renovável em política nacional de irrigação. 2020. Citado na página 2.
- SOLAR, P. Energia solar x energia eólica: Preços e vantagens. 2020. Citado na página 18.
- SOUZA, E. O. D.; RODRIGUES, S. G. Princípio de funcionamento de motores e geradores de energia, publisher=UNIRV. 2016. Citado na página 12.