

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

EDUARDO STEFFENS

**PROJETO E ANÁLISE FINANCEIRA DE MICROGERAÇÃO SOLAR
FOTOVOLTAICA E EÓLICA NO CAMPUS UCS DE VACARIA**

**CAXIAS DO SUL,
2020**

EDUARDO STEFFENS

**PROJETO E ANÁLISE FINANCEIRA DE MICROGERAÇÃO SOLAR
FOTOVOLTAICA E EÓLICA NO CAMPUS UCS DE VACARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica, à Universidade de
Caxias do Sul.

Orientadora: Prof^a. M.Sc Andréa
Cantarelli Morales.

**CAXIAS DO SUL
2020**

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal a análise da instalação elétrica e Unidade Consumidora do Campus da UCS localizado na cidade de Vacaria, e a viabilidade da instalação de microgeração de energia solar fotovoltaica ou energia eólica. Para tal análise, primeiramente foi feita a contextualização e revisão bibliográfica do tema, bem como os requisitos de projeto de ambas as formas de geração. É feita a análise de consistência do projeto de acordo com as normativas da ANEEL. A Unidade Consumidora é analisada quanto à sua geografia, para verificação de requisitos mínimos da instalação proposta. Finalmente, é levado em consideração os custos de implantação de cada sistema e sua viabilidade para a instituição, assim como tempo de retorno financeiro. Desta forma, considerando os critérios avaliados de projeto, o projeto solar se fez financeiramente viável, enquanto o projeto eólico não atendeu os requisitos financeiros.

Palavras-chave: Geração de Energia, painéis solares, turbinas eólicas, gestão da energia, investimento.

ABSTRACT

This paper has as the main objective the analysis of the electrical installation of UCS, Campus in Vacaria – RS, and the Project of solar power and win energy to supply its demand. First, it's been made the revision of the subject, bringing up the top technology in the theme, for both kind of generators. The analysis and Project respects the ANEEL rules. The consumer is analyzed by its geography, to confirm basic requests. In the end, the analysis of the cost and investment to make the project happens, calculating the payback and return over capital. In this way, considering the applied method, the solar project was classified as financially viable, while the wind power project was not.

Keywords: Energy generation, solar boards, wind energy, energy management, investment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - População mundial, 1950 - 2015, e projeção até 2100	12
Figura 2 - Consumo mundial de energia x ano	14
Figura 3 - Primeira bateria solar da Bell, em Americus, Geórgia, 1955	22
Figura 4 - Investimentos, em bilhões de dólares, feitos ano a ano	23
Figura 5 - Empregos gerados (em milhares) x tipo de geração	23
Figura 6 - Bandas de energia. a) isolante. b) condutor. c) semicondutor	25
Figura 7 - Efeito fotovoltaico na placa solar	26
Figura 8 - Efeito da radiação na placa solar	30
Figura 9 - Efeito da temperatura na placa solar	30
Figura 10 - Relação potência x tensão elétrica de um painel	31
Figura 11 - Sistema de blocos de geração solar fotovoltaica	33
Figura 12 - Escala de energia solar em kWh/m ²	38
Figura 13 - Incidência dos raios solares no módulo fotovoltaico	39
Figura 14 - Irradiação global horizontal no RS	39
Figura 15 - Irradiação total anual no plano inclinado de 20° no RS	40
Figura 16 - Investimento em energia eólica, em bilhões de dólares	41
Figura 17 - Empregos gerados (em milhares) x forma de geração	43
Figura 18 - a) Ilustração das partes que compõem a turbina. b) foto de turbina horizontal	44
Figura 19 - Turbina eólica com sistema upwind - turbina eólica com sistema downwind	45
Figura 20 - Sistema de funcionamento de uma turbina horizontal	46
Figura 21 - Turbina eólica vertical Darrieus	46
Figura 22 - Turbina eólica vertical Savonius	47

Figura 23 - Turbina eólica vertical Darrieus - Savonius	47
Figura 24 - Exemplo de distribuição de Weibull	49
Figura 25 - Potencial eólico Rio Grande do Sul	50
Figura 26 - Velocidade do vento Rio Grande do Sul - 100 m de altura	51
Figura 27 - Tabela de velocidades dos ventos	51
Figura 28 - Visão aérea da Unidade Consumidora	57
Figura 29 - Demanda da Unidade Consumidora por mês	58
Figura 30 - Consumo da Unidade Consumidora por mês	59
Figura 31 - Irradiação solar em Vacaria-RS, mensal linear	63
Figura 32 - Local proposto para instalação de painéis solares. a) visão de satélite. b) visão de solo	64
Figura 33 - Distribuição de Weibull da velocidade do vento em Vacaria	78
Figura 34 - Distribuição de Weibull da direção do vento em Vacaria	79
Figura 35 - Distribuição de Weibull da rajada de vento em Vacaria	80
Figura 36 - Local proposto para a instalação do gerador eólico. a) visão de satélite. b) visão de solo.	81
Figura 37 - Curva potência gerada vs. velocidade do vento	84
Figura 38 - Comparativo VPL - Projeto solar e eólico	93
Figura 39 - Comparativo TIR - Projeto solar e eólico	94
Figura 40 - Comparativo IL - Projeto solar e eólico	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração de Energia no Brasil	15
Tabela 2 - Quantidade de Geração Distribuída por estado brasileiro	19
Tabela 3 - Código da ANEEL para tipos de geração	19
Tabela 4 - UCs com GD, por tipo de geração	20
Tabela 5 - Classificação INMETRO - eficiência energética dos painéis/módulos	32
Tabela 6 - Capacidade de energia eólica mundial	40
Tabela 7 - Geração europeia de energia eólica <i>onshore</i> e <i>offshore</i>	42
Tabela 8 - Tarifas aplicadas à UC em janeiro de 2020	59
Tabela 9 - Variação dos principais índices e ativos brasileiros	60
Tabela 10 - Irradiação solar média mensal em Vacaria- RS, em kWh/m ² dia	62
Tabela 11 - Especificações técnicas MAXPOWER CS6U-335	64
Tabela 12 - Síntese dos parâmetros da UC	66
Tabela 13 - Informações técnicas do inversor	69
Tabela 14 - Comparativo tensões dos arranjos	69
Tabela 15 - Custos estimados para execução do projeto	71
Tabela 16 - Valor presente líquido do sistema de geração solar	72
Tabela 17 - Taxa interna de retorno do sistema de geração solar	73
Tabela 18 - Índice de lucratividade do sistema de geração solar	73
Tabela 19 - Resultados financeiros do sistema de geração solar	74
Tabela 20 - Frequência de velocidade do vento, em nº de horas por ano	77
Tabela 21 - Coeficiente de rugosidade	81
Tabela 22 - Síntese dos parâmetros da UC	82
Tabela 23 - Ficha técnica Hummer H16	83

Tabela 24 - Relação de potência com vel. do vento do aero gerador	84
Tabela 25 - Projeção de produção anual de energia	85
Tabela 26 - Custos estimados para instalação eólica, em percentual	87
Tabela 27 - Custos estimados para execução do projeto eólico	87
Tabela 28 - Valor presente líquido do sistema de geração eólica	89
Tabela 29 - Taxa interna de retorno do sistema de geração eólica	90
Tabela 30 - Índice de lucratividade do sistema de geração eólica	91
Tabela 31 - Resultados financeiro gerais do sistema de geração eólica	92
Tabela 32 - Comparativo <i>payback</i> - projeto solar e eólico	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC - *Alternating Current* - Corrente Alternada
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si - Sílicio Amorfo
BIG - Banco de Informações de Geração
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CGH - Central Geradora Hidrelétrica
CGU - Central Geradora Undi-elétrica
CVU - Custo Variável Unitário
CdTe - Telureto de Cádmio
DC - *Direct Current* - Corrente Contínua
EOL - Central Geradora Eólica
GD - Geração Distribuída
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico
OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas
PRODIST - Procedimentos de Distribuição
PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SIN - Sistema Interligado Nacional
TIR – Taxa Interna de Retorno
TMA – Taxa Mínima de Atratividade
UC - Unidade Consumidora
UFV - Central Geradora Fotovoltaica
UHE - Usina Hidrelétrica
USD - Unidade de moeda - dólares americanos
UTE - Usina Termelétrica
UTN - Usina Termonuclear
VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVO GERAL	15
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	16
1.5	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	17
2.2	ANEEL	20
2.3	ENERGIA SOLAR	21
2.3.1	EFEITO FOTOVOLTAICO	24
2.3.2	TIPOS DE PAINÉIS SOLARES	25
2.3.2.1	PAINÉIS SOLARES MONOCRISTALINOS	27
2.3.2.2	PAINÉIS SOLARES POLICRISTALINOS	27
2.3.2.3	PAINÉIS SOLARES DE FILME FINO	28
2.3.2.3.1	PAINÉIS SOLARES DE SILÍCIO AMORFO (a-Si)	28
2.3.2.3.2	PAINÉIS SOLARES DE TELURETO DE CÁDMIO (CdTe)	28
2.3.2.3.3	PAINÉIS SOLARES DE COBRE, ÍNDIO E GÁLIO (CIGS)	29
2.3.2.4	CURVA CARACTERÍSTICA DE UM PAINEL	29
2.3.2.5	CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PELO INMETRO	32
2.3.3	SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR	33
2.3.3.1	TIPOS DE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR	34
2.3.3.1.1	SISTEMA ISOLADO AUTÔNOMO	34
2.3.3.1.2	SISTEMA HÍBRIDO AUTÔNOMO	34
2.3.3.1.3	SISTEMA CONECTADO À REDE	35
2.3.3.2	INVERSORES DE FREQUÊNCIA	35
2.3.3.3	BATERIAS	37
2.3.3.4	MEDIDOR BIDIRECIONAL DE ENERGIA	37
2.3.4	MAPA SOLAR DO RIO GRANDE DO SUL	38
2.4	ENERGIA EÓLICA	40
2.4.1	TURBINAS EÓLICAS	43
2.4.1.1	TURBINAS EÓLICAS HORIZONTAIS	43
2.4.1.2	TURBINAS EÓLICAS VERTICAIS	46

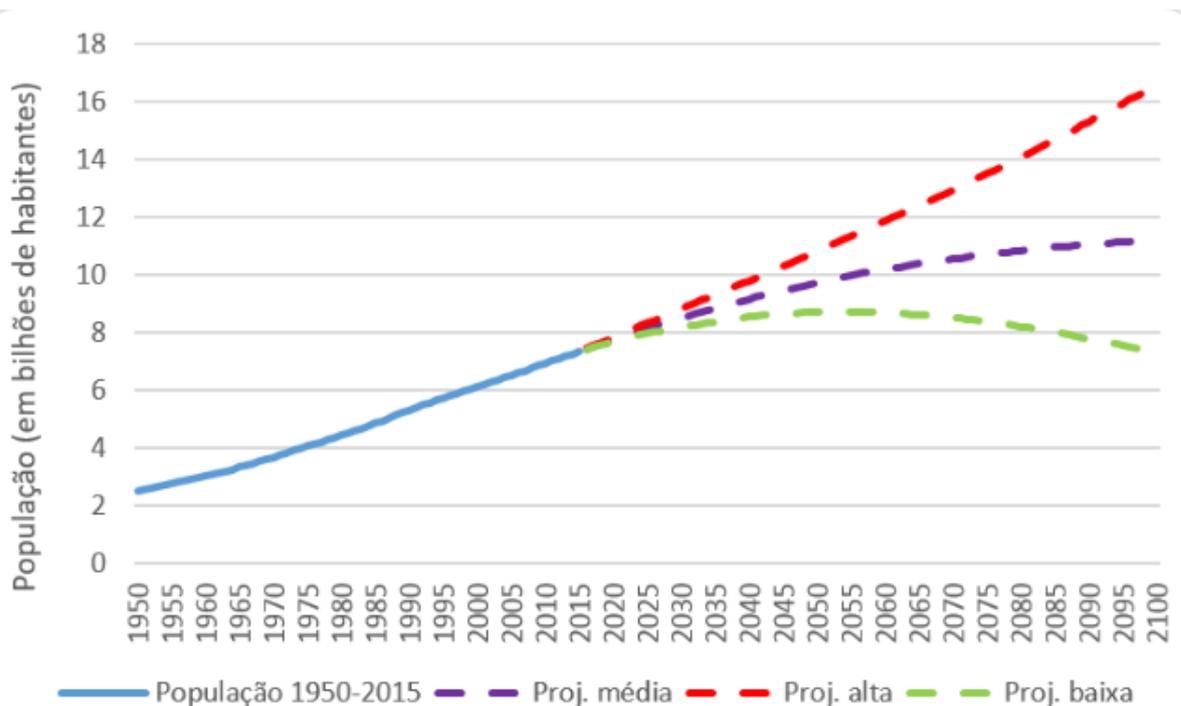
2.4.3	CONEXÃO DE TURBINAS EÓLICAS À REDE	48
2.4.4	DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL E VELOCIDADE DO VENTO	48
2.4.5	MAPA EÓLICO DO RIO GRANDE DO SUL	50
2.5	ANÁLISE DE INVESTIMENTOS	52
2.5.1	PAYBACK	52
2.5.2	VALOR PRESENTE LÍQUIDO	52
2.5.3	TAXA INTERNA DE RETORNO	53
2.5.4	ÍNDICE DE LUCRATIVIDADE	54
2.5.5	OUTROS ÍNDICES E CONCEITOS	55
3	ESTUDO DE CASO E CENÁRIO DE PESQUISA	57
3.1	A UNIDADE CONSUMIDORA	57
3.3	PREMISSAS FINANCEIRAS	60
4	ESTUDO DE PROJETO E VIABILIDADE DE ENERGIA SOLAR	62
4.1	IRRADIAÇÃO LOCAL E RECURSO SOLAR	62
4.2	LOCALIZAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA	63
4.3	REVISÃO DA DEMANDA E ESCOLHA DA POTÊNCIA MÁXIMA GERADA	65
4.4	DIMENSIONAMENTO DO GERADOR SOLAR	66
4.5	LEVANTAMENTO DE CUSTOS E ANÁLISE FINANCEIRA	70
5	ESTUDO DE PROJETO E VIABILIDADE DE ENERGIA EÓLICA	76
5.1	POTENCIAL, RECURSO EÓLICO E LOCALIZAÇÃO	76
5.3	CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA E LEVANTAMENTO DE DEMANDA	82
5.4	DIMENSIONAMENTO DO GERADOR EÓLICO	83
5.4	LEVANTAMENTO DE CUSTOS E ANÁLISE FINANCEIRA	87
6	COMPARATIVO DE CUSTO DE OPORTUNIDADE E RESULTADO FINANCEIRO DOS PROJETOS PROPOSTOS	93
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

1 INTRODUÇÃO

O mundo globalizado, em sua história relativamente recente, se expõe às grandes mudanças inevitavelmente. As preocupações passadas são sanadas com a tecnologia atual, dando espaço a cada vez mais complexos e cirúrgicos problemas.

Nesta linha de pensamento, pode se afirmar que a história do homem anda intrinsecamente ao lado de crises. Desde a pré-história, o ser humano tem criado mecanismos para reduzir seu esforço, aumento de produção e conforto. A geração de energia elétrica é um marco importante neste contexto histórico. A Figura 1 representa o número estimado da população mundial, com três cenários de perspectiva futura.

Figura 1. População mundial, 1950 - 2015, e projeção até 2100.



Fonte: Adaptado de Instituto Humanitas Unisinos, (2020).

Percebe-se que entre 1950 e 2015, ocorreu um crescimento de aproximadamente 335% em um intervalo de apenas 65 anos. Uma pessoa de idade, nascida na época inicial, viu a população que conhecia se multiplicar em quase quatro vezes. Acompanhando a projeção, no pior dos casos, tem-se a possibilidade de que num intervalo de 150 anos (1950-2100) esse percentual de aumento seja de

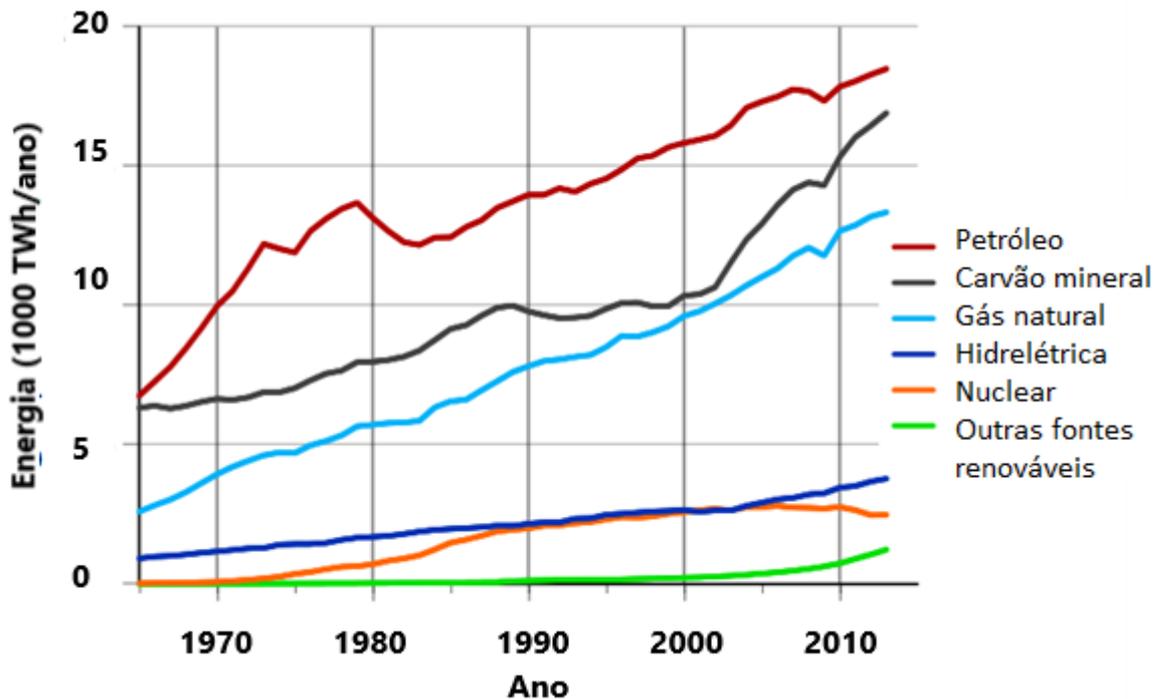
700%. Desta forma, as camadas dominantes da sociedade e os criadores do campo acadêmico devem estar preparados para suprir estes números num cenário futuro.

Sendo assim, com esse aumento populacional previsto, a demanda por energia elétrica também irá aumentar, e as fontes alternativas de energia podem ser uma saída viável para evitar a escassez da eletricidade no futuro. O planejamento energético é hoje um dos aspectos estratégicos fundamentais para o desenvolvimento de qualquer região ou país (REIS, 2011). Este trabalho analisa algumas destas formas de geração, bem como uma análise econômica de uma inserção em uma Unidade Consumidora já existente.

1.1 JUSTIFICATIVA

Em histórico recente, juntamente com o crescimento populacional, tem-se o *boom* dos aparelhos eletrônicos - visto o avanço na área da eletrônica de potência - aumento no número de carros e hábitos consumistas incentivados pela indústria da metade do século XX. Desde então, o petróleo passou a ser importantíssimo instrumento geopolítico (FRAGMAQ, 2013). Não é à toa que a primeira crise energética mundial se deu quando os países da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), atuando em conluio, aumentaram o preço do petróleo. Em outubro de 1973, os países árabes exportadores proclamaram um embargo às nações aliadas de Israel na Guerra do *Yom Kipur*, conflito militar entre estados árabes liderados por Egito e Síria contra Israel. Em cinco meses de embargo, o preço do barril de petróleo subiu de três dólares para 12 dólares no mundo inteiro. O momento era de crescente consumo de petróleo nos países industrializados, o que garantiu que o embargo custasse muito aos embargados (CELI, 2019), sendo crucial para a falência de muitas indústrias. A Figura 2 mostra a importante relação deste contexto histórico citado com o consumo de energia mundial.

Figura 2. Consumo mundial de energia x Ano.



Fonte: Adaptado de Wikimedia - World Energy consumption (2020).

Um detalhe muito importante na Figura 2, intrínseco ao tema deste trabalho de conclusão, além do crescimento do consumo em todas as áreas/fontes, mas em especial ao crescimento da linha verde - a partir do ano 2000 - das energias renováveis. Acompanhando o ritmo do crescimento econômico e do aumento de renda, o Brasil deve ter também uma alta no consumo de energia na ordem dos 60% até 2040 (ELIAS, 2018). Boa parte deste crescimento deve vir de fontes de energia renovável, que inclui energia eólica, solar e biocombustíveis, como etanol, e que são menos poluentes. Em 2040, quase metade (48%) da energia usada no país deve vir de fontes limpas e renováveis (ELIAS, 2018).

A Tabela 1 mostra a geração de energia no Brasil, por tipo de geração, com um total de 8.909 usinas de geração de energia instaladas com capacidade de 178.256.444 kW (ANEEL, 2020). Tem-se ainda 237 usinas em período de construção - 97 usinas eólicas, 24 usinas solares fotovoltaicas, 33 usinas hidrelétricas e 83 usinas termelétricas - com capacidade total de 10.109.490 kW de potência associada. Somando-se ainda as usinas cujas construções ainda não foram iniciadas, tem-se mais 448 - 140 usinas eólicas, 152 usinas solares fotovoltaicas, 107 usinas hidrelétricas e 49 usinas termelétricas - totalizando

17.383.226 kW em capacidade. Basicamente, está prevista para os próximos anos uma adição na capacidade de geração do país, proveniente dos 237 empreendimentos atualmente em construção e mais 448 em Empreendimentos com Construção não iniciada (ANEEL, 2020).

Tabela 1. Geração de Energia no Brasil

Geração de Energia no Brasil	
Hidroelétrica	61.1%
Fóssil	14.7%
Eólica	8.62%
Biomassa	8.39%
Importação	4.58%
Solar	1.38%
Nuclear	1.11%

Fonte: Adaptado de ANEEL, (2020).

Segundo Elias (2018), o Brasil já tem uma matriz de energia que não se compara a quase nenhum outro lugar do mundo. Outro ponto importante a ser destacado para contextualização do desenvolvimento do trabalho, é a questão nacional da eficiência energética, na qual o Brasil tem deixado a desejar. Nos últimos 40 anos, as bases de dados do Brasil mostram que, para cada alta de 1% do PIB, o consumo de energia cresceu também 1%, aproximadamente. Em outros países isso não acontece. Na China, com o ritmo de crescimento do PIB superior a 6% ao ano, a alta na demanda por energia fica na faixa dos 2% (ELIAS, 2018).

1.2 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade técnica e econômica de projeto e instalação de um sistema de microgeração distribuída, utilizando sistemas de geração solar fotovoltaico e eólico, na Unidade Consumidora de Vacaria da Universidade de Caxias do Sul.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar um projeto de microgeração de energia solar.
- Elaborar um projeto de microgeração de energia eólica.

- Analisar econômica e financeiramente os investimentos necessários para execução dos projetos propostos.
- Verificar os resultados financeiros quanto à viabilidade de projeto.

1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho limita-se ao projeto de microgeração solar fotovoltaica e eólica, a fim de atender os moldes e individualidades de instalação proposta, assim como a análise financeira de custos e retorno do investimento. Não é objetivo estabelecer padrões de eficiência energética, nem controle/gerenciamento da demanda em tempo real. A decisão de prosseguir com o projeto, a partir das análises aqui elaboradas, fica a critério da Universidade de Caxias do Sul, em seu âmbito de gestão no alto escalão.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi elaborado de forma contínua, sendo cada capítulo posterior um complemento e continuação do tema já visto, e cada capítulo anterior serve de contextualização à entendimentos futuros.

No primeiro momento são feitas as contextualizações iniciais, tratando do histórico homem-energia, informações pertinentes sobre dados e perspectivas de futuro. Aqui são propostos os objetivos e limites do trabalho.

No segundo momento, é feita ampla revisão bibliográfica do tema, visando completo entendimento sobre a energia solar fotovoltaica e a energia eólica, com escopo mais específico em diversos pontos.

Posteriormente, encontram-se os projetos de microgeração e suas estimativas de custo e retorno financeiro.

Por último, o comparativo entre os projetos e as conclusões sobre os resultados. Também se encontram todas as referências e autores utilizados na pesquisa para elaboração deste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Dentro do referencial teórico, serão apresentados todos os aspectos gerais que envolvem o tema deste trabalho, tratando desde a contextualização da geração distribuída, todo o histórico e aspectos técnicos da energia solar e o mesmo da eólica. Falar-se-á também do papel da ANEEL dentro da energia brasileira, e suas competências.

2.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Para evitar o consumo de combustíveis fósseis e reduzir custos, o setor elétrico precisa utilizar fontes renováveis, sazonais ou intermitentes, como a solar e a eólica, ainda pouco aproveitadas. Sua correta inserção na geração dos sistemas interligados e na oferta das redes de distribuição é fundamental para propiciar seu desenvolvimento (ERBER, 2020).

Segundo a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, datada de 17 de Abril de 2012, há a possibilidade do consumidor nacional, residencial ou industrial, gerar a própria energia elétrica partindo de fontes renováveis, incluindo o fornecimento do excedente gerado (caso a instalação seja capaz de gerar mais energia do que consome) para a rede de distribuição em questão, de acordo com a geografia. Trata-se da micro e minigeração distribuída de energia elétrica, um setor crescente no mercado brasileiro, muito importante em seu impacto sustentável e socioambiental, aliado à economia financeira dos consumidores.

A Geração Distribuída tem vantagem sobre a geração central pois economiza investimentos em transmissão e reduz as perdas nestes sistemas, melhorando a estabilidade do serviço de energia elétrica (INEE,2019). Segundo as novas regras, que começaram a valer em 1º de março de 2016, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2020).

É chamado autoconsumo remoto a utilização de créditos obtidos a partir do excedente de geração de energia de uma instalação. Quando a quantia de energia

elétrica gerada no mês ultrapassa a quantidade consumida, a diferença entre esses valores fica em forma de crédito para a unidade consumidora abater das próximas contas de luz, caso não ocorra novamente o excedente. O prazo atual dos créditos é de 60 meses para ser usado, na possibilidade também de usar para abater contas de outras unidades consumidoras cujo titular seja a mesma pessoa física ou jurídica, e dentro do escopo da mesma distribuidora de energia (não há crédito entre distribuidoras).

Um exemplo é o da microgeração por fonte solar fotovoltaica: de dia, a “sobra” da energia gerada pela central é passada para a rede; à noite, a rede devolve a energia para a unidade consumidora e supre necessidades adicionais. Portanto, a rede funciona como uma bateria, armazenando o excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora (ANEEL,2020).

Pode-se incluir como GD:

- Co-geradores
- Geradores que usam como fonte de energia resíduos combustíveis de processo;
- Geradores de emergência;
- Geradores para operação no horário de ponta;
- Painéis fotovoltaicos;
- Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH's (INEE, 2019).

Tratando-se da adesão do sistema de GD, segundo a ANEEL, a iniciativa é total do consumidor, para instalação de micro ou minigeração distribuída. Ou seja, não há padronização de custos estabelecidos pela ANEEL, muito menos as condições de financiamento propostas pelo mercado. A relação de custo-benefício, *payback*, tipo de geradores (painéis solares, turbinas eólicas, biomassa, etc.), tamanho e porte da usina, tecnologia dos equipamentos e sua origem, valor tarifário, condições de financiamento e negociação dos termos, tudo está sob o critério do consumidor contratante e a ele cabe a decisão.

A Tabela 2 mostra o número de GD por estado brasileiro, e em sua totalidade.

Tabela 2. Quantidade de Geração Distribuída por estado brasileiro.

UF	Quantidade	Potência Instalada (kW)	Percentual (%)	UF	Quantidade	Potência Instalada (kW)	Percentual (%)
AC	185	2.527,71	0,115	PB	3.060	41.017,26	1,865
AL	1.036	12.949,18	0,589	PE	3.083	51.715,37	2,352
AM	520	6.154,36	0,280	PI	2.142	28.364,20	1,290
AP	175	3.468,50	0,158	PR	11.448	213.759,52	9,720
BA	4.617	48.719,46	2,215	RJ	9.641	87.187,01	3,965
CE	4.425	76.821,05	3,493	RN	2.525	38.143,55	1,734
DF	1.560	21.562,25	0,980	RO	376	13.319,56	0,606
ES	3.274	38.836,37	1,766	RR	52	899,74	0,041
GO	6.447	83.199,66	3,783	RS	23.032	273.549,72	12,439
MA	2.537	31.795,55	1,446	SC	10.848	131.593,91	5,984
MG	36.876	446.496,83	20,303	SE	1.045	11.575,44	0,526
MS	5.414	67.902,80	3,088	SP	27.897	248.996,78	11,322
MT	8.923	173.874,81	7,906	TO	2.037	22.950,92	1,044
PA	2.141	21.787,57	0,991	TOTAL	175.316	2.199.169,08	

Fonte: ANEEL (2020).

A ANEEL classifica, via padronização, códigos específicos para cada tipo de geração. A Tabela 3 mostra a codificação, e depois dessa, a Tabela 4 mostra a especificidade quanto ao tipo de geração, incluindo as Gerações Distribuídas listadas na tabela anterior.

Tabela 3. Códigos da ANEEL para tipos de geração.

Código	Descrição
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CGU	Central Geradora Undi-elétrica
EOL	Central Geradora Eólica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica
UTN	Usina Termonuclear

Fonte: ANEEL (2020).

Tabela 4. UCs com GD, por tipo de geração

Tipo	Quantidade	Quantidade de UCs que recebem os créditos	Potência Instalada (kW)
CGH	100	8.472	96.681,80
EOL	61	105	10.401,86
UFV	175.989	221.377	2.045.110,37
UTE	213	4.527	63.158,04
TOTAL	176363	234.481	2.215.352,07

Fonte: ANEEL (2020).

2.2 ANEEL

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, foi criada para regular o setor elétrico brasileiro, por meio da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997. A ANEEL iniciou suas atividades em dezembro de 1997, tendo como principais atribuições:

- Regular a geração (produção), transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica;
- Fiscalizar, diretamente ou mediante convênios com órgãos estaduais, as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica;
- Implementar as políticas e diretrizes do governo federal relativas à exploração da energia elétrica e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos;
- Estabelecer tarifas;
- Dirimir as divergências, na esfera administrativa, entre os agentes e entre esses agentes e os consumidores, e
- Promover as atividades de outorgas de concessão, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica, por delegação do Governo Federal. (ANEEL,2019).

A ANEEL deve implementar as políticas e diretrizes do governo federal para a exploração da energia elétrica e o aproveitamento dos potenciais hidráulicos, e regular os serviços concedidos, permitidos e autorizados, expedindo os atos regulamentares necessários. Tratando especificamente da geração de energia, é

responsabilidade da ANEEL, segundo informações fornecidas pela mesma em seu site, de acordo com a legislação vigente:

- Regularizar novos dispositivos legais e adequações de resoluções normativas
- Acompanhar o planejamento e a programação da operação do SIN – Sistema Interligado Nacional
- Acompanhar e avaliar o CVU – Custo Variável Unitário - de Centrais Termelétricas
- Acompanhar as apurações de indisponibilidades previstas na Resolução Normativa nº 614/2014
- Acompanhamento da geração média de usinas hidrelétricas não despachadas centralizadamente
- Analisar atualizações dos programas computacionais utilizados pelo ONS e pela CCEE
- Realizar o rateio das cotas-partes de Itaipu
- Realizar o rateio das cotas-partes de Angra 1 e 2
- Autorizar ressarcimento para prestação de serviços auxiliares e investimentos em geração
- Regular e acompanhar os sistemas isolados
- Analisar o Plano Anual de Custos dos Sistemas Isolados
- Avaliar o desempenho das usinas participantes do PROINFA
- Avaliar o Plano Anual do PROINFA

2.3 ENERGIA SOLAR

O sol é a estrela central do sistema solar. Sua energia é gerada a partir da fusão de núcleos de hidrogênio para a formação de moléculas de Hélio (IFUSP, 2020). A luz solar é indispensável para a vida na Terra e é sua principal fonte de energia.

O contexto histórico da energia solar vem desde a antiguidade, porém, os primórdios da conversão em eletricidade vieram por acaso. O efeito fotovoltaico (explanado no próximo item) foi observado por Alexandre Edmond Becquerel, um físico francês, em 1839. Conduzia experiências quando verificou que a exposição à

luz de eletrodos de platina ou de prata dava origem ao efeito fotovoltaico. A primeira célula solar foi formalmente apresentada na reunião anual da National Academy of Sciences, em Washington, e anunciada numa conferência de imprensa no dia 25 de Abril de 1954. No ano seguinte, a célula de silício viu a sua primeira aplicação como fonte de alimentação de uma rede telefónica em Americus, na Geórgia, conforme Figura 3 (IST, 2020).

Figura 3. Primeira bateria solar da Bell, em Americus, Geórgia, 1955.



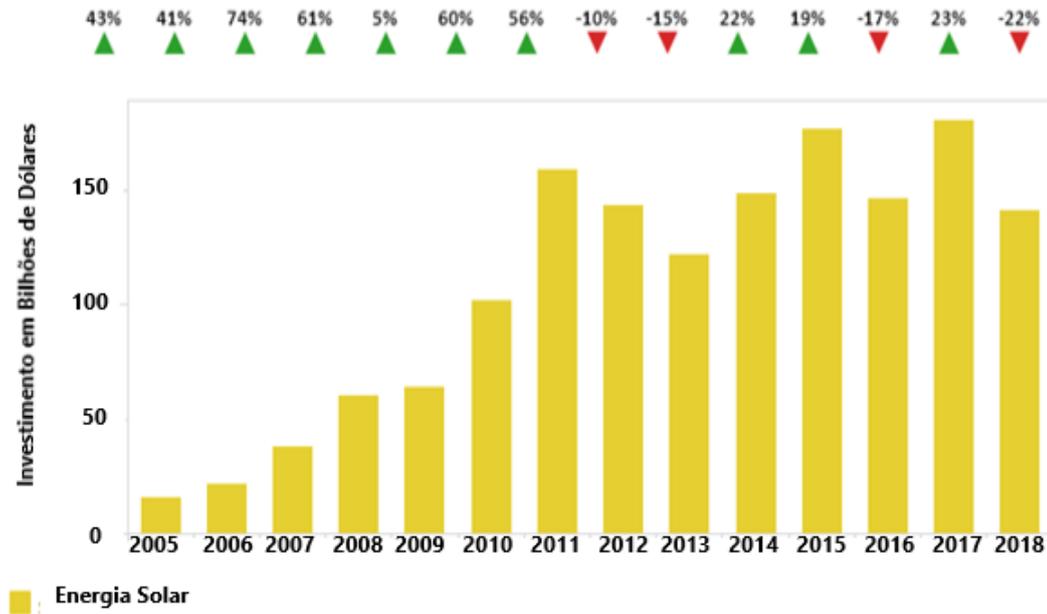
Fonte: Adaptado de IST - Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, (2020).

A energia solar pode ser convertida diretamente em eletricidade utilizando-se das tecnologias de células fotovoltaicas. É a energia obtida por meio da conversão direta da luz em eletricidade através do efeito fotovoltaico (REIS, 2011).

Sabe-se que o consumo de energia solar, tanto em termos nacionais quanto internacionais, ainda representa um número fracionário do que poderia ser. Tendo em vista a tecnologia cada vez mais apurada, e uma gama maior de fabricantes e instaladores, eleva assim os incentivos para a comercialização das placas solares e investimento, tanto nas unidades residenciais quanto comerciais e industriais.

A Figura 4 abaixo mostra, segundo a *Frankfurt School*, o investimento feito em energia solar ao redor do mundo, em bilhões de dólares. Até a conclusão deste trabalho, ainda não havia sido disponibilizada a informação dos anos de 2019 e 2020.

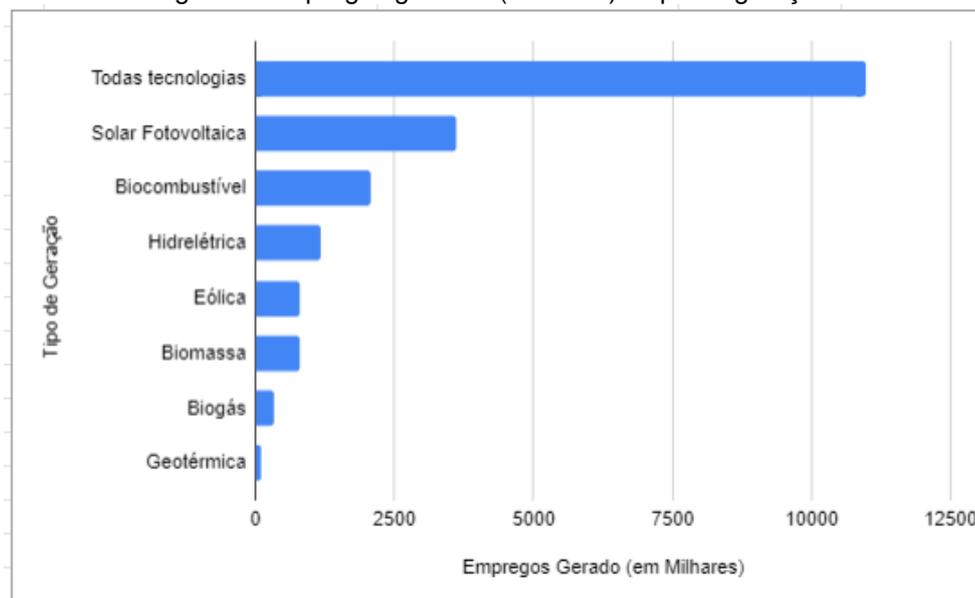
Figura 4. Investimentos, em bilhões de dólares, feitos ano a ano.



Fonte: Adaptado de IRENA (2019).

A energia solar também cresce no número de empregos gerados ao redor do mundo, em comparação às outras formas de geração. A Figura 5 mostra a relação do tipo de geração com o número de vagas de trabalho gerada, em milhares. O país principal nesta área é a China, na qual foram 4.077.700 empregos gerados, mais de 50% correspondem à energia solar fotovoltaica.

Figura 5. Empregos gerados (milhares) x tipo de geração.



Fonte: Adaptado de IRENA (2019).

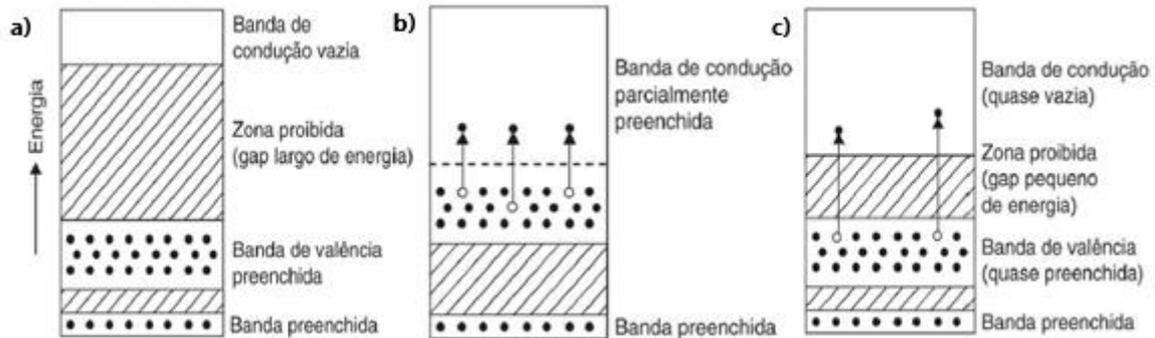
Fazer a transição para uma economia de uso intensivo de energia renovável proporciona benefícios para o meio ambiente e outros benefícios não mensuráveis em termos econômicos. É previsto que, até 2050, a emissão global de dióxido de carbono (CO₂) reduziria em 75%, aos níveis de 1985, desde que a eficiência energética e as energias renováveis sejam amplamente adotadas (KALOGIROU, 2016).

2.3.1 EFEITO FOTOVOLTAICO

As placas solares, objeto do escopo do primeiro projeto a ser tratado neste trabalho de conclusão, tem sua fundação e embasamento em cima do chamado efeito fotovoltaico. É caracterizado pela produção de uma corrente elétrica entre duas partes em contato, de diferente material, que estão expostos a iluminação ou radiação eletromagnética (principalmente α). Este efeito consiste basicamente na conversão em energia elétrica da luz solar, por meio de células fotovoltaicas, feitas a partir de dispositivos semicondutores de silício com adição de impurezas. São capazes de gerar energia de forma DC, tendo como fonte a radiação solar (REIS, 2011).

Uma representação esquemática dos diagramas de banda de energia de três tipos de materiais ((a) material condutor, (b) material isolante e (c) material semicondutor) é mostrada na Figura 6. Materiais cuja camada ou banda de valência está cheia e cuja banda de condução está vazia apresentam lacunas muito altas de banda e são chamadas de isolantes. Nenhuma corrente pode ser realizada por elétrons na banda cheia. A diferença de energia é tão grande que, em circunstâncias normais, um elétron na banda de valência não tem energia necessária para ocupar a banda de condução, uma vez que os estados vazios na banda de condução são inacessíveis a ele (KALOGIROU, 2016).

Figura 6. Bandas de energia. a) Material isolante. b) Material condutor. c) Material semiconductor.



Fonte: Adaptado de KALOGIROU (2016).

A produção deste efeito se dá quando um fóton - partícula de luz, neste caso, provinda do sol - atinge um elétron orbitando a camada de valência de um átomo de silício (semicondutor), o qual recebe a energia contida na trajetória do fóton. Se esta energia adquirida for o suficiente para que a força de atração nuclear - também chamada de energia de valência - seja excedida, o elétron deixa sua órbita e se liberta do átomo, com possibilidade de ser conduzido pelo material em que está inserido.

2.3.2 TIPOS DE PAINÉIS SOLARES

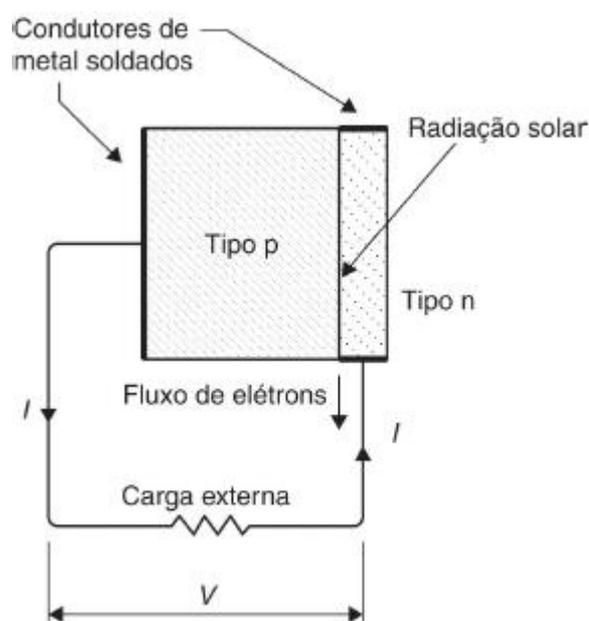
Segundo Kalogirou (2016), Módulos Fotovoltaicos (PV) são dispositivos de estado sólido que convertem a radiação solar, a fonte de energia mais abundante no planeta, diretamente em eletricidade, sem um motor térmico ou equipamento rotativo para intervir. O PV não tem partes móveis e, como resultado, requer manutenção mínima, com uma vida útil longa. O sistema fotovoltaico gera eletricidade sem produzir emissões de efeito estufa ou de quaisquer outros gases e sua operação é praticamente silenciosa. Os sistemas fotovoltaicos podem ser construídos em praticamente qualquer tamanho, desde milliwatts até megawatts; os sistemas são modulares, isto é, mais módulos podem ser facilmente adicionados para aumentar a produção. Eles também podem ser configurados como sistemas autônomos.

A célula de silício monocristalino é historicamente a mais utilizada. Porém, existe uma grande quantidade de outros semicondutores capazes de produzir células solares com eficiência razoável, tais como o próprio silício, na forma amorfa ou policristalina. Deve-se ressaltar, particularmente, a utilização da tecnologia de filmes finos, que consiste em células cujas camadas ativas são filmes - policristalinos ou desordenados (amorfo) - depositados ou formados em um substrato eletricamente passivo ou ativo (REIS, 2011).

A operação de uma célula fotovoltaica é mostrada na Figura 7. Estas células fotovoltaicas contêm uma junção de material semiconductor do tipo p e do tipo n, ou seja, contém uma junção *p-n*. Em certa medida, os elétrons e lacunas se difundem através da fronteira desta junção, criando um campo elétrico através dela. Os elétrons livres são gerados na camada *n* pela ação dos fótons. Quando os fótons de radiação solar atingem a superfície de uma célula solar e são absorvidos pelo semiconductor, algumas delas criam pares de elétrons e lacunas (KALOGIROU, 2016).

Considerando tais pares perto da junção *p-n*, de modo que seu campo elétrico separe as cargas, movem-se elétrons para o lado *p* e as lacunas para o tipo *n*. Assim, se ligar os dois lados da célula em alguma carga, a radiação solar na célula fotovoltaica fará corrente elétrica passar.

Figura 7. Efeito fotovoltaico na placa solar.



Fonte: Adaptado de KALOGIROU, (2016)

2.3.2.1 PAINÉIS SOLARES MONOCRISTALINOS

Estas células são feitas a partir de silício monocristalino puro. Nessas células, o silício tem uma única estrutura cristalina contínua quase sem defeitos ou impurezas. A principal vantagem das células monocristalinas é a sua elevada eficiência, que é tipicamente de cerca de 14-15%. Módulos Premium estão disponíveis no mercado com eficiência de um pouco mais de 20% (RENI, 2012).

Uma desvantagem destas células é o processo de produção complexo que leva a custos relativamente elevados, apesar de uma maior capacidade de produção de sua matéria-prima diminuir seu preço significativamente nos últimos anos, tornando-a (e o silício multicristalino) mais competitiva em preços com módulos de filmes finos (KALOGIROU, 2016).

A eficiência do silício cristalino diminui um pouco em baixas condições de radiação solar, enquanto que a eficiência dos módulos de filmes finos permanece mais ou menos constante (MARION, 2008). As placas solares de silício monocristalino são mais frequentemente utilizados quando o objetivo é extrair o máximo de energia de um espaço confinado, como telhados residenciais e comerciais.

2.3.2.2 PAINÉIS SOLARES POLICRISTALINOS

Células de silício multicristalino, também conhecidas como células policristalinas, são produzidas utilizando inúmeros grãos de silício monocristalino. No processo de fabricação, o silício policristalino fundido é moldado em lingotes, que são subsequentemente cortados em pastilhas muito finas e montados em células completas (KALOGIROU, 2016). Têm um processo de fabricação mais simples, por isso geralmente acabam saindo mais baratas. Elas são, no entanto, um pouco menos eficientes, com eficiências típicas de módulos em torno de 13-15% (PRICE E MARGOLIS, 2010) e produtos de alta qualidade de até 17% (RENI, 2010).

Os painéis policristalinos apresentam uma variação de potência relacionada a temperatura relativamente alto. São amplamente utilizados em arranjos montados no solo e telhados.

2.3.2.3 PAINÉIS SOLARES DE FILME FINO

Adicionando camadas finas de material fotovoltaico sobre algum tipo de substrato é o método de fabricação dos painéis solares de filme fino. Comumente chamadas de células fotovoltaicas de película fina, sendo caracterizadas e categorizadas a partir do respectivo substrato.

As temperaturas de fabricação dos filmes finos estão entre 200 e 500°C, em oposição às temperaturas de até 1500°C necessárias na fabricação de células cristalinas. Portanto, além de consumir menos matéria-prima, os filmes finos consomem menos energia em sua fabricação, tornando muito baixo o custo da tecnologia. (VILLALVA; GAZOLIS, 2012). Além disso, reduzida a complexidade de fabricação torna mais simples os processos automatizados, favorecendo a produção em escala.

2.3.2.3.1 PAINÉIS SOLARES DE SILÍCIO AMORFO (a-Si)

Ao contrário das células mono e policristalinas, os átomos de silício nas células de silício amorfo (a-Si) são dispostos em uma camada fina homogênea. O silício amorfo absorve a radiação solar de forma mais eficaz do que o silício cristalino, o que leva a células mais finas, dando origem ao nome fotovoltaico de filme fino. As vantagens destas células são seu baixo custo de produção e alta produção de energia por capacidade de potência nominal (KALOGIROU, 2016).

De todas as tecnologias PV do mercado de massa, a-Si é a menos afetada pelo calor, com um coeficiente de variação da potência em relação a temperatura de apenas cerca de 0,2% / °C (MARION, 2008). O silício amorfo acaba produzindo mais eletricidade em comparação ao cristalino, em termos de potência de pico (principalmente em dias quentes), pois tem maior eficácia na absorção de radiação solar de comprimento de onda na faixa azul.

2.3.2.3.2 PAINÉIS SOLARES DE TELURETO DE CÁDMIO (CdTe)

O mercado de painéis solares de filmes finos foi amplamente desenvolvido por um único fabricante, *First Solar*. Ele foi responsável por 59% do mercado de filmes finos mundial em 2008 (SCHREIBER, 2009), como resultado da realização

de baixo custo (que foi a primeira empresa a fabricar módulos fotovoltaicos a menos de US \$ 1 por Watt) e capacidade de grande produção (RUNYON, 2012). Embora a vantagem de preço de CdTe tenha caído com o surgimento da produção do silício cristalino de baixo custo na China, que mantém uma presença grande de mercado com um custo de fabricação cada vez mais baixo, e em torno de 2GW de capacidade de produção anual (RUNYON, 2012).

Assim como o item anterior, o painel de silício amorfo, o CdTe também é bastante tolerante ao calor, com eficiência de 10-11%. Esta combinação de baixo custo, eficiência moderada e grande volume de produção tem levado o CdTe a criar um novo mercado para PV nos últimos anos, o de usinas de energia solar de escala comercial. Enquanto módulos CdTe são adequados para grandes conjuntos montados em terra para a produção de eletricidade comercial, eles também são implantados em telhados comerciais (KALOGIROU, 2016).

2.3.2.3.3 PAINÉIS SOLARES DE COBRE, ÍNDIO E GÁLIO (CIGS)

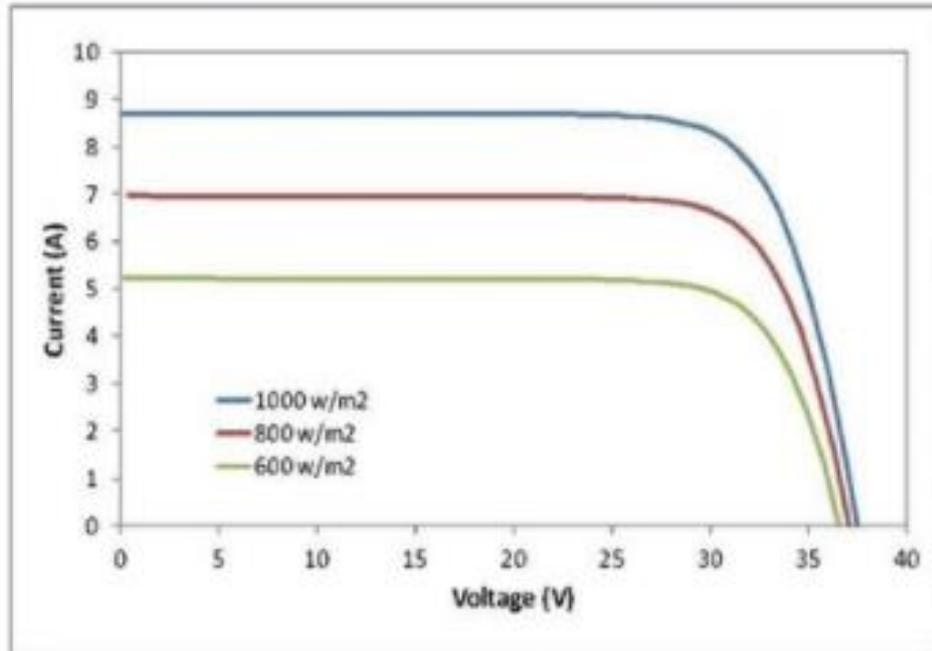
A mais recente tecnologia de filmes finos a ser comercializada é a família CIGS. Tal como os outros filmes finos podem ser fabricados a baixo custo e em grande volume num contínuo processo de produção. CIGS é também o principal candidato para o desenvolvimento comercial de módulos que não usam o vidro, tornando-os flexíveis e muito leves. Suas propriedades elétricas ficam entre silício cristalino e CdTe, em termos de eficiência e variação pela temperatura.

A eficiência moderada, de baixo custo e peso leve do CIGS torna-os ideais para instalações em telhados, tanto residenciais e comerciais. Eles também são uma tecnologia promissora para sistemas fotovoltaicos integrados em edificações (BIPV). Várias empresas foram criadas para fabricar módulos CIGS nos últimos anos (SCHREIBER, 2009).

2.3.2.4 CURVA CARACTERÍSTICA DE UM PAINEL

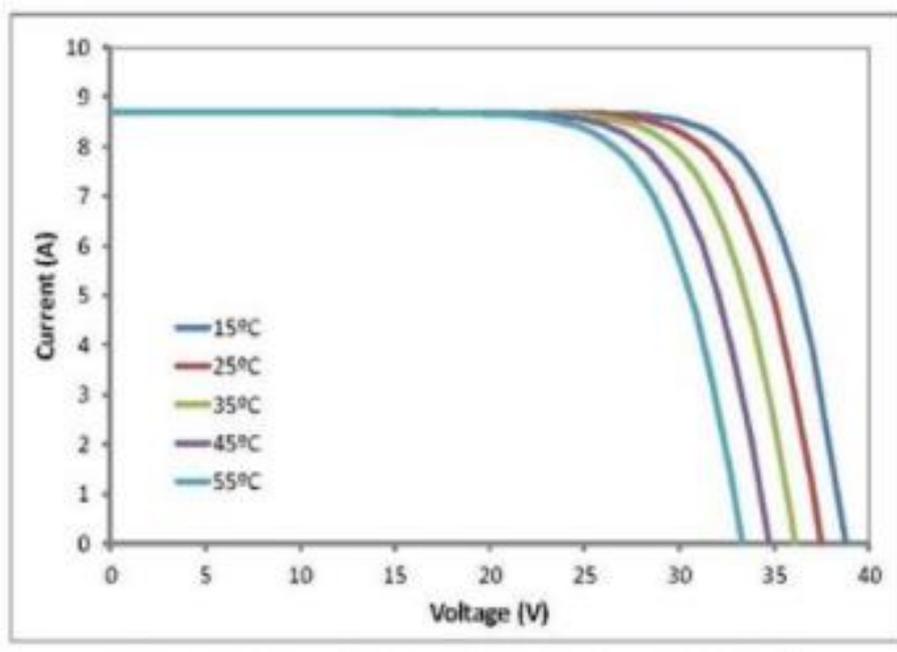
O comportamento elétrico de um painel fotovoltaico é analisado verificando-se sua curva característica I-V, que relaciona a tensão com a corrente, esta curva está disponível na ficha técnica dos fabricantes e pode estar relacionada a temperatura ou radiação solar emitida (BERTO, 2020), conforme Figuras 8 e 9.

Figura 8. Efeito da radiação na placa solar.



Fonte: Adaptado de BERTO (2020).

Figura 9. Efeito da temperatura na placa solar.



Fonte: Adaptado de BERTO (2020).

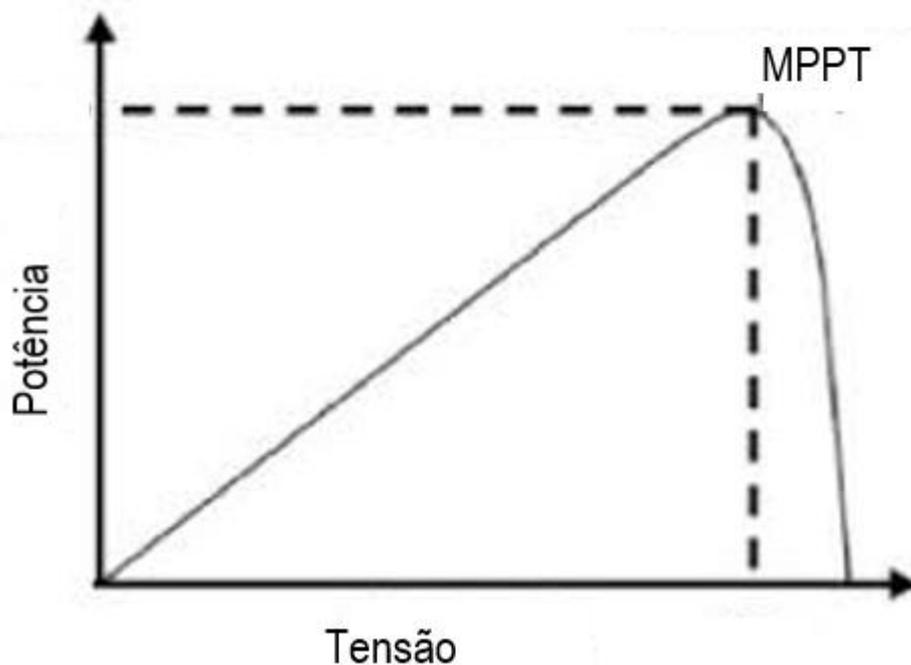
Ressalta-se que *Current (A)* entende-se corrente elétrica, em Amperes, e *Voltage (V)*, se entende tensão elétrica, em Volts. Ao analisar-se as curvas vemos que o ponto máximo da curva representa o ponto de máxima potência do módulo fotovoltaico. A alteração da radiação afeta consideravelmente a intensidade de

corrente gerada, diminuindo a corrente com a diminuição da luminosidade, uma vez que a corrente gerada é proporcional a quantidade de fótons incidentes (BERTO 2020). A influência da radiação na tensão é normalmente desprezada uma vez que não depende deste fator.

Ao contrário da intensidade luminosa, a temperatura tem efeito direto sobre a tensão do painel fotovoltaico, que diminui à medida em que a temperatura aumenta. Isso ocorre pois o fluxo de elétrons diminui quando a temperatura aumenta.

Ao observar-se a Figura 10, fica evidente a necessidade de manter o ponto de funcionamento próximo da potência máxima (chamado de MPP), garantindo total eficiência do módulo fotovoltaico e conseqüentemente do sistema solar fotovoltaico. Entende-se *Power* (W) como potência medida em Watts. Desta maneira, a potência da placa fotovoltaica é igualmente afetada pelas variações das condições ambientais (BERTO, 2020).

Figura 10. Relação potência x tensão elétrico de um painel.



Fonte: Adaptado de BERTO (2020).

2.3.2.5 CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PELO INMETRO

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro - é uma autarquia Federal, vinculada ao Ministério da Economia, que atua como Secretaria Executiva do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro), colegiado interministerial, que é o órgão normativo do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro). Objetivando integrar uma estrutura sistêmica articulada, o Sinmetro, o Conmetro e o Inmetro foram criados pela Lei 5.966, de 11 de dezembro de 1973, cabendo a este último substituir o então Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM) e ampliar significativamente o seu raio de atuação a serviço da sociedade brasileira. No âmbito de sua ampla missão institucional, o Inmetro objetiva fortalecer as empresas nacionais, aumentando sua produtividade por meio da adoção de mecanismos destinados à melhoria da qualidade de produtos e serviços (INMETRO, 2020).

A Tabela 5 mostra os valores percentuais de eficiência dos painéis para se encaixar nos padrões de qualidade A (mais eficiente) até E (menos eficiente). No site da instituição, pode-se pesquisar todas características de determinado painel, constando informação de: Empresa revendedora, Marca, Modelo/Código, Material, Características Físicas (comprimento, largura, área e peso), Tensão e Corrente em várias situações, Potência, Temperatura, Produção média/mês, Eficiência Energética, Classificação Energética, Registro do Objeto e Data de Registro.

Tabela 5. Classificação INMETRO - eficiência energética dos painéis/ módulos.

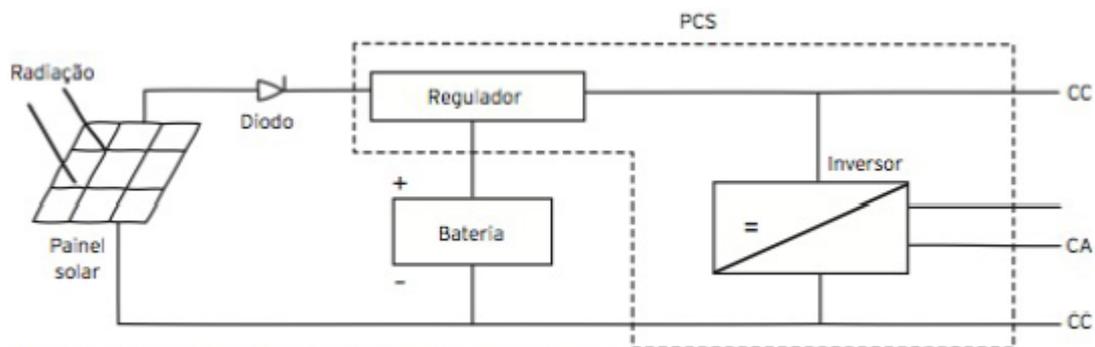
Classes	Índice de Módulo		Eficiência Energética
	Silício cristalino	Filme Fino	
A	$EE > 13,5$	$EE > 9,5$	<i>Mais eficiente</i>
B	$13,5 \geq EE > 13,0$	$9,5 \geq EE > 7,5$	
C	$13,0 \geq EE > 12,0$	$7,5 \geq EE > 6,5$	
D	$12,0 \geq EE > 11,0$	$6,5 \geq EE > 5,5$	
E	$EE \leq 11,0$	$EE \leq 5,5$	<i>Menos eficiente</i>

Fonte: Adaptado de INMETRO (2020)

2.3.3 SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR

Um sistema fotovoltaico de geração energética vai mais além que apenas os módulos/painéis fotovoltaicos. Outros componentes que são capazes de armazenar e transformar a energia também se fazem presentes. Usualmente, o sistema de geração solar fotovoltaico apresenta: conjunto de módulos fotovoltaicos, regulador de tensão, sistema para armazenamento de energia e inversor de frequência CC/CA (REIS, 2011). A Figura 11 mostra em esquema de blocos a disposição do sistema. Entende-se *PCS* como o subsistema condicionador de potência, *CC* como corrente contínua e *CA* como corrente alternada.

Figura 11. Sistema de blocos de geração solar fotovoltaica.



Fonte: Adaptado de REIS (2011).

No sistema da Figura 11, o painel solar representa a integração de vários módulos (conjunto de células), conexões, diodos de proteção e estruturas de suporte. A interligação dos módulos define a tensão e a corrente de saída, sempre em CC. Normalmente, são incorporados no arranjo diodos de potência (REIS, 2011).

Para a questão estrutural, normalmente usa-se madeira, aço galvanizado ou alumínio, dispostos de forma a facilitar a instalação e interligação. Conectados a isso, pode-se ter também dispositivos de orientação do painel segundo o movimento solar, em um ou mais sentidos, a fim de aumentar a energia gerada conforme o Sol varia sua posição.

O sistema de armazenamento de energia é composto de baterias eletroquímicas, que, assim como gerador, são aparelhos estáticos, CC e baixa tensão.

O mais importante destes dispositivos, em análise técnica, é o o inversor de frequência, responsável por converter a energia CC gerada em CA, para utilização em conformidade com a rede elétrica.

2.3.3.1 TIPOS DE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR

Basicamente, divide-se os sistemas solares de geração de energia em 3: sistemas isolados autônomos (*off-grid*), sistemas isolados híbridos e sistemas conectados à rede elétrica (*on-grid*).

2.3.3.1.1 SISTEMA ISOLADO AUTÔNOMO

São os sistemas cujo fornecimento de energia depende exclusivamente da geração solar fotovoltaica, sem nenhuma conexão à rede elétrica de distribuição (por isso a definição de *off-grid*). Pode-se dividir estes sistemas em 4 tipos, com e sem armazenamento de energia, e em CC ou CA.

Em uma carga CC sem armazenamento, a energia elétrica é usada no momento da geração por equipamentos que operam em corrente contínua. Em carga CC com armazenamento, é o caso que se deseja utilizar equipamentos elétricos, em corrente contínua, independentemente de haver ou não a geração fotovoltaica simultânea, e para que isso seja possível, a energia elétrica deve ser armazenada em baterias (REIS, 2011).

Tratando-se de carga CA, com ou sem armazenamento, o princípio é o mesmo que da carga CC. Neste caso, aproxima-se mais das situações convencionais. A única diferença é a inserção e um inversor de frequência, responsável pela conversão da energia gerada em CC pelo painel para CA.

2.3.3.1.2 SISTEMA HÍBRIDO AUTÔNOMO

São sistemas cuja configuração não se restringe apenas à geração fotovoltaica. Em outras palavras, são sistemas que, estando isolados da rede elétrica, possuem mais de uma forma de geração de energia (REIS, 2011).

Estes sistemas são considerados mais complexos que o usual, de modo que vinculam em alguns casos a geração solar fotovoltaica com geração eólica, gerador

diesel, etc. Sendo assim, se faz interessante a utilização de controle para melhor eficácia e otimização dos sistemas para o usuário.

2.3.3.1.3 SISTEMA CONECTADO À REDE

Neste sistema, a fonte de geração fotovoltaica atua como um complemento, vinculado à rede elétrica de distribuição/transmissão. São sistemas que não utilizam armazenamento de energia, pois toda potência gerada é entregue à rede instantaneamente (REIS, 2011).

Estes sistemas trabalham em paralelo com a rede elétrica e são empregados em localidades que já são atendidas pelas redes de eletricidade. O sistema fotovoltaico conectado à rede tem objetivo de gerar eletricidade para ser consumida no local onde o sistema está instalado, podendo diminuir ou até eliminar o consumo proveniente da rede pública ou até mesmo gerar energia excedente (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, geralmente são instalados em coberturas de edificações, convertendo diretamente a energia solar em energia elétrica, com corrente contínua, essa energia passa pelo inversor que a transforma em corrente alternada, então essa eletricidade é enviada para o quadro geral da instalação ou para a rede de distribuição. (BENEDITO, 2009).

Segundo Nascimento *et al.* (2013), a utilização do sistema fotovoltaico conectado à rede vem ao encontro das demandas de mercado, quanto à novas fontes de geração de energia. A geração é feita no mesmo local de consumo, utilizando a rede já existente, não necessitando de investimentos em novas infraestruturas. A instalação do conjunto fotovoltaico é feita em curto prazo de tempo e tem geração imediata de energia para a rede.

2.3.3.2 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Existem, basicamente, três grandes grupos de inversores fotovoltaicos: *on-grid* (conectados à rede), *off-grid* (isolados) e híbridos (une características dos dois anteriores). Hoje, no Brasil, o sistema mais comum é o conectado à rede. Justamente por essa característica de compatibilidade à rede, os inversores *on-grid* se tornam um pouco mais complexos que os outros.

Nestes equipamentos é obrigatório um sistema anti-ilhamento, que garante a desconexão da rede quando o sistema de fornecimento e distribuição é

interrompido. Se isso não for feito, podem acontecer graves acidentes com técnicos, operadores da rede, equipamentos e civis em geral. Imagina-se um técnico subindo no poste para o conserto de algum componente, na crença de estar desenergizado, porém com um péssimo projeto solar nas redondezas, algum painel fornece energia à rede quando não deveria. Pode ser fatal. Por isso é muito importante este aparelho no sistema (RESENDE, 2017).

Segundo Dusol (2020), os tipos de inversores *on-grid* se dividem em:

- Inversor de *string*: são utilizados em sistemas de microgeração e em alguns de minigeração. Em alguns países, são chamados de inversores residenciais. Eles têm uma potência nominal de no máximo algumas dezenas de quilowatts;
- Inversor central: são inversores de maiores potências nominais (acima de 100 kW, via de regra), e utilizados em sistemas de minigeração e sistemas de geração centralizada;
- Microinversores: são de potências pequenas (no máximo 1000 W) e que podem receber, na maioria dos casos, 2 ou 4 painéis cada. Nos sistemas com microinversores, cada módulo produz energia de forma independente.

Um conceito muito importante dentro do inversor de frequência, é o MPPT – *Maximum Power Point Tracking* – o rastreamento de ponto máximo de potência. O MPPT varia a tensão de operação do inversor, a fim de que seja extraída a máxima potência dos módulos fotovoltaicos (REIS, 2011).

No entanto, há diversos modelos com 2 ou até mais rastreadores. Em termos práticos, é como se houvesse vários inversores solares dentro de um só, como se cada MPPT representasse um novo inversor. A consequência disso, é a possibilidade de divisão de grupos de painéis independentes, podendo ter posição, orientação e inclinação diferente. Por exemplo, em um caso residencial, uma construção com telhados em dois níveis diferentes, em que um lado faça sombra no outro em algum ponto do dia, ou orientados em direções distintas, usa-se mais de um MPPT. Deste modo, cada grupo (em cada telhado), trabalha em seu próprio MPPT, aumentando a capacidade de geração de eletricidade.

2.3.3.3 BATERIAS

As baterias são o método de armazenamento utilizado nos sistemas de geração de energia fotovoltaica. Basicamente, como já visto anteriormente, podemos configurar o armazenamento em sistema *on-grid* (híbrido) e *off-grid*.

O sistema *off-grid*, no qual a propriedade não está conectada à rede elétrica, tem a vantagem da autossuficiência energética, sendo que a energia gerada pelos painéis durante o dia fica armazenadas nas baterias, para utilização posterior, durante a noite. Basicamente, sem medidor e fatura de energia, 100% autossuficiente. Porém, nestas condições, pode-se apontar como desvantagem o custo total desta instalação, devido à quantidade de baterias adquiridas para garantir a demanda da Unidade Consumidora. Normalmente utilizada por consumidoras de área isoladas, cuja outra opção seria gerador à diesel.

Os sistemas híbridos *on-grid*, são sistemas conectados à rede elétrica, com a utilização de baterias para armazenamento. Neste caso, o sistema prioriza a eletricidade armazenada nas baterias antes de usar a rede de distribuição. Neste modelo, o custo se torna menor que o *off-grid*, pois há necessidade de menos baterias. Pode-se anexar um sistema de controle para utilizar a energia armazenada em horário de pico na distribuidora, a fim de aumentar a eficiência. Porém, a desvantagem é que ainda há a necessidade da distribuidora.

Aqueles consumidores que tem seu horário de demanda maior durante o período de sol, normalmente não utilizam o sistema *off-grid* ou híbrido *on-grid*, e acabam optando pelo sistema *on-grid* simples, gerando a energia no momento do consumo instantaneamente, pelo método de sistema *on-grid*.

2.3.3.4 MEDIDOR BIDIRECIONAL DE ENERGIA

O medidor de energia bidirecional é outro aspecto muito importante dos sistemas de geração *on-grid*. Este tipo de medidor mede não apenas a energia consumida pela instalação, mas mede também a quantidade de energia injetada na rede distribuição/transmissão, fazendo assim com que no final de cada período contabilizado pela concessionária, seja possível saber qual o diferencial de energia utilizada e injetada na rede, podendo converter em créditos de energia, conforme explicado no ítem de Geração Distribuída.

Válido ressaltar que a energia injetada é diferente de energia produzida, devido ao fato de que a instalação sempre terá preferência pela eletricidade gerada em relação à rede. No momento em que a demanda for maior que a geração de energia instantânea, a rede fornecerá o necessário para suprir a instalação. É desta forma que é feito o diferencial de energia a ser convertido em créditos ou fatura de energia.

2.3.4 MAPA SOLAR DO RIO GRANDE DO SUL

Em 2018, o Rio Grande do Sul lançou o último Atlas Solar da região (GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2018), via Secretaria de Minas e Energia. Para análise de potencial, foi utilizado como padrão a escala representada na Figura 12, que a partir das cores no mapa, mostra a soma de energia em kWh/m², sendo a informação superior em kWh/m²/dia e a inferior em kWh/m²/ano.

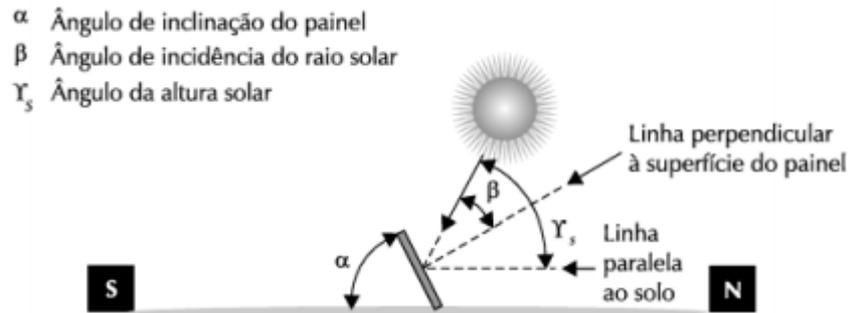
Figura 12. Escala de energia solar em kWh/m².



Fonte: Adaptado de Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2018.

A Figura 13 apresenta como incidem os raios solares em um módulo solar. O módulo é instalado com ângulo de inclinação α em relação ao solo e tem sua face voltada para o norte geográfico. Segundo Villalva *et al.* (2012), os raios solares incidem sobre a superfície do módulo com ângulo de inclinação β , definido em relação à reta perpendicular à superfície do módulo. O melhor aproveitamento de energia solar ocorre quando os raios incidem perpendicularmente ao módulo, com ângulo de $\beta = 0$. Isso significa que idealmente, para maximizar a captação de energia solar, a inclinação do módulo deve ser ajustada diariamente para adequar-se ao valor da altura solar Y_s naquele dia.

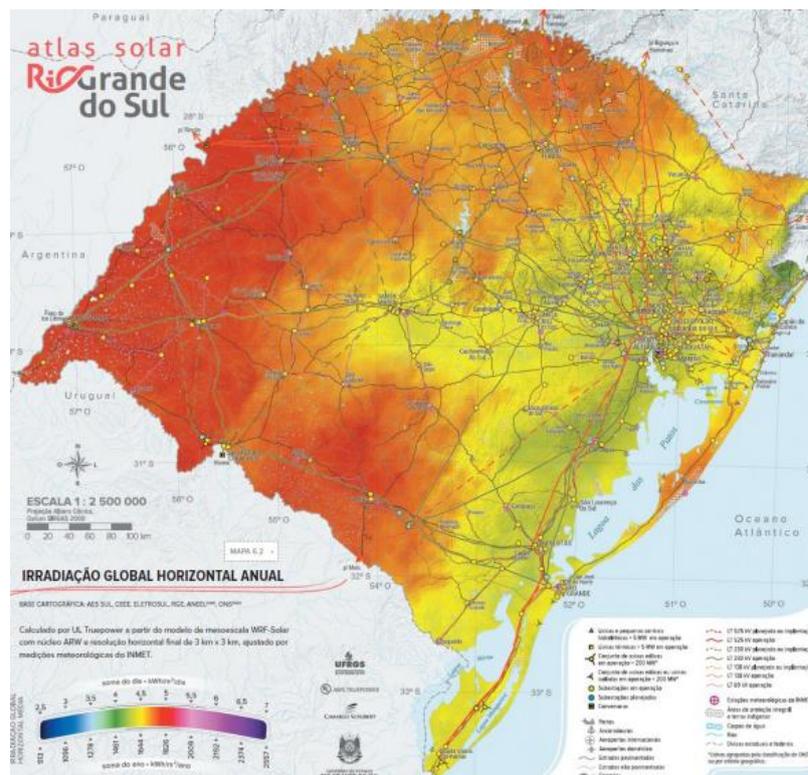
Figura 13. Incidência dos raios solares no módulo fotovoltaico.



Fonte: Adaptado de VILLALVA; GAZOLI, (2012).

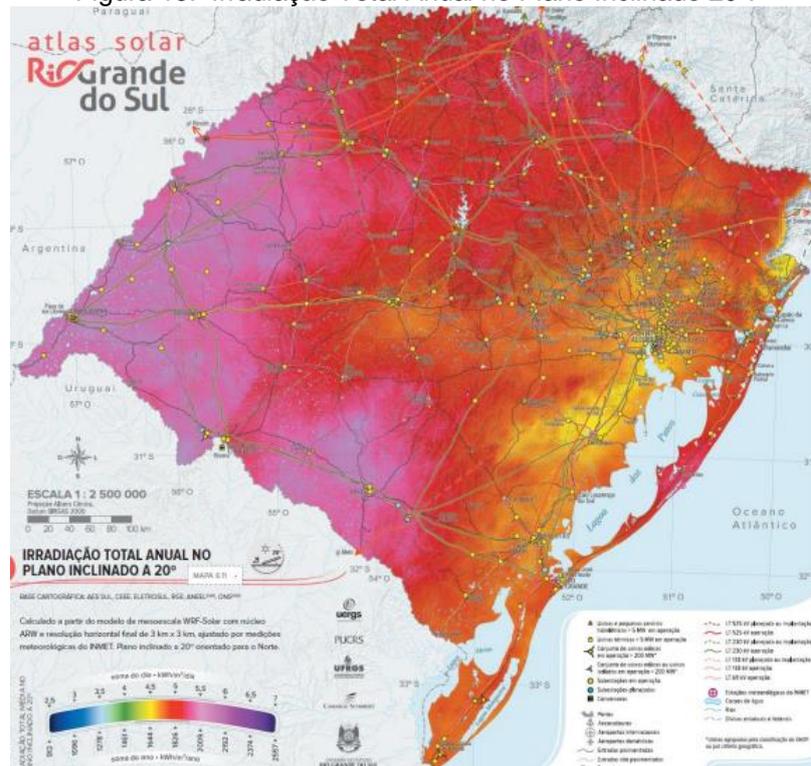
Com base nisso, foram concluídas as seguintes informações, contidas nas Figuras 14 e 15, sendo a primeira referente à irradiação horizontal anual, e a segunda a irradiação total anual no plano inclinado de 20°.

Figura 14. Irradiação Global Horizontal Anual no RS.



Fonte: Adaptado de Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2018.

Figura 15. Irradiação Total Anual no Plano Inclinado 20°.



Fonte: Adaptado de Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2018.

2.4 ENERGIA EÓLICA

A energia eólica tornou-se uma fonte importante de geração de energia em todo o mundo, com capacidade global atingindo mais de 600 GW em 2018 (ENERCONS, 2019). A tabela mostra os países com maior capacidade de produção de energia elétrica pelo vento, em ordem de grandeza.

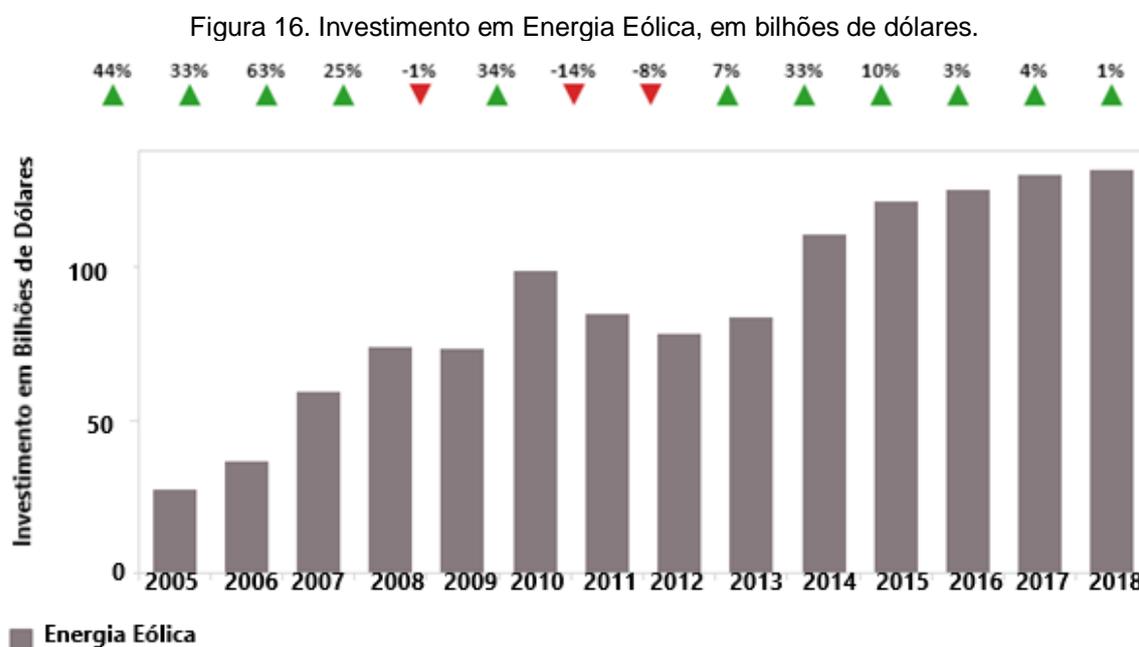
Tabela 6. Capacidade de Energia Eólica Mundial.

Capacidade de Energia Eólica	
País	Capacidade (GW)
China	221
EUA	96,4
Alemanha	59,3
Índia	35
Espanha	23
Reino Unido	20,7
França	15,3
Brasil	14,5
Canadá	12,8

País	Capacidade (GW)
Itália	10,1

Fonte: Adaptado de Power Technologies (2019).

A Figura 16 apresenta, a partir das informações de IRENA (2019), o investimento mundial, em bilhões de dólares americanos, feito no período de 2005 até 2018. Também pode se perceber a variação percentual de investimento, de ano para ano, mostrando que nesta variação 78,5% dos casos o investimento cresceu:



Fonte: Adaptado de IRENA (2019)

É importante analisar que a tecnologia de geração de energia não é necessariamente utilizada em terra firme. A energia eólica *offshore* é aquela em que se aproveita a força do vento em mar aberto, com o desenvolvimento de inovações técnicas para grandes estruturas sobre o leito marinho. A força do vento em alto-mar pode ser utilizada devido ao fato de ter maior velocidade (não há barreiras para quebrar o vento) e maior constância. Muitos países utilizam grande parte de sua geração via energia eólica *offshore*. A Tabela 7 a seguir mostra, por país europeu, o percentual de energia eólica *onshore* e *offshore*, e o quanto de sua malha energética isso representa.

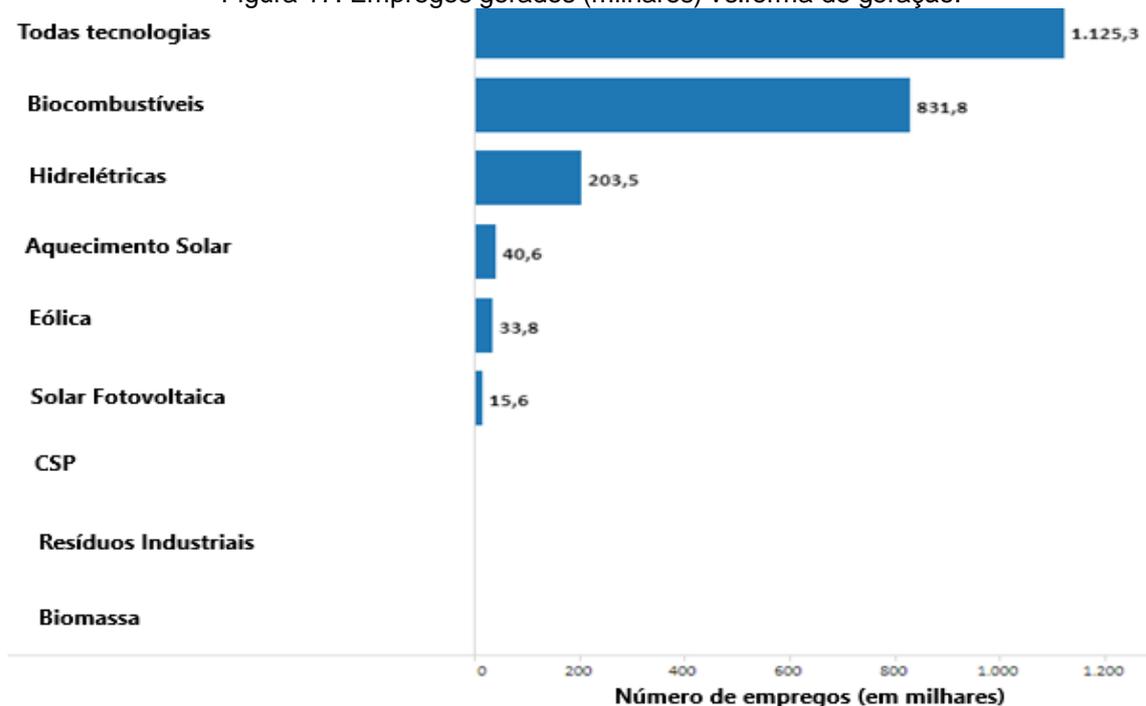
Tabela 7. Geração europeia de energia eólica *onshore* e *offshore*.**Percentual da Demanda Média de Energia Elétrica sanada via Geração Eólica**

País	Onshore (%)	Offshore (%)	Total (%)
Dinamarca	28	13	41
Irlanda	28	0	28
Portugal	24	0	24
Alemanha	18	3	21
Espanha	19	0	19
Reino Unido	9	9	18
Suécia	12	0	12
Romênia	10	0	10
Áustria	10	0	10
Grécia	9	0	9
Lituânia	9	0	9
Holanda	6	3	9
Estônia	7	0	7
Polônia	7	0	7
Bélgica	4	3	7
Finlândia	6	0	6
Itália	6	0	6
França	6	0	6
Cipre	5	0	5
Bulgária	3	0	3
Noruega	2	0	2
Hungria	1	0	1
República Tcheca	1	0	1

Fonte: Editada pelo autor, 2020.

Analisando a Figura 17, com olhos para a energia eólica (*Wind Energy*), percebe-se que foi a quarta maior forma de abertura de empregos dentro das fontes de geração de energia. Também impulsionado pela China.

Figura 17. Empregos gerados (milhares) vs.forma de geração.



Fonte: IRENA, (2019).

2.4.1 TURBINAS EÓLICAS

Grande parte das modernas turbinas eólicas são equipamentos para gerar eletricidade. Variam desde pequenas turbinas para produzir potências na ordem de dezenas ou centenas de kW, utilizadas principalmente em áreas rurais, até turbinas consideradas de grande porte que produzem potências na ordem de alguns MW e que normalmente estão interconectadas à rede elétrica (REIS, 2011). Pode-se dividir a classificação das turbinas eólicas como verticais e horizontais, fazendo referência à orientação do eixo do rotor em relação ao solo.

2.4.1.1 TURBINAS EÓLICAS HORIZONTAIS

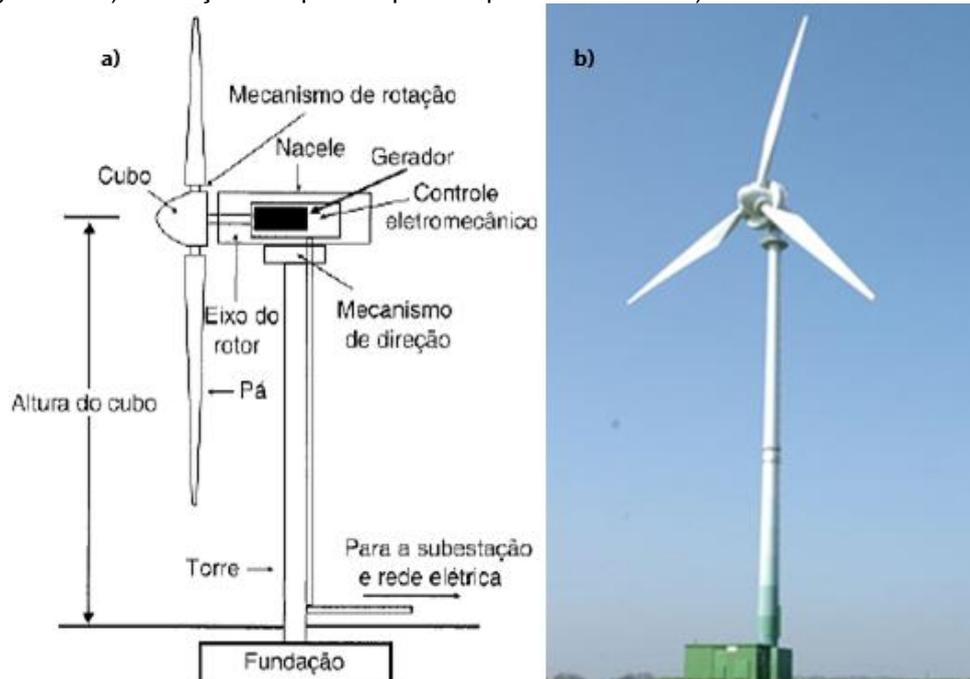
As turbinas eólicas horizontais são mais comuns em grande e baixo porte, isto devido à eficiência, investimento e custo benefício. São predominantemente movidos por força de sustentação (atuam perpendicularmente ao escoamento) e devem possuir mecanismos capazes de permitir que a seção varrida pelas pás esteja em posição perpendicular ao vento (REIS, 2011). O número de pás varia conforme a aplicação, sendo a geração de eletricidade comumente usada 3 pás. O

material das pás é geralmente fibra de vidro devido ao fato da pá ter necessidade de leveza, resistência e durabilidade.

As partes de um gerador de turbina horizontal, segundo Pinto (2014), e conforme a Figura 18, se dividem em:

- Torre: Estrutura que sustenta as pás e gerador, sendo a possibilidade de construção cônica (aço ou concreto) ou treliçada (aço);
- Nacele: Estrutura sob a torre que contém o gerador e a caixa de acoplamento. Dentro dele há o sistema que, através de um motor, direciona a turbina conforme o vento, de forma lenta para evitar vibrações;
- Caixa de Engrenagens: Fica dentro do nacele, e tem objetivo de sintonizar corretamente a baixa velocidade da turbina e a alta velocidade do gerador;
- Cubo: Estrutura na qual são fixadas as pás, construídas em aço ou liga metálica de alta resistência;
- Pá: Estrutura movimentada pelo vento, com construção em fibra de vidro;
- Gerador: Máquina elétrica responsável pela produção da eletricidade, podendo ser do tipo síncrona ou assíncrona.

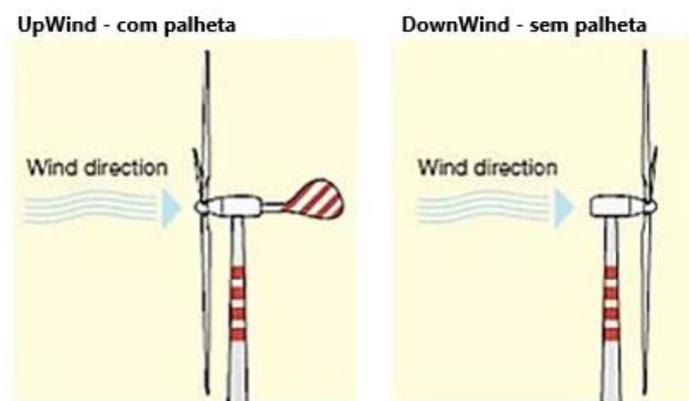
Figura 18. a) Ilustração das partes que compõem a turbina. b) Foto de turbina horizontal.



Fonte: PINTO (2014).

Uma característica deste tipo de turbinas é a necessidade de posicionamento da turbina conforme o vento. Tratando-se de uma turbina de pequeno porte, este posicionamento é feito passivamente pela própria turbina - chamado de sistema *downwind* - enquanto que em alguns casos se adiciona a cauda para evitar turbulências que a torre e a carcaça podem causar sobre as pás - chamado de sistema *upwind*, conforme Figura 19. A expressão *wind direction* remete à direção do vento.

Figura 19. Turbina eólica com sistema *upwind* - turbina eólica com sistema *downwind*.

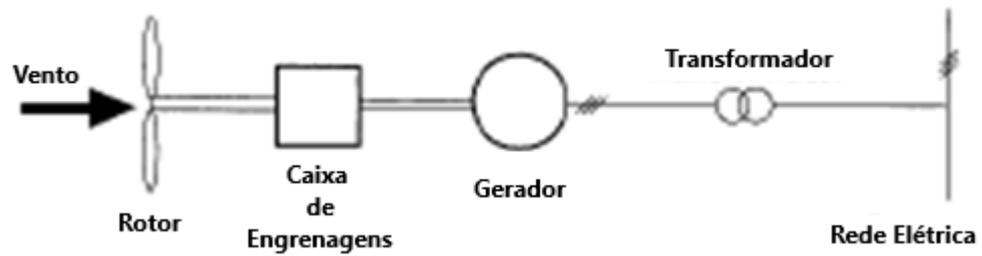


Fonte: Google Imagens, (2020).

Outro componente indispensável dentro de uma turbina eólica é o chamado anel coletor. Consiste basicamente em um anel e uma escova, no qual contato dos dois gera uma corrente elétrica. Assim, as escovas ficam fixas na torre, enquanto o anel gira junto com a turbina, dispensando a necessidade de cabos para transferir energia da turbina à torre. Caso contrário, o cabo elétrico que estaria conectado ao gerador giraria junto com a hélice, buscando vento, tendo a consequência de o cabo ficar enrolado ao tentar seguir a turbina, provocando mau funcionamento do sistema e curtíssima vida útil.

A Figura 20 mostra a sistemática de funcionamento de uma turbina eólica horizontal:

Figura 20. Sistema de funcionamento de uma turbina horizontal.



Fonte: Adaptada de PINTO, 2014.

2.4.1.2 TURBINAS EÓLICAS VERTICAIS

As turbinas de eixo vertical captam a energia dos ventos sem precisar alterar a posição do rotor com a mudança de direção dos ventos. Podem ser movidos por força de sustentação e por forças de arrasto (REIS, 2011).

São divididas em três principais tipos:

- Darrieus - Desenhadas com perfil aerodinâmico, com forma semelhante às asas de um avião, criando sustentação para se movimentarem e gerar energia, conforme Figura 21. São mais eficientes que seus concorrentes.

Figura 21. Turbina eólica vertical Darrieus.



Fonte: Google Imagens (2020).

- Savonius - Neste tipo de geradores, a força predominante é a de arrasto. Basicamente, o giro das turbinas ocorre pela pressão do ar sobre as pás. Geralmente mais baratas e começam a girar em uma velocidade mais baixa em relação a outros tipos. É o tipo menos eficiente em captação de energia e produção anual. A Figura 22 mostra o formato desta turbina.

Figura 22. Turbina eólica vertical Savonius.



Fonte: Google Imagens (2020)

- Darrieus-Savonius - Turbina eólica híbrida com os dois sistemas anteriores, acoplados no mesmo eixo, utilizando as vantagens de ambos os tipos de turbina, conforme Figura 23.

Figura 23. Turbina eólica vertical Darrieus-Savonius.



Fonte: Google Imagens (2020).

As turbinas de eixo vertical acabam apresentando um menor desempenho quando comparado à turbina eólica de eixo horizontal, visto que suas torres de sustentação são baixas, diminuindo o aproveitamento de maiores velocidades do vento em maior altitude. A manutenção pode ser difícil e cara, por exemplo, em pás de alumínio, sendo que há problemas estruturais a longo prazo devido à esforços por fadiga. Outro detalhe que encarece o produto é que, devido à aerodinâmica, sua modelagem matemática é muito mais complexa, dificultando o desenho.

2.4.3 CONEXÃO DE TURBINAS EÓLICAS À REDE

Assim como na geração solar fotovoltaica, as turbinas eólicas também apresentam a possibilidade de GD conectada à rede elétrica, nas instalações já providas de linhas de distribuição de energia.

“A conexão de um parque eólico no sistema elétrico é um dos pontos mais importantes da concepção de um projeto eólico. Os operadores do sistema de transmissão necessitam de toda uma documentação técnica para a permissão de conexão de um parque eólico no ponto de conexão. O ponto de conexão é na maioria das vezes definido como lado de alta tensão do transformador elevador do parque eólico. A exigência principal é o limite do desvio de tensão causado pelo parque eólico no ponto de conexão. Dois por cento de tensão nominal é o limite comumente estabelecido. A potência de curto-circuito no ponto de conexão é o valor decisivo para a instalação ou não do sistema eólico. Os órgãos reguladores estabelecem limites de frequência e tensão para uma operação normal. (...) Um parque eólico, qualquer que seja a tecnologia dos geradores, injeta potência ativa na rede no ponto de conexão. A primeira exigência a ser respeitada são os valores das correntes de regime estacionário, que não podem exceder os valores máximos admissíveis para diferentes partes do equipamento da rede, qualquer que seja a configuração desta. Um parque eólico modifica o fluxo de energia na rede e em geral aumenta a tensão no ponto de interface.” (PINTO, 2014, p.189)

2.4.4 DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL E VELOCIDADE DO VENTO

Para calcular-se a provável produção de energia de uma dada turbina eólica, é necessário entender o vento na localização planejada da turbina. A velocidade do vento na maior parte do mundo pode ser modelada usando a Distribuição de *Weibull*. Esta ferramenta estatística nos informa com que frequência ventos de velocidades diferentes serão vistos em um local com uma certa velocidade média

do vento. Este conhecimento ajuda a escolher uma turbina eólica com a velocidade de ativação ideal (a velocidade do vento na qual a turbina começa a gerar energia utilizável) e a velocidade de desativação (a velocidade na qual a turbina atinge o limite de seu alternador e não pode mais produzir potência aumentada com aumentos adicionais na velocidade do vento).

A Figura 24, retirada de notas de aula de Tiago Cassol Severo (2019), é um exemplo genérico da distribuição de *Weibull* para um sistema eólico. Pode-se perceber a relação de horas anuais em que cada velocidade do vento é amostrada. Este estudo será feito posteriormente para a cidade de Vacaria no capítulo de projeto eólico.

Figura 24. Exemplo de Distribuição de Weibull.



Fonte: Adaptada de Notas de Aula, SEVERO (2019).

Tratando-se dos impactos que o clima pode causar na geração de uma turbina eólica, tem-se um dos principais pontos de viabilidade ou não do sistema. Segundo Somar Meteorologia (2018), a maior ameaça à produção de energia por meio dos ventos é a ausência das condições adequadas de densidade e velocidade para fazer girar as turbinas. Os aerogeradores geralmente começam a trabalhar quando o deslocamento do ar chega aos 3 m/s (ou 10 km/h), e têm seu funcionamento interrompido quando essa marca alcança de 90 a 100 km/h, para evitar danos ao equipamento e possíveis problemas relacionados à segurança.

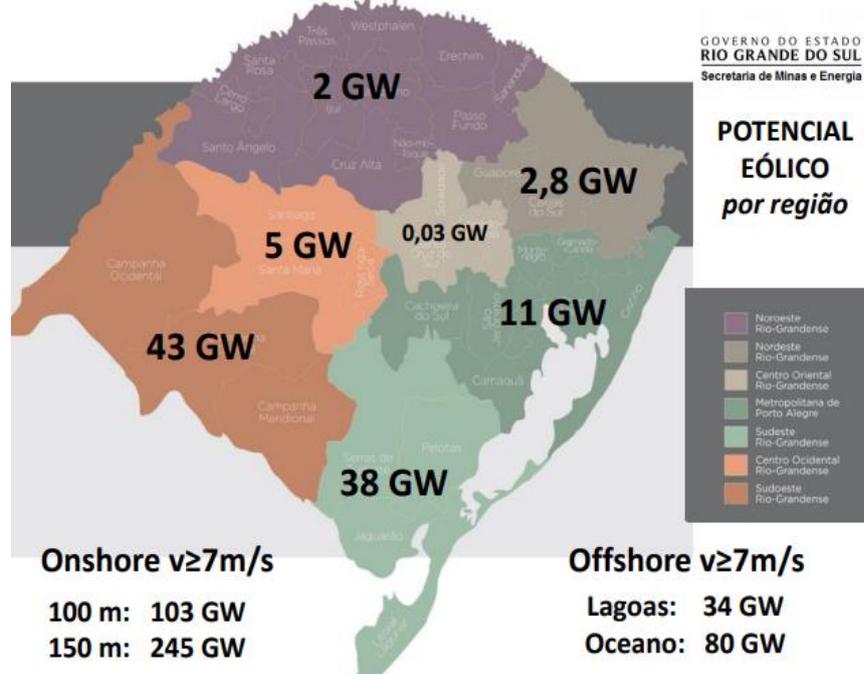
Assim, o ponto alto do desempenho das turbinas acontece quando as velocidades estão entre 25 e 40 km/h.

Segundo Somar Meteorologia (2018), nos períodos de maior seca — quando não venta muito —, a produção de energia eólica sofre uma pequena baixa. Já nos períodos mais chuvosos — quando, em nosso país, há também tempestades e mais ventos — há uma produção maior de energia.

2.4.5 MAPA EÓLICO DO RIO GRANDE DO SUL

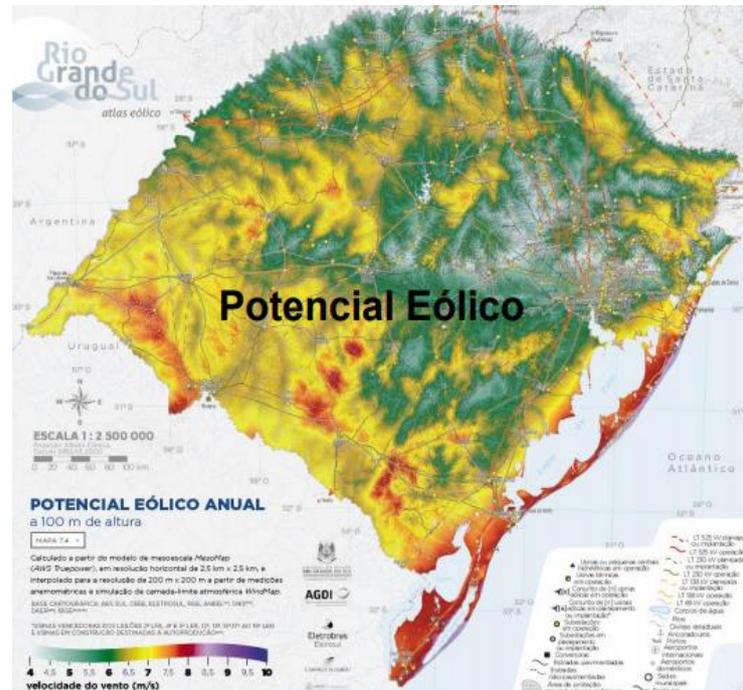
O Rio Grande do Sul lançou em 2014, um novo atlas eólico da região, sob o governo de Tarso Genro, via Secretaria de Minas e Energia. Este estudo levou em consideração uma análise pela velocidade média do vento em cada região de estado, e a proposta de potencial energético. As Figuras 25 e 26 mostram a conclusão do estudo via mapas do estado.

Figura 25. Potencial eólico Rio Grande do Sul.



Fonte: Adaptada de Governo do Rio Grande do Sul (2014)

Figura 26. Velocidade do vento no Rio Grande do Sul- 100m de altura.



Fonte: Adaptada de Governo do Rio Grande do Sul (2014).

Percebe-se que a região de estudo deste trabalho encontra-se no nordeste do estado, região entre a Serra Gaúcha e os Campos de Cima da Serra. A Figura 27 apresenta de forma ampliada a relação de cores dos mapas com a velocidade média anual de vento.

Figura 27. Tabela de velocidades dos ventos.



Fonte: Adaptada de Atlas de Potencial Eólico Brasileiro (2001).

A velocidade a ser utilizada no projeto será referenciada pelas informações obtidas pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia., em seu banco de dados. Esta velocidade será proporcionalmente adaptada à altura necessária pela Lei das Potências, no capítulo de projeto eólico.

2.5 ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

Neste capítulo serão apresentadas e explicadas as formas de análise de investimentos que serão usadas na avaliação dos projetos, assim que os mesmos estiverem concluídos e com seus possíveis custos já estimados. Desta forma, cada método tem sua individualidade e propósito, a fim de trazer diferentes aspectos na hora da tomada de decisão.

2.5.1 PAYBACK

Segundo Gitman (2006), o período de *payback* é o tempo necessário para que a empresa recupere o investimento inicial em um projeto, calculado com suas entradas de caixa. É um método bastante utilizado na prática. Seleciona-se certo período de corte, por exemplo, de três anos. Todos os projetos que tiverem períodos de *payback* de três anos ou menos serão aceitos, e todos os que tiverem recuperação do investimento superior a três anos serão rejeitados.

Este método tem como principais vantagens o fato de ser bastante simples na sua forma de cálculo e de fácil compreensão, além de fornecer uma ideia do grau de liquidez e de risco do projeto. Em tempo de grande instabilidade e pela razão anterior, a utilização deste método é uma forma de aumentar a segurança dos negócios da empresa, sendo ele adequado à avaliação de projetos em contexto de risco elevado e adequado à avaliação de projetos com vida limitada;

Segundo Moraes (2016), a Equação 1 é a utilizada no cálculo de *Payback* de um investimento:

$$Payback = \frac{Investimento\ Inicial}{Ganho\ no\ período} \quad (1)$$

2.5.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO

O VPL é uma técnica sofisticada de avaliação econômica de investimento que leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, ou seja, o dinheiro ao longo do tempo descontado a uma determinada taxa de desconto, ou custo de oportunidade ou retorno exigido (STOPATTO, 2016). Esse método traz a vantagem de que, caso o projeto seja aceito, garantirá a remuneração exigida pelos investidores, pois os fluxos de caixa futuros projetados são descontados a um custo

de capital estabelecido pelo investidor. Esse custo de capital é uma taxa de desconto que remunera o capital a ser aplicado pelo investidor, garantindo retorno suficiente para preservar e aumentar sua riqueza.

Segundo Ross, Westerfield e Jaffe (2002), a superioridade do critério de avaliação econômica de investimentos pelo critério do VPL reside em três características principais. A primeira é que o valor presente líquido usa fluxos de caixa. Estes fluxos são utilizados em projetos de investimento, pagamento de dividendos, pagamento de juros. Conforme esclarece Gitman (2006), os lucros contábeis não devem ser usados em análise de investimentos, pois não representam fluxos de caixa. A segunda característica é que o VPL usa todos os fluxos de caixa do projeto analisado. Outros critérios ignoram os fluxos além de determinada data. A terceira é que o valor presente líquido desconta os fluxos de caixa corretamente. Outros critérios podem ignorar o valor do dinheiro no tempo.

Por essas características, o valor presente líquido VPL é considerado o melhor método de análise econômica de investimentos. Segundo Gitman (2003), a Equação 2 é utilizada para cálculo de VPL:

$$VPL = \sum_{t=1}^N \frac{FC}{(1 + K)^t} - FCo \quad (2)$$

Tem-se que:

- VPL = Valor Presente Líquido;
- FC = Fluxo de Caixa;
- K = taxa de juros;
- t = período de tempo;
- FCo = Investimento inicial do projeto.

Tem-se que, se o resultado $VPL \geq 0$, o projeto pode ser aceito. Se $VPL < 0$, ele deve ser rejeitado.

2.5.3 TAXA INTERNA DE RETORNO

A Taxa Interna de Retorno é uma técnica sofisticada de avaliação econômica de investimento que leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, ou seja, o dinheiro ao longo do tempo descontado a uma determinada taxa de desconto, custo

de oportunidade ou retorno exigido. A técnica consiste em se obter uma taxa para sintetizar os méritos de um projeto, conforme Ross, Westerfield e Jaffe (2002). Essa taxa não depende do mercado - a taxa é chamada de interna por que é calculada em função do fluxo de caixa do projeto estudado.

A técnica apresenta um pressuposto básico, que é a taxa interna de retorno de um projeto, que somente será verdadeira se todos os fluxos de caixa forem reinvestidos na própria TIR.

A TIR é uma excelente técnica de análise econômica de investimento, mas apresenta algumas limitações para projetos de investimentos não convencionais. Aqueles em que os fluxos financeiros alternam-se entre entradas e saídas intercaladas, ou seja, podem existir saídas de caixa, depois entradas, depois saídas novamente, e assim sucessivamente. Nesses casos, ao calcular-se a TIR pode-se encontrar várias taxas possíveis, uma única taxa ou situações em que não há solução.

Segundo Gitman (2006), a Equação 3 é a utilizada no cálculo da TIR:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1 + TIR)^t} - FCo \quad (3)$$

Tem-se que:

- TIR = Taxa Interna de Retorno;
- FC = Fluxo de Caixa;
- t = período de tempo;
- FCo = Investimento Inicial do projeto.

Tem-se que se a TIR > que o custo de capital, deve-se aceitar o projeto. Se a TIR < que o custo de capital, deve-se rejeitar o projeto.

2.5.4 ÍNDICE DE LUCRATIVIDADE

Segundo Assaf (2006), o índice de lucratividade (IL) é o quociente entre o valor atual das entradas de caixa e o investimento inicial do projeto. O índice de lucratividade não difere muito do valor presente líquido. A única diferença é o fato que o IL mede o retorno relativo ao valor atual dividido pelo valor investido. O valor

presente líquido é a diferença de valores entre o valor atual dos retornos e o investimento inicial. Segundo Stopatto (2016), o IL é definido pela equação 4:

$$IL = \frac{\text{Valor atual das entradas de caixa}}{\text{Investimento inicial}} \quad (4)$$

O índice de lucratividade é uma técnica sofisticada de análise econômica de investimentos, pois considera o valor do dinheiro no tempo. Possui como critério de decisão de aceitar projetos quando $IL \geq 1$, caso contrário, quando $IL < 1$, o projeto deverá ser rejeitado. Quando o índice de lucratividade for maior ou igual a 1, o valor presente líquido será maior ou igual a zero.

2.5.5 OUTROS ÍNDICES E CONCEITOS

Alguns índices são menos relevantes na tomada de decisão de investimento, mas são importantes para avaliar resultados tendo como base ativos e passivos de uma empresa/instituição.

Segundo Ross, Westerfield e Jaffe (2015), os atributos da rentabilidade em uma organização são de difícil visualização, pois, de forma geral, medem as diferenças entre as receitas e os custos. As maneiras para medir-se a rentabilidade não são infalíveis. O que é feito em termos de medição de rentabilidade é a medição contábil passada ou corrente. Pode-se apontar como deficiência da utilização dos índices o fato de que eles ignoram o risco, sendo a maior fragilidade conceitual das medidas de rentabilidade contábil a ausência de padrões de comparação. A rentabilidade econômica para as empresas é comprovada quando essa rentabilidade obtida por uma empresa é maior que a fornecida pelo custo de oportunidade. A maior fragilidade dessa metodologia, assim como outros critérios que são utilizados para análise econômica, é o fato de não considerar os fluxos de caixa ao longo do tempo.

Desta forma, segundo Stopatto (2016), as equações 5, 6 e 7 apresentam as margens, respectivamente, de lucro bruto, de lucro operacional e de lucro líquido:

$$\text{Margem de Lucro Bruto} = \frac{\text{Receita} - \text{Despesa}}{\text{Receita}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Margem Operacional} = \frac{\text{Resultado Operacional}}{\text{Receita}} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{Margem de Lucro Líquido} = \frac{\text{Lucro}}{\text{Receita}} \times 100 \quad (7)$$

Outro conceito importante no contexto financeiro é de Taxa Mínima de Atratividade. A TMA é um índice de juros muito importante na avaliação de qualquer investimento ou financiamento. Isso acontece porque essa taxa representa o mínimo esperado de retorno financeiro que uma aplicação deve trazer para ter viabilidade ao negócio. Pode-se pensar nessa taxa como um parâmetro de custo de oportunidade para uma aplicação financeira. Por exemplo, não há motivos para se aplicar capital em um investimento de risco, cuja projeção de valorização esteja abaixo de investimentos de Renda Fixa, de baixo risco. Muitos atrelam esta taxa à própria taxa básica de juros (SELIC) mais algum percentual, ou algum índice do gênero. Portanto, esta taxa é variável e especifica o retorno sobre investimento mínimo esperado.

3 ESTUDO DE CASO E CENÁRIO DE PESQUISA

Este trabalho teve como proposta um estudo de viabilidade técnica e financeira de instalação de geração de energia solar fotovoltaica e energia eólica, com objetivo de redução de custos à entidade, no Campus de Vacaria da Universidade de Caxias do Sul. Definidos os escopos de projeto e soluções propostas, cada situação foi avaliada individualmente nos moldes de análise de investimentos, e comparadas entre si para a chegada de uma conclusão de qual a mais viável, se houver possibilidade.

3.1 A UNIDADE CONSUMIDORA

A instalação e unidade consumidora em questão fica localizada na Avenida Dom Frei Cândido Maria Bampi, do bairro São Francisco, zona leste da cidade de Vacaria, nos Campos de Cima da Serra do Rio Grande do Sul. A Figura 28 mostra a visão aérea da instituição, fornecida pelo *Google Earth*.

Figura 28. Visão aérea da Unidade Consumidora.



Fonte: Adaptada de *Google Earth* (2018).

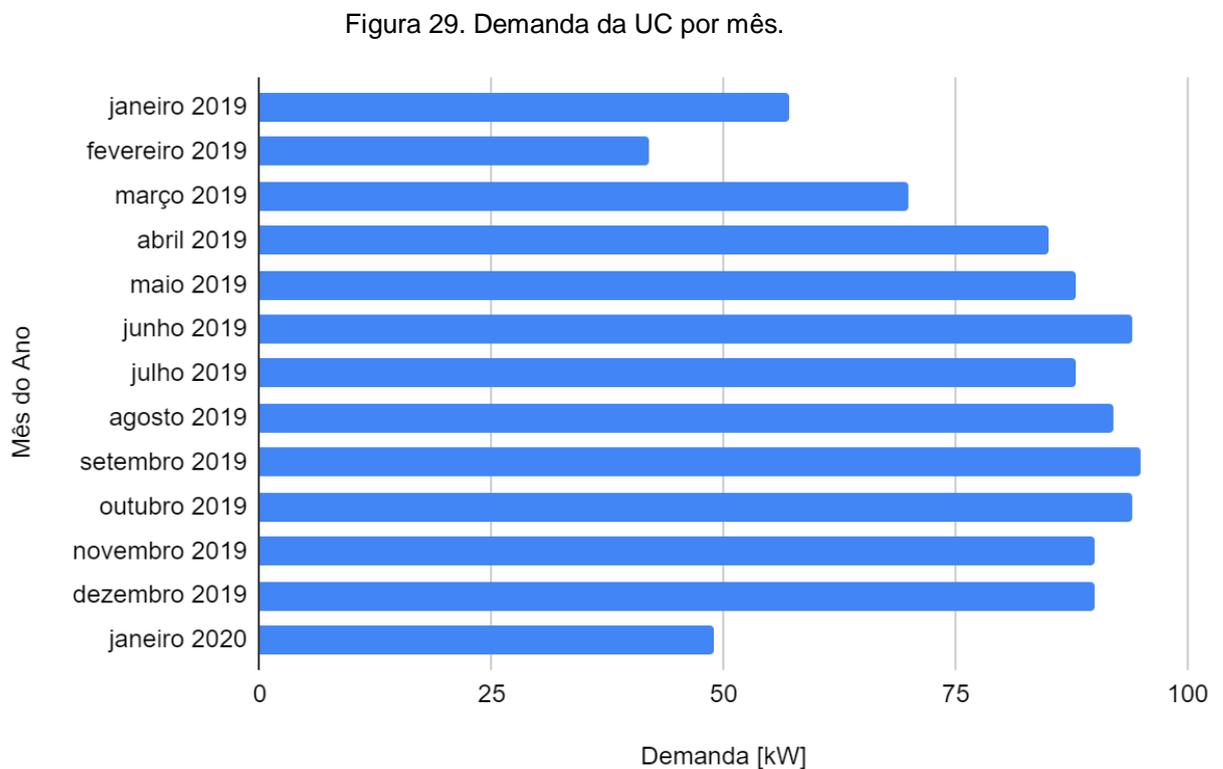
Segundo ANEEL (2015), as modalidades tarifárias - conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas - são definidas de acordo com o Grupo Tarifário, seguindo as opções de contratação definidas na REN nº 414/2010 e no Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária - PRORET.

Basicamente, enquadrados no grupo A, estão as unidades consumidoras da Alta Tensão (Subgrupos A1, A2 e A3), Média Tensão (Subgrupos A3a e A4), e de sistemas subterrâneos (Subgrupo AS):

- Horário Azul: tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários). Disponibilizada para todos os subgrupos do grupo A; e
- Horária Verde: tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários), e de uma única tarifa de demanda de potência. Disponível para os subgrupos A3a, A4 e AS.

A modalidade tarifária desta unidade é a tarifa verde-A4, visto que recebe tensão contratada de 23,1kV (subgrupo A4) e demanda contratada de 100kW.

A Figura 29 retrata os valores de demanda, em kW, do período utilizado para análise (janeiro de 2019 a janeiro de 2020).

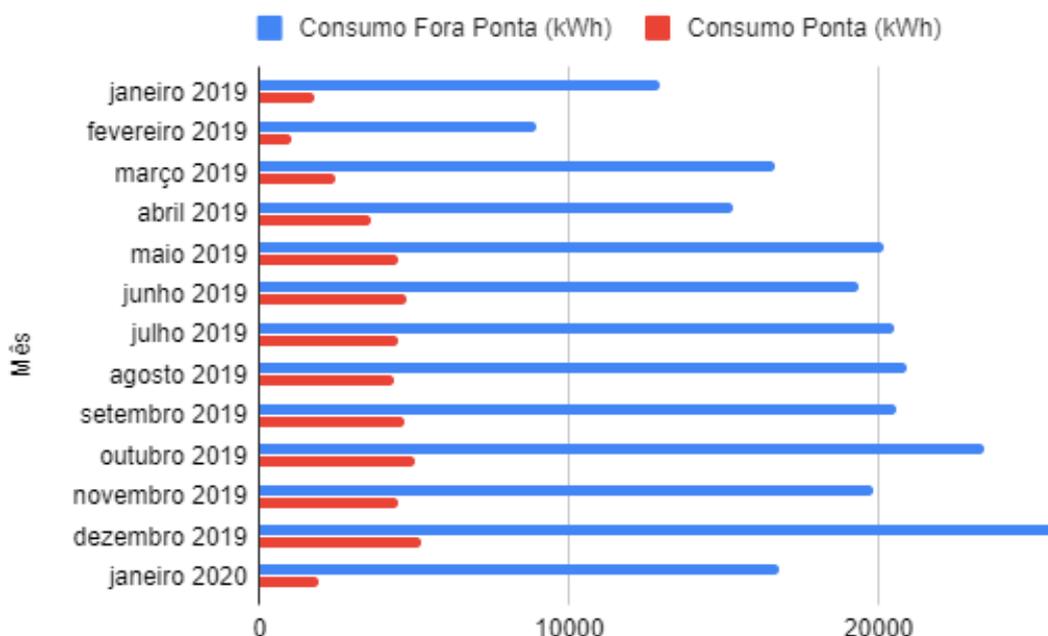


Fonte: Editado pelo autor (2020).

Conforme a Figura 29, pode-se afirmar que a demanda média do período analisado se encontra em torno de 86,16 kW. O período mensal de janeiro e fevereiro joga esta média para baixo, considerando que não há aulas na instituição, devido ao recesso e férias, de alunos e alguns colaboradores. A demanda máxima registrada neste período foi de 95 kW, em setembro de 2019.

A Figura 30 mostra a relação de consumo de ponta e consumo fora de ponta, ambos em kWh, do período de janeiro de 2019 até janeiro de 2020.

Figura 30. Consumo da UC por mês.



Fonte: Editado pelo autor (2020).

A Tabela 8 apresenta os valores das tarifas (já com impostos e tributos), expressos na tarifa de energia do mês de janeiro de 2020, que é a última fatura do período. A sigla TUSD representa Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição, e TE representa Tarifa de Energia.

Tabela 8. Tarifas aplicadas à UC em janeiro de 2020.

Consumo	Tarifa em R\$, com tributos
Consumo Ponta (kWh) - TUSD	1,27710235
Consumo Fora Ponta (kWh) - TUSD	0,1270005
Consumo Ponta - TE	0,65997313
Consumo Fora Ponta - TE	0,39605137
Demanda (kW) - TUSD	31,55248398

Fonte: Editado pelo autor (2020).

Um dos objetivos deste trabalho é a análise econômica dos projetos propostos, a fim de reduzir a fatura de energia da UC. Desta forma, sabe-se que o custo relativo ao período de 12 meses analisado foi de R\$ 240.507,12, tendo com isso uma média mensal de R\$ 20.042,26. Sabe-se também que, como ilustrado na Figura 30, relativa ao consumo da UC, nos primeiros meses do ano o consumo é menor, pois a universidade está fechada para os alunos.

3.3 PREMISSAS FINANCEIRAS

Conforme citado anteriormente, ao tratar-se de investimentos, o investidor deve traçar uma TMA – Taxa Mínima de Atratividade – que será a base para guiar se compensa o investimento. Desta forma, consegue-se analisar se o risco é maior que o prêmio, algo indesejado nas finanças. Assim, a Tabela 9 apresenta vários indicadores e taxas, a fim de se traçar uma média de variações percentuais e se estabelecer a TMA desejada. Estes indicadores são variações percentuais, negativas ou positivas, durante o período de janeiro de 2019 até janeiro de 2020, de forma a ser o mesmo período analisado nas faturas de energia.

Tabela 9. Variação dos principais índices e ativos brasileiros.

Indicador	Variação em 2019 (%)
Taxa básica SELIC	4,75
CDI	4,66
CDB (média)	5,12
Tesouro Direto	6,34
Poupança	4,34
Ibovespa	31,58
IGP-M	7,3

Fonte: Editado pelo autor (2020).

Com estes valores, pode-se encontrar um valor médio de variação para cálculo da TMA. Basicamente, esta média corresponde a um valor percentual que enquadre a TMA acima dos investimentos de capital de baixo risco, como poupança e Tesouro, e abaixo dos investimentos de alto risco e alto (possivelmente)

rendimento, assim provando eficiência na alocação de capital para determinado projeto. Sendo:

$$\text{Valor Médio} = \frac{4,75 + 4,66 + 5,12 + 6,34 + 4,34 + 31,58 + 7,3}{7} = 9,15 \%$$

A partir deste valor, soma-se o índice IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo - que representa o índice médio da inflação. Este índice é medido pela variação no custo de uma cesta básica ao longo de um determinado período, sendo um dos principais indicadores da variação dos preços ao longo do tempo. Desta maneira, leva-se em consideração nos cálculos uma possível perda de poder de compra da moeda. Segundo IBGE (2019), o IPCA de 2019 teve aumento de 4,31 %. Assim, tem-se que:

$$TMA = 9,15 + 4,31 = 13,46\%$$

Assim, define-se que a Taxa Mínima de Atratividade a ser considerada na análise dos investimentos é de 14%. Este valor será a referência na viabilidade e retorno dos investimentos propostos.

4 ESTUDO DE PROJETO E VIABILIDADE DE ENERGIA SOLAR

Conforme visto na revisão até aqui, percebe-se que a geração de energia solar fotovoltaica tem sido um investimento bastante utilizado para reduzir o custo da energia elétrica em um prazo relativamente curto, visto que a usina solar começa a gerar energia imediatamente após sua instalação. Deste modo, foi projetado um sistema condizente com as características da instalação, com objetivo de ao final verificar se há eficiência no investimento para instalação da usina na UC. Segundo Pinho e Galdino (2014), principais etapas de projeto de um sistema fotovoltaico são:

- Levantamento do recurso solar disponível no local da aplicação;
- Definição da localização e configuração do sistema;
- Levantamento adequado de demanda e consumo de energia elétrica;
- Dimensionamento do gerador solar;
- Dimensionamento dos equipamentos secundários.

4.1 IRRADIAÇÃO LOCAL E RECURSO SOLAR

A localização geográfica da Unidade Consumidora foi demonstrada anteriormente na Figura 28. Esta localização, que é referenciada pelas coordenadas latitudinais de 28,510833° Sul e longitudinais 50,929722° Oeste, tem a irradiação solar diária média mensal, em kWh/m²dia, conforme a Tabela 10, extraída do *software SunData*, onde se reúnem todas as informações mais atualizadas sobre energia solar brasileira.

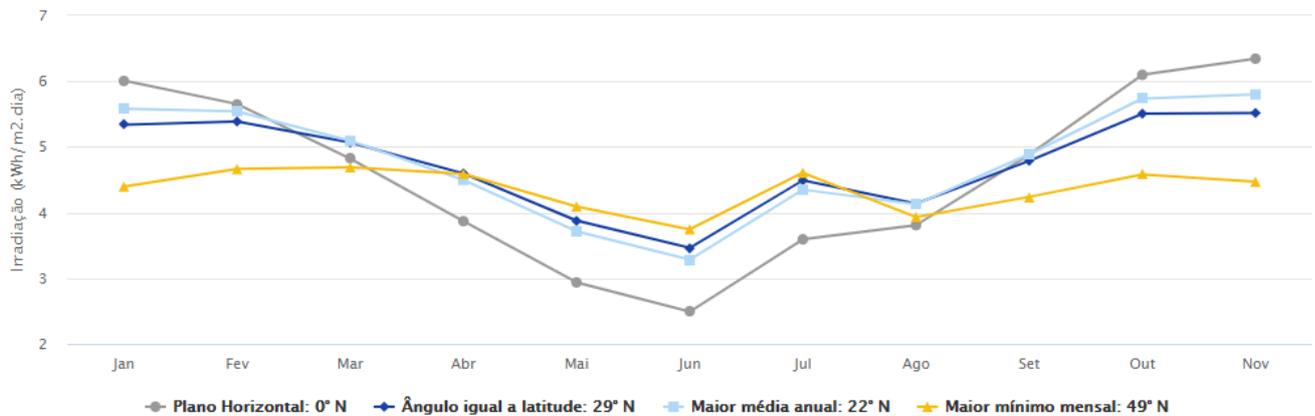
Tabela 10. Irradiação solar diária média mensal em Vacaria – RS (kWh/m²dia).

Ângulo	Inclinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	6,01	5,65	4,82	3,87	2,94	2,49	2,8	3,59	3,81	4,88	6,1	6,34	4,44	3,85
Ângulo = latitude	29° N	5,34	5,39	5,07	4,6	3,88	3,46	3,84	4,49	4,14	4,79	5,5	5,52	4,87	2,05
Maior média anual	22° N	5,58	5,54	5,09	4,5	3,71	3,28	3,65	4,35	4,12	4,89	5,74	5,8	4,69	2,51
Maior mínimo mensal	49° N	4,4	4,66	4,69	4,59	4,09	3,75	4,12	4,61	3,93	4,24	4,58	4,47	4,34	0,95

Fonte: Adaptado de CRESESB (2020).

A Figura 31 mostra a relação linear entre os meses do ano.

Figura 31. Irradiação solar em Vacaria – RS, mensal linear.



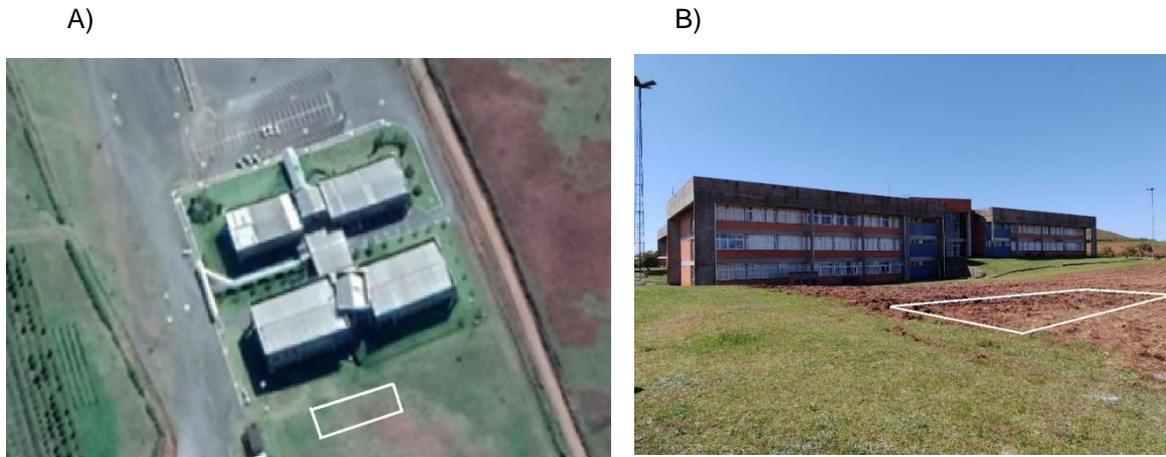
Fonte: CRESESB (2020).

Levando-se em consideração estas informações, definiu-se aqui que a maior média anual de irradiação é de 4.69 kWh/m²dia, num plano inclinado de 22°, é o valor a ser utilizado para irradiação e ângulo de inclinação do projeto.

4.2 LOCALIZAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

Segundo Pinho e Galdino (2014), mesmo dentro de uma região com recurso solar uniforme, a escolha do local em que os painéis serão efetivamente instalados pode ser determinante de seu desempenho. A integração com elementos arquitetônicos e a presença de elementos de sombreamento ou superfícies reflexivas próximas podem afetar a eficiência de um sistema fotovoltaico. Desta forma, foi analisada a região de entorno da UC a fim de otimizar a posição dos painéis tanto no contexto técnico quanto no contexto visual e prático. Assim, conforme a Figura 32, a posição escolhida segue as linhas brancas da imagem. Este local fica posicionado atrás da estrutura de salas de aula da Universidade, de forma a não causar impacto visual na fachada da mesma, cuja entrada e estacionamento fica do lado oposto aos painéis. Foi observado em campo que atualmente não há utilização para a área proposta de instalação, que ocuparia em torno de 433 m², segundo os painéis escolhidos em seguinte análise.

Figura 32. Local proposto para instalação dos painéis solares. A) Visão de satélite. B) Visão de solo.



Fonte: A) Adaptado de *Google Earth* (2018). B) Editado pelo autor (2020).

Dentro do mercado atual, existem dezenas de opções de painéis solares para se fazer uso em projetos. Foi optado como base para todo dimensionamento de potência e custo, ou seja, análise técnica e financeira, o modelo MAXPOWER CS6U-335P, um painel policristalino produzido pela *CanadianSolar*. A escolha deu-se primeiramente pela marca do painel, sendo bem reconhecida no mercado pela qualidade e garantia. A potência do painel, em relação à sua área física também ajuda na decisão, pois consegue se aproveitar melhor o espaço reduzindo a área de instalação. As especificações técnicas encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11. Especificações Técnicas MAXPOWER CS6U-335.

Potência Máxima Nominal	335W
Tensão de Operação	37,4V
Corrente de Operação	8,96A
Tensão Circuito Aberto	45,8V
Corrente Curto Circuito	9,54A
Eficiência	17,23%
Tensão Contínua Máx.	1500V
Faixa de Temperatura	-40°C ~ +85°C
Dimensões	1960 x 992 x 35mm
Área ocupada	1,94m ²
Peso	22,40 kg
Garantia	10 anos ~ defeitos
	25 anos ~ eficiência

Fonte: *CanadianSolar* (2018).

Quanto à configuração do sistema, os módulos podem ser conectados em ligações série e/ou paralelo, dependendo da corrente e tensão desejadas, para formar painéis fotovoltaicos com potência mais elevada. Ao definir como serão associados os módulos, é necessário ter informações de como deverá ser a instalação e quais componentes serão utilizados, pois as tensões e correntes resultantes devem ter plena compatibilidade com esses componentes (PINHO; GALDINO, 2014). Desta forma, deve-se arranjar os painéis de forma a otimizar o uso dos inversores de frequência, respeitando as características do mesmo conforme equação 8 (PINHO; GALDINO, 2014). A escolha do mesmo se faz em conjunto com a potência de geração projetada, definida em 75kW, característica máxima da microgeração.

$$V_{inversorM\acute{a}x} > N_{m\acute{o}dulos} \times V_{circuitoaberto} \quad (8)$$

Tem-se que:

$V_{inversorM\acute{a}x}$ = Tensão máxima na entrada do inversor, em Volts;

$N_{m\acute{o}dulos}$ = Número máximo de módulos em série;

$V_{circuitoaberto}$ = Tensão de circuito aberto do painel escolhido;

4.3 REVISÃO DA DEMANDA E ESCOLHA DA POTÊNCIA MÁXIMA GERADA

Segundo ANEEL (2012), na Resolução Normativa Nº 482, a potência instalada da microgeração e da minigeração distribuída fica limitada à potência disponibilizada para a unidade consumidora onde a central geradora será conectada. Conforme análise anterior da fatura de energia da Unidade Consumidora, tem-se de forma sintetizada na Tabela 12 a revisão dos parâmetros encontrados.

Tabela 12. Síntese dos parâmetros da UC..

Demanda Contratada	100 kW
Tensão Contratada	23,1 kV
Tarifa	Verde-A4
Demanda Máxima últimos 12 meses	95 kW
Demanda Média últimos 12 meses	86,16 kW

Fonte: Editado pelo autor (2020).

Segundo as novas regras, que começaram a valer em 1º de março de 2016, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 kW e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2020). Desta forma, definiu-se então que o sistema projetado respeitará o conceito de microgeração, tendo limite de potência instalada da central geradora de 75 kW, representando 75% da demanda máxima contratada e 87% da demanda média dos últimos meses.

4.4 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR SOLAR

A potência de um minigerador que compõe um SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede - pode ser calculada pela equação 9, na qual a fração da demanda foi escolhida no item anterior, tendo em mente a proporção a ser suprida pelo gerador. O desempenho de um sistema fotovoltaico é tipicamente medido pela Taxa de Desempenho TD, definida como a relação entre o desempenho real e o desempenho máximo teórico possível, levando em consideração perdas possíveis por resistência de conectores, sujeiras na superfície do painel, sombreamento, eficiência do inversor, etc. (PINHO; GALDINO, 2014). Como o local escolhido é pouco sombreado e bem arejado, utilizou-se TD de 80%.

$$P_{fv} (kWp) = \frac{(C_{med} \div TD)}{I_{med} \times I_{cntp}} \quad (9)$$

Tem-se que:

P_{fv} (kWp) – Potência de pico do painel fotovoltaico;

C_{med} (kWh) – Consumo diário médio da edificação ou fração deste;

I_{med} (kWh/m²) – Potência média anual das Horas Solares Plenas incidentes no plano do painel;

I_{cntp} – 1kW/m²;

TD (adimensional) – Taxa de desempenho.

Também deve se levar em consideração nesta análise, que a UC é pertencente ao grupo A de tarifação, então o consumo diário médio deve ser reajustado proporcionalmente de acordo com a diferença tarifária de horário de ponta e horário fora de ponta. Esta componente é chamado de fator de ajuste, conforme a Equação 10 de ANEEL (2016).

$$C_{médio} = C_{médioFP} + \frac{C_{médioP}}{\frac{TE_{fp}}{TE_p}} \quad (10)$$

Tem-se que:

$C_{médio}$ (kWh) – Consumo médio diário;

$C_{médioFP}$ (kWh) – Consumo médio diário horário fora de ponta;

$C_{médioP}$ (kWh) – Consumo médio diário horário de ponta;

TE_{fp} (R\$/kWh) – Tarifa de Energia consumo fora de ponta;

TE_p (R\$/kWh) – Tarifa de Energia consumo de ponta;

Tendo isso em vista, foram-se propostos os valores finais do projeto. A potência máxima sendo de 75 kW, e irradiação 4,69 kWh/m², conforme dados vistos o software *SunData*, o sistema proposto será capaz de gerar em média 281 kWh por dia, com taxa de desempenho em 80%, conforme equação 9, isolando-se o componente C_{med} .

$$C_{med} = 75 \times 4,69 \times 0,8 = 281 \text{ kWh}$$

O consumo diário médio dos últimos 12 meses, é de 660,86 kWh no horário fora de ponta, e 131,89 kWh no horário de ponta. Somando os dois consumos, tem-se um total de 792,75 kWh, mas, conforme visto na Equação 10, este valor tem de ser reavaliado, totalizando um consumo de 880,61 kWh considerando o fator de ajuste. Isso ocorre devido a diferença tarifária de ponta e fora de ponta do grupo A, de forma que este fator torna mais realista a análise financeira posterior.

Portanto, a capacidade produtiva de 281 kWh por dia, é capaz de suprir 31,9% do limítrofe ideal pressuposto de 880,61 kWh, ajustado. Sabendo que a geração ocorre no período diurno, que está quase em sua totalidade vinculado ao horário fora de ponta, projetou-se que o sistema fotovoltaico conectado à rede suprirá 42,5% do consumo fora de ponta.

Para projetar a quantidade de painéis necessários para atender essa demanda escolhida, dividiu-se a potência máxima de pico do sistema, pela potência máxima nominal do painel escolhido. No caso, o painel MAXPOWER CS6U-335P tem potência máxima nominal e 335 W. Logo, 75 kW dividido por 335W resulta num total de 223 painéis.

Na escolha de inversores de frequência, deve-se respeitar a Equação 11, que indica a proporção de potência e número de inversores a serem utilizados (PINHO; GALDINO, 2014).

$$0,75 < \frac{P_i \times n}{P} < 1,05 \quad (11)$$

Tem-se que:

n = número de inversores de frequência;

P_i (kW) = Potência nominal do inversor escolhido;

P (kWp) = Potência de pico do sistema.

Percebe-se que é comum a utilização de uma potência de inversor menor que a potência total de pico de geração. Desta forma, visto que dificilmente a geração chegará no pico máximo projetado devido às variações físicas, pode-se otimizar o custo de inversores tendo uma folga percentual para mais e para menos no dimensionamento. Logo, o inversor escolhido para o projeto foi o Inversor String SIW500H - ST036, produzido pela WEG. A Tabela 13 se refere às informações técnicas do mesmo.

Tabela 13. Informações Técnicas do Inversor.

Eficiência Máxima	98,90%
Tensão Entrada Máxima	1100V
Corrente Máx. por MPPT	22A
Número Máx. de Entradas	8
Número de Rastreadores MPP	4
Potência Ativa CA Nominal	36000W
Tensão de Saída Nominal	220V(F-N)/380V(F-F), 230V/400V, 3F+N+PE; 3F+PE opcional
Corrente Máx. Saída	60,8A / 57,8A / 48,2A
Dimensões	930 x 550 x 260 mm
Peso	55 kg
Faixa de Temperatura	-25°C ~ 60°C

Fonte: Adaptado de WEG (2018).

Visto isso, confirma-se a Equação 11, onde tem-se que a potência nominal do inversor é de 36 kW, somando 72 kW quando n for 2. Serão usados então dois inversores do mesmo modelo, contabilizando 0,96 como fator de dimensionamento, respeitando a regra estabelecida. Com isso, pôde-se projetar o arranjo dos módulos com objetivo de obter o melhor aproveitamento. Viu-se que, com a utilização de dois inversores, somam-se 16 entradas, e 8 rastreadores MPP (responsável por rastrear o ponto de máxima potência, de forma a extrair o máximo possível de potência), assim cada rastreador controlando duas entradas simultâneas. Logo, o arranjo ficou dividido em 13 séries de 15 módulos e 2 séries de 14 módulos, totalizando 223 painéis projetados. Desta forma, respeitou-se que, relacionando a tensão de circuito aberto dos painéis em série com a tensão máxima do inversor, a tensão dos arranjos seja menor, conforme Tabela 14, sendo os valores obtidos menores que a tensão máxima do inversor.

Tabela 14. Comparativo Tensões dos Arranjos.

Tensão do Arranjo em Série 15 módulos	687V
Tensão do Arranjo em Série 14 módulos	641,2V
Tensão Máxima por Inversor	1100V

Fonte: Editado pelo autor (2020).

Após definir os arranjos, o último passo do projeto é a definição das bitolas dos condutores elétricos e sua quantidade, para o levantamento de custos final. Para isso, usa-se a NBR 5410 (ABNT,2008) como principal referência, tendo como base os mesmos princípios de projeto das instalações residenciais e industriais. Segundo Pinho e Galdino (2014), a Equação 12 representa o cálculo da bitola do condutor que interligará os painéis.

$$S = \frac{\rho \times dist \times Ic}{\Delta V} \quad (12)$$

Tem-se que:

S = Bitola do condutor a ser utilizado, em mm²;

ρ = Resistividade do material utilizado, em $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$;

$dist$ = Distância total do circuito;

Ic = Corrente do circuito, em Amperes;

ΔV = Queda de tensão permitida em projeto.

O condutor de cobre duro tem resistividade de 0,0178 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$, e a maior distância considerada no projeto é de 130m (entre painel mais distante e inversor). A queda de tensão é usualmente de 4%, e a corrente máxima do circuito é a própria corrente de curto-circuito do painel solar escolhido, no caso 9,54A, conforme Tabela 11. Deste modo, tem-se que a bitola do condutor ficou levemente acima de 2,5mm². Assim, optou-se por utilizar condutores de 4mm², a fim de garantir uma margem de operação, visto que a diferença de custo de fio 2,5mm² e 4mm² não será tão relevante no montante total do investimento.

4.5 LEVANTAMENTO DE CUSTOS E ANÁLISE FINANCEIRA

A partir do projeto finalizado e todos os modelos de equipamentos escolhidos, foi feito o levantamento de custos envolvidos na execução. Juntamente com os equipamentos, deve-se levar em consideração também toda a mão de obra necessária, assim como toda a parte estrutural envolvida. A Tabela 15 mostra a relação dos custos projetados, para posterior análise financeira.

Tabela 15. Custos Estimados para Execução do Projeto.

Equipamento	Preço unitário (R\$)	Quantidade	Preço Total (R\$)
Módulo MAXPOWER CS6U-335P ~ Marca Canadian	623,61	223	139065,03
Inversor String SIW500H - ST036 ~ Marca WEG	25500	2	51000
Estrutura, Cabos, Conectores, Proteção e Mão-de-obra		-	153900
Total			343965,03

Fonte: Editado pelo autor (2020).

Segundo GREENER (2020), no estudo estratégico do mercado fotovoltaico de geração distribuída do 1º semestre de 2020, o valor médio dos sistemas comerciais foi de R\$ 3,70/ Wp – Reais por *Watt* pico -, considerando um sistema de 50Wp. Pode-se analisar, conforme custos levantados, que o valor médio encontrado foi de R\$ 3,43/Wp, se mostrando próximo ao estudo.

Conforme citado anteriormente, o horário integral da geração solar se faz presente no horário da tarifa fora de ponta, portanto, esta que deve ser levada em consideração ao considerar-se a economia anual gerada pelo sistema proposto. Este valor de economia anual encontrado, é o utilizado como fluxo de caixa nas análises financeiras posteriores. A Equação 13 mostra esta relação (FÉRRIGO JÚNIOR, 2020):

$$Economia = (TEfp \times CGdia \times 365) + (TUSDfp \times CGdia \times 365) \quad (13)$$

Tem-se que:

$TEfp$ (R\$/kWh) = Tarifa de energia horário fora de ponta;

$CGdia$ (kWh) = Capacidade de geração do sistema;

$TUSDfp$ (R\$/kWh) = Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição horário fora de ponta.

Assim, conforme tarifas expressas na tabela 8, de Tarifa de Energia 0,396 R\$/kWh, e Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição de 0,127 R\$/kWh, a economia anual projetada para o sistema proposto é de R\$ 53.641,50 para capacidade de geração de 281 kWh/dia, em um ano não bissexto, conforme apresentado:

$$Economia = (0,127 \times 281 \times 365) + (0,396 \times 281 \times 365) = R\$ 53.641,50$$

Assim, o cálculo de Valor Presente Líquido no período de 20 anos está exposto na Tabela 16:

Tabela 16. Valor Presente Líquido do Sistema de Geração Solar.

Período (ano)	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo de Caixa Atualizado por TMA (R\$)	VPL
0	-343965,03	-343965,03	-343965,03
1	53641,5	47053,95	-296911,08
2	53641,5	41275,39	-255635,69
3	53641,5	36206,48	-219429,21
4	53641,5	31760,07	-187669,13
5	53641,5	27859,71	-159809,42
6	53641,5	24438,35	-135371,07
7	53641,5	21437,15	-113933,93
8	53641,5	18804,51	-95129,41
9	53641,5	16495,19	-78634,23
10	53641,5	14469,46	-64164,76
11	53641,5	12692,51	-51472,25
12	53641,5	11133,78	-40338,47
13	53641,5	9766,48	-30571,99
14	53641,5	8567,08	-22004,91
15	53641,5	7514,99	-14489,93
16	53641,5	6592,09	-7897,83
17	53641,5	5782,54	-2115,30
18	53641,5	5072,40	2957,10
19	53641,5	4449,47	7406,58
20	53641,5	3903,05	11309,63

Fonte: Editado pelo autor (2020).

A Tabela 17 expõe os cálculos da Taxa Interna de Rentabilidade TIR, conforme a Equação 3, no mesmo período de 20 anos:

Tabela 17. Taxa Interna de Retorno do Sistema de Geração Solar.

Investimento	-343965,03	TIR
Ano 1	53641,5	-84%
Ano 2	53641,5	-132%
Ano 3	53641,5	-30%
Ano 4	53641,5	-17%
Ano 5	53641,5	-8%
Ano 6	53641,5	-2%
Ano 7	53641,5	2%
Ano 8	53641,5	5%
Ano 9	53641,5	7%
Ano 10	53641,5	9%
Ano 11	53641,5	10%
Ano 12	53641,5	11%
Ano 13	53641,5	12%
Ano 14	53641,5	13%
Ano 15	53641,5	13%
Ano 16	53641,5	14%
Ano 17	53641,5	14%
Ano 18	53641,5	14%
Ano 19	53641,5	14%
Ano 20	53641,5	15%

Fonte: Editado pelo autor (2020).

A Tabela 18 expõe os cálculos do Índice de Lucratividade, conforme a Equação 4, no mesmo período de 20 anos:

Tabela 18. Índice de Lucratividade do Sistema de Geração Solar.

Período (ano)	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo de Caixa Atualizado pela TMA(R\$)	Índice de Lucratividade (%)
Investimento Inicial	-343965,03	-343965,03	-
1	53641,5	47053,95	13,68
2	53641,5	41275,39	25,68
3	53641,5	36206,48	36,21
4	53641,5	31760,07	45,44

Período (ano)	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo de Caixa Atualizado pela TMA (R\$)	Índice de Lucratividade (%)
5	53641,5	27859,71	53,54
6	53641,5	24438,35	60,64
7	53641,5	21437,15	66,88
8	53641,5	18804,51	72,34
9	53641,5	16495,19	77,14
10	53641,5	14469,46	81,35
11	53641,5	12692,51	85,04
12	53641,5	11133,78	88,27
13	53641,5	9766,48	91,11
14	53641,5	8567,08	93,60
15	53641,5	7514,99	95,79
16	53641,5	6592,09	97,70
17	53641,5	5782,54	99,39
18	53641,5	5072,40	100,86
19	53641,5	4449,47	102,15
20	53641,5	3903,05	103,29

Fonte: Editado pelo autor (2020).

Por fim, a Tabela 19 representa o resumo geral das análises financeiras aplicadas, considerando as premissas até aqui consideradas.

Tabela 19. Resultados Financeiros Gerais do Sistema de Geração Solar.

Método de Análise	Tempo Considerado			
	5 anos	10 anos	15 anos	20 anos
VPL (R\$)	-159809,42	-64164,76	-14489,93	11309,63
TIR (%)	-8%	9%	13%	15%
Índice de Lucratividade	53,54%	81,35%	95,79%	103,29%
Payback (anos)	6,41 anos - 6 anos e 5 meses			

Fonte: Editado pelo autor (2020).

Conclui-se que, nas análises apresentadas, o projeto é viável financeiramente no cenário de 20 anos, sendo que os indicadores se mostraram positivos. Considerando que a garantia fornecida pela *CanadianSolar* é de 25 anos

para eficiência, conforme Tabela 11, pode ser uma alternativa a ser considerada pela instituição para redução de fatura de energia.

5 ESTUDO DE PROJETO E VIABILIDADE DE ENERGIA EÓLICA

A geografia da unidade consumidora, por ser um campo aberto, pode apresentar um local muito bom para a instalação de uma pequena usina eólica. Conforme visto na revisão até aqui, percebe-se que a geração de energia eólica tem acentuado crescimento, em termos de potência instalada e investimento feito. Deste modo, foi projetado um sistema condizente com as características da instalação, com objetivo de ao final verificar se há eficiência no investimento para instalação da usina na UC. Segundo Severo (2019), os principais pontos a serem observados no todo do projeto são carga, localização, tipo de instalação, velocidade do vento, vegetação e topografia. Assim, o projeto foi dividido na mesma métrica do sistema solar apresentado, para posterior comparação:

- Levantamento do potencial eólico disponível e definição do local da instalação;
- Configuração do sistema e levantamento adequado de demanda e consumo de energia elétrica;
- Dimensionamento do gerador eólico;
- Dimensionamento dos equipamentos secundários.

5.1 POTENCIAL, RECURSO EÓLICO E LOCALIZAÇÃO

A localização geográfica da Unidade Consumidora foi demonstrada anteriormente na Figura 28. Esta localização, como já citado, é referenciada pelas coordenadas latitudinais de 28,510833° Sul e longitudinais 50,929722° Oeste, com 969,89m de altitude. No item de revisão bibliográfica, foi explicado o método de Distribuição de *Weibull*, sendo possível adquirir uma relação da frequência em que um número aparece em determinado processo. Para recolher informações suficientes para a análise, utilizou-se como fonte o banco de dados do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Ao acessar tal banco de dados, foi conseguido o acesso direto à Estação A880 – Unidade de Vacaria, com arquivo de todos os dados meteorológicos desde sua criação. No campo de pesquisa, foi utilizada a data inicial de 01/01/2019, e data final de 01/01/2020, mantendo padrão de período

analisado para as faturas de energia e o período solar. A partir disso, foram consultados todos os registros de velocidade do vento na cidade, que é medida automaticamente a cada hora. Desta forma, o sistema gerou um arquivo Excel com 8785 linhas de informação, e por este motivo não será aqui anexado. Porém, com utilização da ferramenta Excel, extraiu-se a frequência que cada velocidade aparece no registro. A velocidade varia de 0 até 11,6 m/s, que é a máxima registrada no período. A altura de medição é de 2m, segundo INMET (2020). A Tabela 20 registra esta frequência em relação ao número de horas anuais de ocorrência, seguido pela Figura 33, mostrando a distribuição de *Weibull* correspondente à cidade de Vacaria.

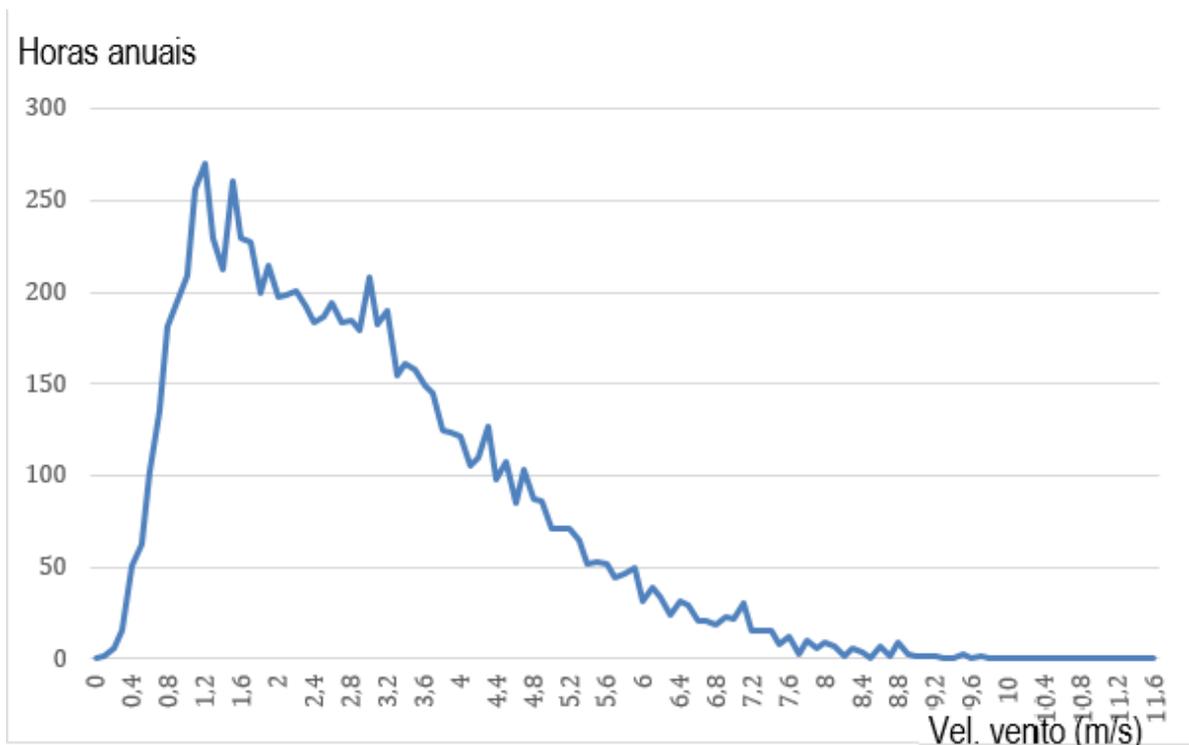
Tabela 20. Frequência de velocidade do vento, em número de horas por ano.

Velocidade do Vento (m/s)	Frequência (h)						
0	0	3	208	6	32	9	2
0,1	2	3,1	182	6,1	39	9,1	2
0,2	6	3,2	190	6,2	34	9,2	2
0,3	16	3,3	155	6,3	24	9,3	1
0,4	51	3,4	161	6,4	32	9,4	1
0,5	63	3,5	158	6,5	29	9,5	3
0,6	102	3,6	149	6,6	21	9,6	1
0,7	135	3,7	145	6,7	21	9,7	2
0,8	181	3,8	125	6,8	19	9,8	0
0,9	195	3,9	124	6,9	23	9,9	1
1	209	4	121	7	22	10	1
1,1	256	4,1	105	7,1	30	10,1	1
1,2	270	4,2	110	7,2	15	10,2	0
1,3	230	4,3	127	7,3	16	10,3	0
1,4	212	4,4	98	7,4	15	10,4	0
1,5	261	4,5	107	7,5	8	10,5	0
1,6	229	4,6	85	7,6	12	10,6	0
1,7	227	4,7	103	7,7	3	10,7	0
1,8	199	4,8	87	7,8	10	10,8	0
1,9	215	4,9	86	7,9	6	10,9	0
2	197	5	71	8	9	11	0
2,1	198	5,1	71	8,1	7	11,1	0

Velocidade do Vento (m/s)	Frequência (h)						
2,2	201	5,2	71	8,2	2	11,2	0
2,3	192	5,3	65	8,3	6	11,3	0
2,4	184	5,4	52	8,4	4	11,4	0
2,5	187	5,5	53	8,5	1	11,5	0
2,6	194	5,6	52	8,6	7	11,6	1
2,7	184	5,7	44	8,7	2		
2,8	185	5,8	47	8,8	9		
2,9	179	5,9	50	8,9	3		

Fonte: Editado pelo autor (2020).

Figura 33. Distribuição de Weibull da velocidade do vento de Vacaria.

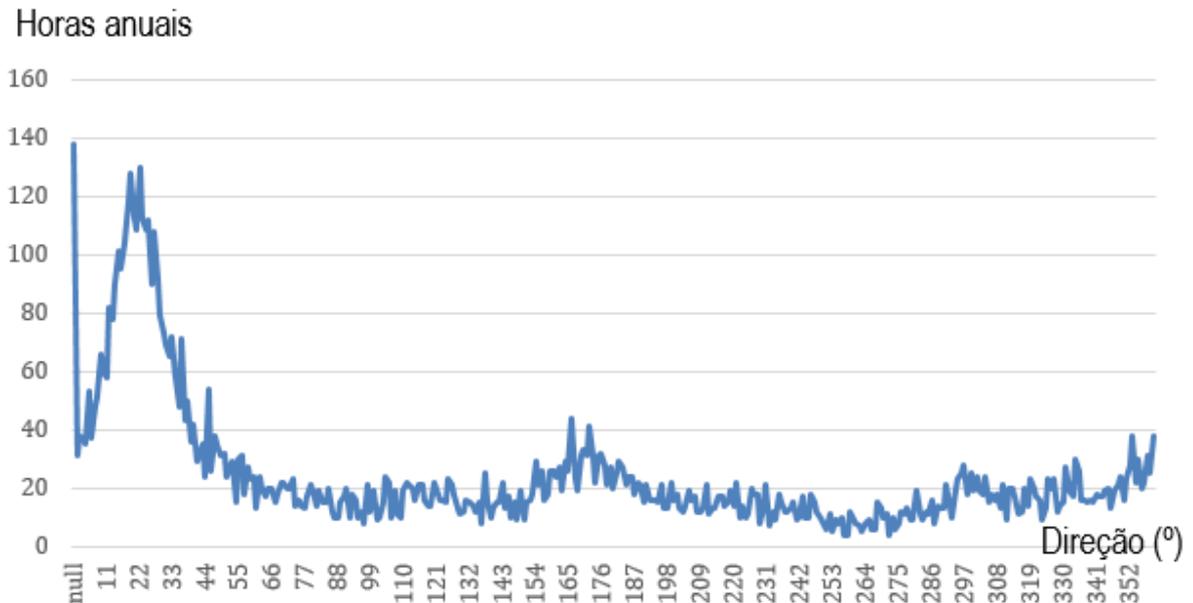


Fonte: Editado pelo autor (2020).

A Figura 34 mostra a mesma sistemática de dados, realizados sobre outra informação fornecida pelo INMET, a direção do vento. O mesmo trabalho executado no Excel para a velocidade, agora aplicado à direção do vento. Percebe-se que nem todas as horas do ano têm a informação utilizável, somando um total de 130 horas

classificados como *null*. Esta pequena divergência na fonte de dados dificultou levemente a precisão das informações obtidas. A Figura 34 relaciona horas anuais x direção do vento em graus.

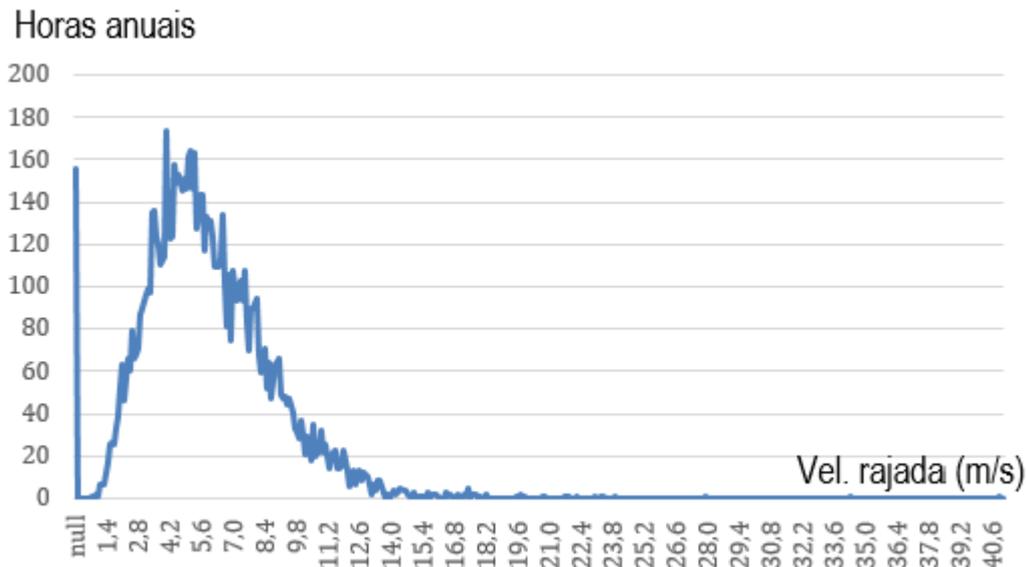
Figura 34. Distribuição de Weibull da direção do vento de Vacaria.



Fonte: Editado pelo autor (2020).

Segundo Pegorim (2017), o vento é diferente de rajada de vento. A rajada vem de um movimento brusco e repentino do ar. A rajada é um vento de curta duração, em geral com menos de 20 segundos, que tem velocidade pelo menos 18,5 km/h (10 nós) maior do que a média de velocidade que vinha sendo observada antes dela acontecer. A Figura 35 mostra o mesmo trabalho executado em Excel, com as informações de rajada de vento máxima em Vacaria, em m/s, por horas anuais. Percebe-se a curva deslocada para a direita, obtendo valores maiores de velocidade, conforme esperado.

Figura 35. Distribuição de Weibull da rajada de vento de Vacaria.



Fonte: Editado pelo autor (2020).

A partir dessas informações, sabendo que a altura da medição do vento na estação Vacaria A880 é de 2m, e levando em consideração o potencial eólico apresentado na revisão bibliográfica, pode-se estimar a velocidade a ser usada no projeto, segundo Severo (2019), pela Equação 14, da Lei de Potência. Desta forma, pode-se adaptar a altura da turbina proporcionalmente à altura da medição do vento, visto que a medição da estação se dá em determinado ponto do espaço.

$$V = V_r \left[\frac{H}{H_r} \right]^n \quad (14)$$

Tem-se que:

V = Velocidade do vento na altura H , em m/s;

V_r = Velocidade do vento na altura de referência, em m/s;

H = Altura desejada, em metros;

H_r = Altura de referência, em metros;

n = Expoente da Lei de Potência – coeficiente de rugosidade, adimensional.

Um dos fatores interferentes na velocidade do vento, como visto na revisão bibliográfica, é o terreno. Ele influencia diretamente na direção do vento e na forma

como chega à turbina. E é disso que se trata o coeficiente de rugosidade da Equação 14, sendo um valor adimensional caracterizado pela informação intrínseca do local, conforme Tabela 21, segundo Fadigas (2011).

Tabela 21. Coeficiente de Rugosidade.

Descrição do Terreno	Fator n
Superfície lisa, lago ou oceano	0,10
Gramma baixa	0,14
Vegetação rasteira (até 0.3m), árvores ocasionais	0,16
Arbustos, árvores ocasionais	0,20
Árvores, construções ocasionais	0,22 - 0,24
Áreas residenciais	0,28 - 0,4

Fonte: Adaptado de FADIGAS (2011).

De acordo com a visita feita no local para levantamento de informações e imagens, pode-se afirmar que a rugosidade observada no terreno é Fator 0,14.

A localização da instalação proposta se dá conforme a Figura 36, na linha branca, local onde o terreno apresenta elevação em relação à estrutura de salas de aula, e uma distância considerável, de forma que o barulho da turbina não afete a rotina dos estudantes. Conforme visita no local, esta localização proposta não está sendo ocupada pela instituição.

Figura 36. Local proposto para instalação do gerador eólico. A) Visão de satélite. B) Visão de solo.



Fonte: A) Adaptado de *Google Earth* (2018). B) Editado pelo autor (2020).

5.3 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA E LEVANTAMENTO DE DEMANDA

Partindo dos mesmos critérios avaliados no projeto de geração solar, respeitando a Resolução Normativa Nº 482 da ANEEL (2012), a potência instalada da microgeração e da minigeração distribuída fica limitada à potência disponibilizada para a unidade consumidora na qual a central geradora será conectada. A Tabela 22 reforça os valores e informações da UC em análise, em termos de demanda.

Tabela 22.Síntese dos parâmetros da UC..

Demanda Contratada	100 kW
Tensão Contratada	23,1 kV
Tarifa	Verde-A4
Demanda Máxima últimos 12 meses	95 kW
Demanda Média últimos 12 meses	86,16 kW

Fonte: Editado pelo autor (2020).

Foi estabelecido assim que o sistema projetado respeitará o conceito de microgeração, nos mesmos critérios do sistema solar para posterior comparação, tendo limite de potência instalada da central geradora de no máximo 75 kW, representando 75% da demanda máxima contratada e 87% da demanda média dos últimos meses.

Segundo Pinto (2014), o ar em movimento produz energia, e diz que tal energia cinética deste movimento é a energia eólica. Sabe-se que o vento tem natureza estocástica, existe variação constante tanto em sua direção quanto em sua velocidade. A Equação 15 (PINTO, 2014) mostra a relação da potência disponível do vento.

$$P = \left[\frac{1}{2} \right] \rho A v^3 \quad (15)$$

Tem-se que:

P (W) = Potência disponível do vento;

ρ (kg/m³) = massa específica do ar;

A (m²) = Área da seção transversal do cilindro que é ultrapassada pelo vento;

v (m/s) = Velocidade do vento;

P/A (W/m²) = Densidade de potência.

5.4 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR EÓLICO

Tendo sido estipulado o limite máximo de potência do sistema de geração, pode-se então definir o aereo gerador utilizado. O modelo escolhido foi o Hummer H16, cujos dados e informações se encontram na Tabela 23. A escolha deu-se por motivos próximos aos citados no projeto solar: a Hummer é uma marca consolidada no mercado de aereo geradores, e as características do Hummer H16, se encaixam com as premissas do projeto, de acordo com a velocidade do vento estipulada.

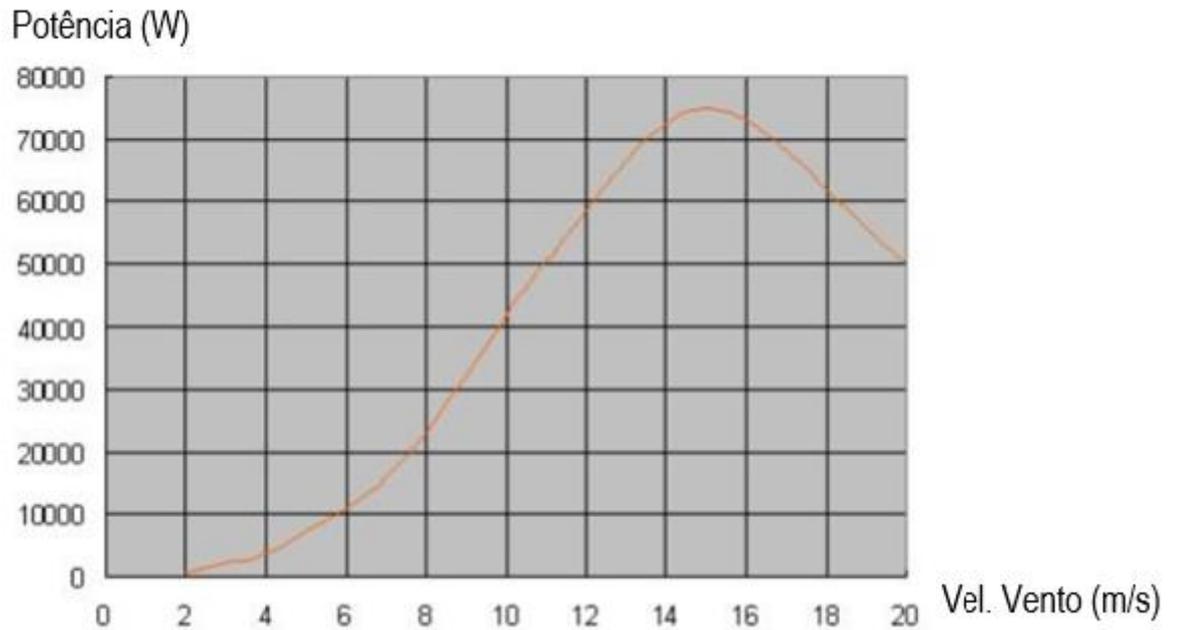
Tabela 23. Ficha Técnica Hummer H16.

Potência Nominal (W)	50000
Potência Máxima (W)	75000
Tensão de Saída do Sistema (VAC)	380
Velocidade de Arranque (m/s)	2
Velocidade de Vento Nominal (m/s)	11
Intervalo de Funcionamento (m/s)	2.5 - 25
Diâmetro das pás (m)	16,5
Altura da torre (m)	18
Eficiência do Gerador	>0,92
Peso do Gerador (kg)	1200
Material das pás/quantidade	GRP/3

Fonte: Editado pelo autor (2020).

A Figura 37 mostra a relação de potência gerada em Watts pela velocidade do vento, em metros por segundos, do aereo gerador Hummer H16.

Figura 37. Curva Potência gerada vs. Velocidade do vento.



Fonte: Editado pelo autor (2020).

Assim, com estas informações, aplicou-se a frequência de velocidade do vento encontrada na Equação 14 que relaciona a velocidade do vento com a altura da torre, agora definida em 18m. A Tabela 24 relaciona a correção da velocidade do vento pela altura de referência, com a frequência de ocorrência e potência (a partir da curva de potência).

Tabela 24. Relação de Potência com velocidade do vento do aero gerador.

Velocidade Relativa (m/s)	Vel. Corrigida (m/s)	Potência (kW)	Velocidade Relativa(m/s)	Vel. Corrigida(m/s)	Potência (kW)	Velocidade Relativa (m/s)	Vel. Corrigida (m/s)	Potência (kW)
0,10	0,14	0,00	4,00	5,44	8,50	7,90	10,75	47,00
0,20	0,27	0,00	4,10	5,58	9,00	8,00	10,88	48,00
0,30	0,41	0,00	4,20	5,71	9,50	8,10	11,02	50,00
0,40	0,54	0,00	4,30	5,85	10,00	8,20	11,15	51,00
0,50	0,68	0,00	4,40	5,98	10,50	8,30	11,29	52,00
0,60	0,82	0,00	4,50	6,12	11,00	8,40	11,43	53,00
0,70	0,95	0,00	4,60	6,26	11,70	8,50	11,56	54,00
0,80	1,09	0,00	4,70	6,39	12,30	8,60	11,70	55,00
0,90	1,22	0,00	4,80	6,53	13,00	8,70	11,83	56,00
1,00	1,36	0,00	4,90	6,66	13,50	8,80	11,97	57,00
1,10	1,50	0,00	5,00	6,80	14,00	8,90	12,11	58,00
1,20	1,63	0,00	5,10	6,94	15,00	9,00	12,24	59,00
1,30	1,77	0,00	5,20	7,07	15,80	9,10	12,38	60,00
1,40	1,90	0,00	5,30	7,21	16,30	9,20	12,51	61,00

Velocidade Relativa (m/s)	Vel. Corrigida (m/s)	Potência (kW)	Velocidade Relativa (m/s)	Vel. Corrigida (m/s)	Potência (kW)	Velocidade Relativa (m/s)	Vel. Corrigida (m/s)	Potência (kW)
1,50	2,04	0,20	5,40	7,34	17,00	9,30	12,65	62,00
1,60	2,18	0,40	5,50	7,48	18,00	9,40	12,79	63,00
1,70	2,31	0,60	5,60	7,62	19,00	9,50	12,92	64,00
1,80	2,45	0,80	5,70	7,75	20,00	9,60	13,06	65,00
1,90	2,58	1,00	5,80	7,89	21,50	9,70	13,19	66,00
2,00	2,72	1,30	5,90	8,03	23,00	9,80	13,33	67,00
2,10	2,86	1,60	6,00	8,16	24,00	9,90	13,47	68,00
2,20	2,99	2,00	6,10	8,30	25,00	10,00	13,60	69,00
2,30	3,13	2,30	6,20	8,43	26,00	10,10	13,74	71,00
2,40	3,26	2,60	6,30	8,57	28,00	10,20	13,87	72,00
2,50	3,40	2,90	6,40	8,71	29,00	10,30	14,01	73,00
2,60	3,54	3,10	6,50	8,84	30,00	10,40	14,15	74,00
2,70	3,67	3,30	6,60	8,98	31,00	10,50	14,28	75,00
2,80	3,81	3,60	6,70	9,11	33,00	10,60	14,42	75,00
2,90	3,94	3,80	6,80	9,25	34,00	10,70	14,55	75,00
3,00	4,08	4,00	6,90	9,39	35,00	10,80	14,69	75,00
3,10	4,22	4,30	7,00	9,52	36,00	10,90	14,83	75,00
3,20	4,35	4,70	7,10	9,66	38,00	11,00	14,96	75,00
3,30	4,49	5,00	7,20	9,79	40,00	11,10	15,10	75,00
3,40	4,62	5,50	7,30	9,93	41,00	11,20	15,23	75,00
3,50	4,76	6,00	7,40	10,07	42,00	11,30	15,37	75,00
3,60	4,90	6,50	7,50	10,20	43,00	11,40	15,51	75,00
3,70	5,03	6,90	7,60	10,34	44,00	11,50	15,64	75,00
3,80	5,17	7,30	7,70	10,47	45,00	11,60	15,78	75,00
3,90	5,30	8,00	7,80	10,61	46,00			

Fonte: Editado pelo autor (2020).

Desta forma, pode-se projetar a produção anual de energia elétrica estimada do sistema, vinculando a potência da turbina em relação à velocidade do vento, com o número de horas de ocorrência de cada velocidade, conforme dados extraídos do INMET. A Tabela 25 mostra essa relação, e a soma estimada de potência, considerada uma possível produção anual de energia, de 53.052,5 kWh/ano.

Tabela 25. Projeção de Produção Anual de Energia.

Horas/ano	Potência (kW)	Horas/ano	Potência (kW)	Horas/ano	Potência (kW)
2	0,00	110	9,50	6	52,00
6	0,00	127	10,00	4	53,00
16	0,00	98	10,50	1	54,00

Horas/ano	Potência (kW)	Horas/ano	Potência (kW)	Horas/ano	Potência (kW)
51	0,00	107	11,00	7	55,00
63	0,00	85	11,70	2	56,00
102	0,00	103	12,30	9	57,00
135	0,00	87	13,00	3	58,00
181	0,00	86	13,50	2	59,00
195	0,00	71	14,00	2	60,00
209	0,00	71	15,00	2	61,00
256	0,00	71	15,80	1	62,00
270	0,00	65	16,30	1	63,00
230	0,00	52	17,00	3	64,00
212	0,00	53	18,00	1	65,00
261	0,20	52	19,00	2	66,00
229	0,40	44	20,00	0	67,00
227	0,60	47	21,50	1	68,00
199	0,80	50	23,00	1	69,00
215	1,00	32	24,00	1	71,00
197	1,30	39	25,00	0	72,00
198	1,60	34	26,00	0	73,00
201	2,00	24	28,00	0	74,00
192	2,30	32	29,00	0	75,00
184	2,60	29	30,00	0	75,00
187	2,90	21	31,00	0	75,00
194	3,10	21	33,00	0	75,00
184	3,30	19	34,00	0	75,00
185	3,60	23	35,00	0	75,00
179	3,80	22	36,00	0	75,00
208	4,00	30	38,00	0	75,00
182	4,30	15	40,00	0	75,00
190	4,70	16	41,00	0	75,00
155	5,00	15	42,00	0	75,00
161	5,50	8	43,00	1	75,00
158	6,00	12	44,00	TOTAL	
149	6,50	3	45,00	53.052,5 kWh/ano	
145	6,90	10	46,00	145,35 kWh/dia	
125	7,30	6	47,00		
124	8,00	9	48,00		
121	8,5	7	50,00		
105	9	2	51,00		

Fonte: Editado pelo autor (2020).

Vale ressaltar que, segundo a fabricante da turbina, o controlador de carga, o inversor de frequência para ligação à rede, e o *dumpload* 50kW já estão integrados. Deste modo, já estão adequados e dimensionados de acordo com a turbina.

5.4 LEVANTAMENTO DE CUSTOS E ANÁLISE FINANCEIRA

A partir do projeto finalizado e todos os modelos de equipamentos escolhidos, foi feito o levantamento de custos envolvidos na execução. Segundo Custódio (2009), os custos de uma instalação eólica se dividem conforme a Tabela 27.

Tabela 26. Custos Estimados para Instalação Eólica, em percentual

Descrição	Participação (%)
Obras Civis	6,5
A.G. e instalação	75
Instalação Elétrica	1,5
Conexão à Rede	8,9
Sistemas de Controle	0,3
Consultorias	1,2
Aluguel de Terra	3,9
Acesso	0,9
Operação e Manutenção	1,2

Fonte: Adaptado de Custódio (2009).

Segundo Epalanga (2013), o valor inicial de MW instalado é ajustado entre o citado na literatura e o praticado pelos analistas e consultores de empresas, sendo a base R\$ 3,5 milhões/MW instalado para o aere gerador e instalação. Desta forma, mantida esta proporção, a Tabela 28 mostra os custos estimados para a execução do projeto eólico.

Tabela 27. Custos Estimados para Execução do Projeto Eólico.

	Custo em R\$/MW	Custo Instalação proposta (R\$)
Aero gerador e instalação	3500000	262500
Obras civis	302900	22100

	Custo em R\$/MW	Custo Instalação proposta (R\$)
Conexão à rede	414740	30200
Operação e Manutenção	55920	3500
Outros custos citados	391440	20500
	Total	338800

Fonte: Editado pelo autor (2020).

A análise da economia gerada pelo sistema eólico é diferente do sistema solar proposto no capítulo anterior. Sabe-se que o horário integral da geração solar se faz presente no horário da tarifa fora de ponta, portanto, esta que deve ser levada em consideração ao considerarmos a economia anual gerada pelo sistema. Já no sistema eólico, a geração da energia se dá maior parte na parte de tarde, porém com geração equivalente também no horário considerado de ponta. Portanto, deve-se considerar tanto a tarifa de ponta quanto a fora de ponta no cálculo, cujo resultado médio estimado é utilizado como fluxo de caixa nas análises financeiras posteriores. A Equação 16 mostra esta relação:

$$Economia = \left((TEfp + TUSDfp) \times CGhora \times NHfp \right) + \left((TEp + TUSDp) \times CGhora \times NHp \right) \times 365 \quad (16)$$

Tem-se que:

$TEfp$ (R\$/kWh) = Tarifa de energia horário fora de ponta;

TEp (R\$/kWh) = Tarifa de energia horário de ponta;

$CGhora$ (kWh) = Capacidade de geração estimada do sistema por hora;

$NHfp$ = Número de horas do dia correspondente ao horário fora de ponta;

NHp = Número de horas do dia correspondente ao horário de ponta;

$TUSDfp$ (R\$/kWh) = Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição horário fora de ponta.

$TUSDp$ (R\$/kWh) = Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição horário de ponta.

365 = número de dias do ano médio.

Assim, conforme tarifas expressas na tabela 8, de Tarifa de Energia 0,396 R\$/kWh e Tarifa de Uso do Sistema de 0,127 R\$/kW fora de ponta, e Tarifa de Energia 0,6599 R\$/kWh e Tarifa de Uso do Sistema de 1,2771 R\$/kW no horário de ponta, a economia anual projetada para o sistema proposto é de R\$ 37.130,37 para capacidade de geração média de 145,35 kWh/dia, conforme equacionamento:

$$Economia = \left(((0,396 + 0,127) \times 6,05583 \times 21) + ((0,6599 + 1,27771) \times 6,05583 \times 3) \right) \times 365 = R\$ 37.130,37$$

Assim, o cálculo de Valor Presente Líquido no período de 20 anos está exposto na Tabela 28, considerando a TMA de 14%, conforme análise anterior:

Tabela 28. Valor Presente Líquido do Sistema de Geração Eólica.

Período (ano)	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo de Caixa Atualizado pela TMA(R\$)	VPL
0	-338800	-338800,00	-338800,00
1	37130,37	32570,50	-306229,50
2	37130,37	28570,61	-277658,89
3	37130,37	25061,94	-252596,94
4	37130,37	21984,16	-230612,78
5	37130,37	19284,35	-211328,43
6	37130,37	16916,10	-194412,34
7	37130,37	14838,68	-179573,65
8	37130,37	13016,39	-166557,27
9	37130,37	11417,88	-155139,38
10	37130,37	10015,69	-145123,70
11	37130,37	8785,69	-136338,01
12	37130,37	7706,75	-128631,26
13	37130,37	6760,30	-121870,96
14	37130,37	5930,09	-115940,86
15	37130,37	5201,83	-110739,03
16	37130,37	4563,01	-106176,02
17	37130,37	4002,64	-102173,38
18	37130,37	3511,09	-98662,29
19	37130,37	3079,90	-95582,38
20	37130,37	2701,67	-92880,71

Fonte: Editado pelo autor (2020).

A Tabela 29 expõe os cálculos da Taxa Interna de Rentabilidade TIR no mesmo período de 20 anos:

Tabela 29. Taxa Interna de Retorno do Sistema de Geração Eólica.

Investimento	-338800	TIR
Ano 1	37130,37	-89%
Ano 2	37130,37	-61%
Ano 3	37130,37	-40%
Ano 4	37130,37	-26%
Ano 5	37130,37	-17%
Ano 6	37130,37	-11%
Ano 7	37130,37	-6%
Ano 8	37130,37	-3%
Ano 9	37130,37	0%
Ano 10	37130,37	2%
Ano 11	37130,37	3%
Ano 12	37130,37	4%
Ano 13	37130,37	5%
Ano 14	37130,37	6%
Ano 15	37130,37	7%
Ano 16	37130,37	8%
Ano 17	37130,37	8%
Ano 18	37130,37	8%
Ano 19	37130,37	9%
Ano 20	37130,37	9%

Fonte: Editado pelo autor (2020).

A Tabela 30 expõe os cálculos do Índice de Lucratividade no mesmo período de 20 anos:

Tabela 30. Índice de Lucratividade do Sistema de Geração Eólica.

Período (ano)	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo de Caixa Atualizado pela TMA(R\$)	Índice de Lucratividade (%)
Investimento Inicial	-338800	-338800,00	-
1	37130,37	32570,50	9,61
2	37130,37	28570,61	18,05
3	37130,37	25061,94	25,44
4	37130,37	21984,16	31,93
5	37130,37	19284,35	37,62
6	37130,37	16916,10	42,62
7	37130,37	14838,68	47,00
8	37130,37	13016,39	50,84
9	37130,37	11417,88	54,21
10	37130,37	10015,69	57,17
11	37130,37	8785,69	59,76
12	37130,37	7706,75	62,03
13	37130,37	6760,30	64,03
14	37130,37	5930,09	65,78
15	37130,37	5201,83	67,31
16	37130,37	4563,01	68,66
17	37130,37	4002,64	69,84
18	37130,37	3511,09	70,88
19	37130,37	3079,90	71,79
20	37130,37	2701,67	72,59

Fonte: Editado pelo autor (2020).

Por fim, a Tabela 31 representa o resumo geral das análises financeiras aplicadas, considerando as premissas até aqui consideradas.

Tabela 31. Resultados Financeiros Gerais do Sistema de Geração Eólica.

Método de Análise	Tempo Considerado			
	5 anos	10 anos	15 anos	20 anos
VPL (R\$)	-211328,43	-145123,70	-110739,03	-92880,71
TIR (%)	-17%	2%	7%	9%
Índice de Lucratividade	37,62 %	57,17 %	67,31 %	72,59 %
Payback (anos)	9,12 anos - 9 anos e 1 mês			

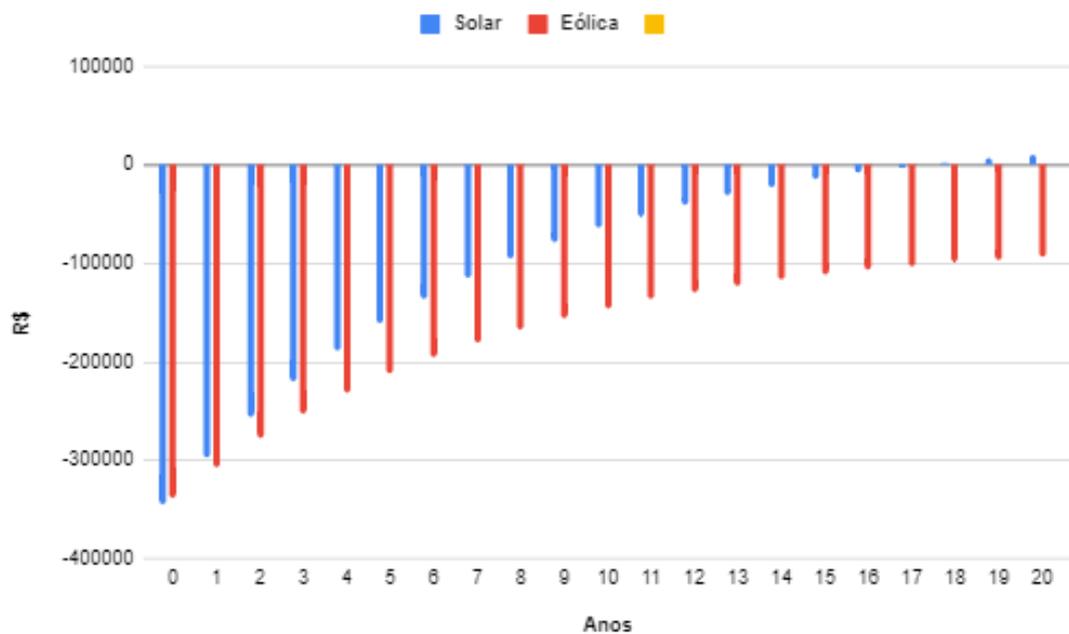
Fonte: Editado pelo autor (2020).

Conclui-se que, nas análises apresentadas, o projeto é inviável dentro do período de 20 anos, com a Taxa Mínima de Atratividade proposta de 14%. Utilizando esta taxa como base, tem-se então a relação do custo de oportunidade do dinheiro no decorrer do tempo. Retirando-se este quesito, teria-se um payback simples de 9 anos e 1 mês, que seria o momento no qual a economia mensal gerada pela microgeração pagaria todo o investimento feito e começaria a render lucros à instituição, cujos valores podem ser utilizados de outra maneira. O fato da inviabilidade desse sistema é bastante comum em sistemas de potência baixa, onde a altura da turbina faz com que a velocidade do vento não seja a ideal para funcionamento nominal do gerador. De qualquer modo, a escolha da TMA teve os critérios adotados no capítulo de premissas financeiras, sendo que a escolha de valores menores que 14% - com critérios, e não randômico – podem gerar melhores resultados financeiros para esse sistema proposto no longo prazo.

6 COMPARATIVO DE CUSTO DE OPORTUNIDADE E RESULTADO FINANCEIRO DOS PROJETOS PROPOSTOS

Tendo finalizadas as propostas de projetos, e suas respectivas características de custo e resultados financeiros, pode-se compará-los em termos de custo de oportunidade e eficiência na produção de energia, e consequente economia à UC. A Figura 38 mostra o VPL de ambos os projetos no período de 20 anos analisados, com TMA de 14%.

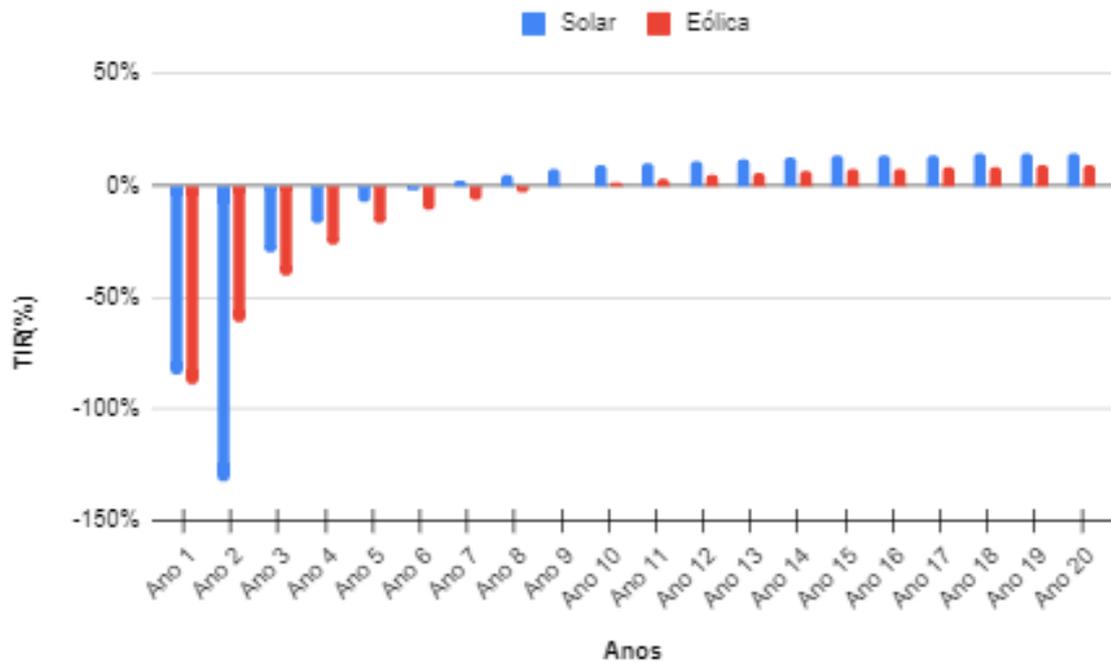
Figura 38. Comparativo VPL – Projeto Solar e Eólico.



Fonte: Editado pelo autor (2020).

A Figura 39 mostra a TIR de ambos os projetos no período de 20 anos analisados.

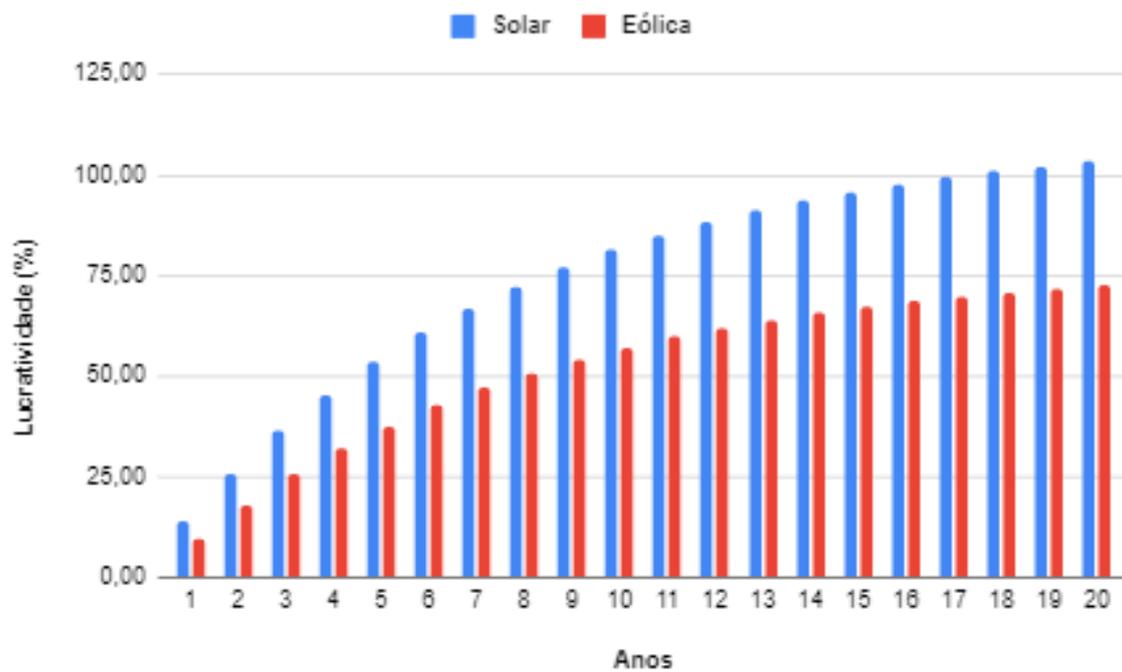
Figura 39. Comparativo TIR – Projeto Solar e Eólico.



Fonte: Editado pelo autor (2020).

A Figura 40 mostra o Índice de Lucratividade IL de ambos os projetos no período de 20 anos analisados.

Figura 40. Comparativo IL – Projeto Solar e Eólico.



Fonte: Editado pelo autor (2020).

A Tabela 32 mostra o período estimado de *payback* simples de ambos os projetos.

Tabela 32. Comparativo Payback – Projeto Solar e Eólico.

	Sistema Solar	Sistema Eólico
Payback	6,41 anos - 6 anos e 5 meses	9,12 anos - 9 anos e 1 mês

Fonte: Editado pelo autor (2020).

Percebe-se que o projeto solar obteve maior viabilidade para este caso em específico, ou seja, em proporções e casos diferentes os papéis podem se inverter. Levando em consideração o *payback* simples, tem-se que o projeto solar recupera o investimento em 70% do tempo que o projeto eólico. Quando se considera o valor do dinheiro no tempo, levando em consideração a TMA, o cenário fica positivo para o projeto solar na visão de 20 anos, o que já não acontece com o projeto eólico.

Ressalta-se da diferença observada nas formas de análise sofisticadas para a não sofisticada. O *payback* simples, que não leva em consideração a taxa de desconto no decorrer do tempo, retorna um resultado de certa forma positivo para ambos os projetos. Já as análises sofisticadas mostram que ao longo do tempo, a taxa mínima de atratividade causa uma diferença considerável no resultado.

Desta forma, em termos de eficiência na gestão da energia do Campus UCS de Vacaria, o ideal seria a implementação do projeto solar, considerando estes, e apenas estes, projetos apresentados, exclusivos em energia eólica e solar, com premissa de microgeração. Projetos com diferentes formas de geração, potências e objetivos cabem à UC, a fim de otimizar a gestão universitária.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Geração Distribuída é tendência no mundo todo. Dentre todos os assuntos de crescimento populacional, crescimento industrial, sustentabilidade, meio-ambiente e independência, ela está presente, cada vez com mais força. A GD, ao mesmo tempo que representa um desafio para as empresas de distribuição, traz diversas oportunidades. Entre os entrevistados de uma pesquisa da Accenture, 95% afirmam que a prestação de serviços de GD e de armazenamento será uma das principais áreas de crescimento de lucros para as empresas de distribuição depois de 2025. Apenas os efeitos combinados da eletrificação de transporte e de aquecimento poderiam elevar significativamente a demanda de pico, com os dados da Accenture sugerindo que o consumo médio de eletricidade no horário de pico poderia aumentar aproximadamente 63% em relação a 2016 em 2040.

Fica evidente a importância do tema, e por isso se mostra objetivo este trabalho em questão. A aplicação de projeto de GD em um caso real, do Campus de Vacaria da Universidade de Caxias do Sul, proporcionou a oportunidade de apresentar em termos específicos as diferenças propostas pela GD. No projeto solar, foi proposto carga, tipo de painel, localização, inversor, e todos os complementos necessários para a instalação de geração de energia solar fotovoltaica no Campus de Vacaria. Da mesma forma ocorreu com a energia eólica, sendo que se fez toda análise da localidade e suas questões geográficas inerentes ao projeto, além da escolha do aerogerador e de seus complementos. Foi confirmada a viabilidade técnica de ambos os projetos citados, baseados nas premissas iniciais consideradas, e fez-se o levantamento da possível geração, estimada a partir de dados retroativos, possibilitando a previsão da economia.

Finalmente, com objetivo de vincular de fato a um projeto real, foram projetados todos os custos envolvidos nos projetos, fazendo-se uma análise financeira nos moldes da economia. Esse fator é muito importante, tanto para propor o projeto como sugestão à Universidade para melhor gestão da fatura energética, quanto para o estudante de engenharia ter conexão e conhecimento da tomada de decisão financeira em termos práticos. Foram analisados os valores considerando modificações no valor da moeda ao longo do tempo, a fim de tornar a análise mais realista, de acordo com a volatilidade dos mercados. A Taxa Mínima de Atratividade considerada no contexto de 20 anos pode ser considerada alta e agressiva, de

forma a provar que realmente o contexto da geração distribuída pode ser muito eficiente na economia de uma Unidade Consumidora.

A decisão de seguir com algum dos projetos e sua execução, fica a critério da Universidade, assim como abrir a possibilidade para novos projetos sobre a mesma instalação, com outras formas e contextos. A exploração de novas energias renováveis e inclusão do mercado livre de energia em novos projetos podem trazer relevantes resultados de pesquisa, agregando tanto na gestão de tarifa da Universidade tanto quanto na produção de conteúdo intelectual.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCENTURE, 2019. **Uso de energias alternativas vai impactar negócio de concessionárias em menos de cinco anos.** Disponível em:

<<https://tiinside.com.br/05/02/2019/uso-de-energias-alternativas-vai-impactar-negocio-de-concessionarias-em-menos-de-cinco-anos/>> Acesso em 10 nov. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Capacidade Brasil.** 2020. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em 20 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Código único de Empreendimentos de Geração.** 2020. Disponível em:

<http://www2.aneel.gov.br/scg/formacao_CEG.asp>. Acesso em 20 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Geração Distribuída.** 2018. Disponível em:

< <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em 20 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Micro e mini geração de energia: sistema de compensação de energia elétrica.** 2016. Disponível em:

<<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida++2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161?version=1.3>>. Acesso em 10 nov. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Tarifas Consumidores.** 2016. Disponível em:

<http://www2.aneel.gov.br/scg/formacao_CEG.asp>. Acesso em 29 mar. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Unidades Consumidoras com Geração Distribuída.** 2020. Disponível em:

<https://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_mJhnKli7qcJG%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2>. Acesso em 20 jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Unidades Consumidoras - Geração Distribuída.** 2020. Disponível em:

< http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp>. Acesso em 20 jan. 2020.

AMARANTE, Odilon et al. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro.** 2001. Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf >. Acesso em 10 mai. 2020.

ASSAF NETO, Alexandre. **Finanças Corporativas e Valor**. São Paulo: Atlas, 2003.

BENEDITO, R., S. **Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, Sob os Aspectos Técnico, Econômico e Regulamento**. São Paulo, 2009.

BERTO, Alessandra. **Módulos fotovoltaicos – características elétricas**. 2020. Disponível em:
< <https://www.solarbrasil.com.br/blog/modulos-fotovoltaicos-caracteristicas-eletricas/> >. Acesso em 22 ago. 2020.

BLUESOL ENERGIA SOLAR. **Sistema fotovoltaico conectado à rede**. 2017. Disponível em:
< <https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/>>. Acesso em 20 mar. 2020.

CELI, Renata. **Crise do Petróleo: o que foi, fases e consequências**. 2019. Disponível em:
< <https://www.stoodi.com.br/blog/2019/04/16/crise-do-petroleo-o-que-foi/> >. Acesso em 20 jan. 2020.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO. **Radiação Solar em Vacaria**. 2020. Disponível em:
< <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data> >. Acesso em 23 ago. 2020.

CUSTÓDIO, Ronaldo dos Santos. **Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2009.

DUSOL ENGENHARIA SUSTENTÁVEL. **Quais os tipos de inversor solar e qual utilizar?** 2019. Disponível em:
< <https://www.dusolengenharia.com.br/post/quais-os-tipos-de-inversor-solar-e-qual-utilizar/> >. Acesso em 14 mar. 2020.

ELIAS, Juliana. **48% da energia do país virá de fontes limpas e renováveis até 2040, diz BP**. Do UOL, São Paulo, 2018. Disponível em:
<<https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2018/11/28/bp-energia-renovavel-brasil-dobrar.htm>>. Acesso em 20 jan. 2020.

ENERCONS. **Os 10 melhores países do mundo em capacidade de energia eólica**. 2019. Disponível em:
< <http://www.enercons.com.br/noticias/546/os-10-melhores-paises-do-mundo-em-capacidade-de-energia-eolica>>. Acesso em 20 jan. 2020.

EPALANGA, Oteniel A. Siliveli. **Energia Eólica – Viabilidade Técnica de Projeto Eólico na região de Urubici** . 2013.

ERBER, Pietro. **Geração Distribuída, desafios e oportunidades**. 2020. Disponível em:

< <https://valor.globo.com/opiniao/coluna/geracao-distribuida-desafios-e-oportunidades.ghtml>>. Acesso em 10 mai. 2020.

FADIGAS, Eliane A. Farias Amaral. **Energia eólica**. Barueri: Manole, 2011, 285p.

FÉRRIGO JÚNIOR, Mário Spedito. **Desempenho técnico-financeiro de soluções para redução nos gastos com energia elétrica em uma IES**. 2020.

FRAGMAQ. **Entenda os problemas da crise energética no mundo**. 2013. Disponível em:

< <https://www.agmaq.com.br/blog/entenda-os-problemas-da-crise-energetica-no-mundo/> >. Acesso em 10 mai. 2020.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de Administração Financeira**. São Paulo: Pearson, 2006.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA. **Atlas eólico do Rio Grande do Sul**. 2014. Disponível em:

<<https://minasenergia.rs.gov.br/upload/arquivos/201602/29144533-livro-atlas-rs-2014.pdf>>. Acesso em 21 mar. 2020.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA. **Atlas solar do Rio Grande do Sul**. 2018. Disponível em:

< <https://estado.rs.gov.br/upload/arquivos/atlas-solar7.pdf>>. Acesso em 21 mar. 2020.

GREENER. **Estudo estratégico geração distribuída**. 2020.

IBERDROLA. **O que é a energia eólica offshore**. 2020. Disponível em:

< <https://www.iberdrola.com/meio-ambiente/como-funcionam-os-parques-eolicos-offshore>>. Acesso em 20 mar. 2020.

IBGE. **Em dezembro, IPCA foi de 1,15% e acumulou alta de 4,31% em 2019**. 2020. Disponível em:

< <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/26619-em-dezembro-ipca-foi-de-1-15-e-acumulou-alta-de-4-31-em-2019>>. Acesso em 20 mar. 2020.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Vacaria A-880**. 2020. Disponível em:

< <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A880#> >. Acesso em 30 ago. 2020.

INSTITUTO DE FÍSICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, IFUSP. **Fusão Nuclear**. 2020. Disponível em:

< <http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/p%C3%A1gina-de-livro/fus%C3%A3o>>. Acesso em 10 mai. 2020.

INSTITUTO HUMANITAS UNISINOS, IH. **O impressionante crescimento da população humana através da história**. 2019. Disponível em: <<http://www.ihu.unisinos.br/78-noticias/566517-o-impressionante-crescimento-da-populacao-humana-atraves-da-historia>>. Acesso em 20 jan. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - INEE. **Geração distribuída, desafios e oportunidades**. 2020. Disponível em: <http://www.inee.org.br/informacoes_imprensa_artigo.asp?id=722&Cat=info>. Acesso em 20 jan. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - INEE. **O que é geração distribuída**. Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp>. Acesso em 20 jan. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA, **Electricity Generations by fuel and scenario 2018-2040**. 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electricity-generation-by-fuel-and-scenario-2018-2040>>. Acesso em 20 jan. 2020.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – IRENA. **Renewable Energy Employment by country**. 2019. Disponível em: <<https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Benefits/Renewable-Energy-Employment-by-Country>>. Acesso em 20 jan. 2020.

KALOGIROU, Soteris A. **Engenharia de energia solar: processos e sistemas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 864 p.

MARION, B. **Comparison of Predictive Models for PV Module Performance**. 2008.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 9. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 2299 p.

MACHADO, Cezar Augusto. **Avaliação de regiões com potencial de aproveitamento solar e identificação de áreas para implantação de uma usina solar fotovoltaica no Rio Grande do Sul**. 2017.

MICHEL, André Bernardes. **Notas de aula de Instalações elétricas 1**. Março de 2018 a julho de 2018.

MORAES, Isaque de. **O que é e como calcular o Payback**. 2016. Disponível em: <<https://www.contabeis.com.br/noticias/30249/o-que-e-e-como-calculer-o-payback/#:~:text=Payback%20que%20em%20portugu%C3%AAs%20significa,igual%20ao%20valor%20deste%20investimento.>>. Acesso em 22 ago. 2020.

MORALES, Andréa Cantarelli. **Notas de aula de Gestão de Energia e Tarifação**. Agosto de 2020 a dezembro de 2020.

NASCIMENTO, C. et al. **Energia Solar Fotovoltaica: sistemas conectados à rede**. 2013. Revista FACEAR.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: GTES, 2014.

PINTO, Milton. **Fundamentos de Energia Eólica**. 2014. Grupo Editorial Nacional. 360 p.

PORTAL ENERGIA SOLAR. **Efeito Fotovoltaico**. 2017. Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efeito-fotovoltaico>>. Acesso em 20 jan. 2020.

PORTAL EÓLICA FÁCIL. **Turbinas eólicas de eixo horizontal**. 2020. Disponível em: <<https://www.eolicafacil.com.br/turbina-eolica-horizontal>>. Acesso em 21 mar. 2020.

PORTAL FGV. **IPMG-M acelera para 2,09% em Dezembro de 2019**. 2020. Disponível em: <<https://portal.fgv.br/noticias/igp-m-acelera-209-dezembro-2019-aponta-fgv-ibre>>. Acesso em 23 ago. 2020.

PORTAL SOLAR. **Bateria Solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/bateria-solar.html>>. Acesso em 14 mar. 2020.

PORTAL SOLAR. **Escolhendo o painel fotovoltaico – 10 coisas para saber**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/escolhendo-o-painel-fotovoltaico--10-coisas-para-saber.html>>. Acesso em 14 mar. 2020.

PORTAL SOLAR. **História da energia solar: como tudo começou**. 2016. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-da-energia-solar-como-tudo-comecou.html>>. Acesso em 20 jan. 2020.

PORTAL SOLAR. **O Inversor Solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/o-inversor-solar.html>>. Acesso em 14 mar. 2020.

PORTAL SOLAR. **Tipos de painel solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em 14 mar. 2020.

PRATES, Wladimir Ribeiro. **O que é TIR (Taxa Interna de Retorno)?**. 2019. Disponível em: <<https://www.wrprates.com/o-que-e-tir-taxa-interna-de-retorno/>>. Acesso em 22 ago. 2020.

PRICE, S. MARGOLIS, R. **Solar Technologies Market Report**. 2010

REIS, Lineu Bélico dos. **Geração de Energia Elétrica**. 2016. Editora Manole. 484p.

RENEWABLE ENERGY WEBSITE. **Wind Speed Distribution Weibull**. 2020. Disponível em:
< <http://www.reuk.co.uk/wordpress/wind/wind-speed-distribution-weibull/> >. Acesso em 22 ago. 2020.

RENI. **PV Power Plants**. 2012.

RESENDE, Carlos. **O que é o inversor e como ele funciona**. Disponível em:
< <https://sharenergy.com.br/o-que-e-o-inversor-e-como-ele-funciona/> >. Acesso em 17 abr. 2020.

ROSS, Stephen A.; WESTERFIELD, Randolph W.; JAFFE, Jeffrey F. **Administração Financeira: Corporate Finance**. São Paulo: Atlas, 2002.

RUNYON, J. **Staying alive: could thin flim manufacturers come out ahead in the PV wars?**. 2012

SCHREIBER, D. **PV Market Overview: Where does the thin film Market stand and could go?**. 2009.

SCHULTZ, Felix. **Saiba tudo sobre a TMA – Taxa Mínima de Atratividade**. 2019. Disponível em:
< [https://bomcontrole.com.br/tma-taxa-minima-de-atratividade/#:~:text=A%20TMA%20\(Taxa%20M%C3%ADnima%20de,para%20ter%20viabilidade%20ao%20neg%C3%B3cio.](https://bomcontrole.com.br/tma-taxa-minima-de-atratividade/#:~:text=A%20TMA%20(Taxa%20M%C3%ADnima%20de,para%20ter%20viabilidade%20ao%20neg%C3%B3cio.) >. Acesso em 22 ago. 2020.

SEVERO, Tiago Cassol. **Notas de aula de Sistemas de Geração de Energia Elétrica**. Agosto de 2019 a dezembro de 2019.

SOMAR METEOROLOGIA. **Energia Eólica: como o clima interfere na geração de energia elétrica?** 2018. Disponível em:
< <https://blog.somarmeteorologia.com.br/energia-eolica-como-o-clima-interfere-na-geracao-de-energia-eletrica/#:~:text=De%20que%20forma%20o%20clima,para%20fazer%20gitar%20as%20turbinas.> >. Acesso em 30 out. 2020

STOPATTO, Mauro. **Análise de investimentos e fontes de financiamento**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2016. 248 p.

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA. **Breve história da energia solar**. Disponível em:
< <http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html> >. Acesso em 20 jan. 2020.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1ª ed. Editora Érica, São Paulo, 2012.

WIKIMEDIA. **World Energy Consumption**. 2014. Disponível em:
< <http://www.ihu.unisinos.br/78-noticias/566517-o-impressionante-crescimento-da-populacao-humana-atraves-da-historia> >. Acesso em 20 jan. 2020.

WIND EUROPE. **Wind europeu anual statistics 2018**. 2019. Disponível em:
< <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2018.pdf> >. Acesso em 20 jan. 2020.

ZANONI, Cícero. **Notas de aula de Planejamento e Gestão de Sistemas de Energia**. Agosto de 2020 a dezembro de 2020.