

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

APARECIDO AKCEL PRECOMA

CAROLINE APARECIDA BISPO MARQUES

**COMPARATIVO ENTRE RENDIMENTO E CUSTO BENEFICIO DE TELHAS
SOLARES E PAINÉIS FOTOVOLTAICOS CONVENCIONAIS EM INSTALAÇÕES
RESIDENCIAIS**

CURITIBA

2022

APARECIDO AKCEL PRECOMA
CAROLINE APARECIDA BISPO MARQUES

**COMPARATIVO ENTRE RENDIMENTO E CUSTO BENEFICIO DE TELHAS
SOLARES E PAINÉIS FOTOVOLTAICOS CONVENCIONAIS EM INSTALAÇÕES
RESIDENCIAIS**

**COMPARISON BETWEEN INCOME AND COST-BENEFIT OF SOLAR ROOFS
AND CONVENTIONAL PHOTOVOLTAIC PANELS IN RESIDENTIAL
INSTALLATIONS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof. Dra. Nastasha Salame da Silva.

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**APARECIDO AKCEL PRECOMA
CAROLINE APARECIDA BISPO MARQUES**

**COMPARATIVO ENTRE RENDIMENTO E CUSTO BENEFICIO DE TELHAS
SOLARES E PAINÉIS FOTOVOLTAICOS CONVENCIONAIS EM INSTALAÇÕES
RESIDENCIAIS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 21/novembro/2022

Nastasha Salame da Silva
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Paulo Cícero Fritzen
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Saul Hirsch
Especialização
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido saúde e força para superar todas as dificuldades, aos meus pais, Elisabete Raymundo Marques e Ednilson Bispo Marques, por todo amor, dedicação, incentivo e palavras de ânimo quando muitas vezes pensei em desistir, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil ter chegado até aqui;

A minha irmã Amanda Marques que sempre esteve ao meu lado nos momentos de dificuldades e de felicidades, ao meu namorado Akcel que também é a minha dupla nesse trabalho, por toda paciência, compreensão, ajuda, companheirismo, carinho e amor durante toda essa trajetória;

Aos amigos e amigas que contribuíram das mais diferentes formas, para que essa trajetória se tornasse muito mais leve e divertida e pôr fim a orientadora Prof. Dra. Nastasha Salame da Silva por toda a sua dedicação e comprometimento durante todo o trabalho, sem medir esforços para nos ajudar sempre que foi necessário.

Caroline Marques

Primeiramente quero agradecer a Deus por ter me dado força para superar as adversidades nos momentos difíceis, além de ter me dado saúde. Quero agradecer aos meus pais, Romilde Precoma e Claildovania Gomes Precoma por todo o amor, incentivo e principalmente por sempre estarem ao meu lado me apoiando nas decisões, se não fosse a ajuda deles nada disso teria acontecido.

Quero agradecer a minha namorada e companheira de trabalho Caroline, por todo amor, ajuda, companheirismo e paciência durante a elaboração deste trabalho e principalmente durante a conclusão do curso, sem você isso teria sido muito mais difícil.

Por fim, quero agradecer aos meus amigos que fizeram parte da minha vida durante essa jornada, ajudando das diferentes formas. Gostaria de agradecer a orientadora Prof. Dra. Nastasha Salame da Silva por todo apoio e ajuda durante esse trabalho e principalmente durante o curso, se tornando a melhor professora com que tive aula.

Aparecido Akcel Precoma

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal a análise comparativa entre telhas fotovoltaicas e painéis solares, no que diz respeito ao rendimento, relação custo-benefício e retorno financeiro, além de contemplar as diferenças tecnológicas empregadas e os tipos de instalações de ambas. É feito um levantamento de carga de uma residência situada na cidade de Curitiba – PR, além de comprovar matematicamente qual das duas tecnologias apresenta melhor eficiência e retorno financeiro. Para a análise de *payback* é levado em consideração os ajustes anuais e as tarifas vigentes com impostos. Além disso, o trabalho traça um comparativo entre a energia solar no Brasil e no mundo, mostrando o crescimento da utilização de energias renováveis, que vem se intensificando cada vez mais durante o passar dos anos. Ao se comparar os resultados é possível perceber que os painéis fotovoltaicos ainda se tornam uma alternativa mais viável tecnicamente e financeiramente, já que os índices calculados bem como o *payback* obtiveram melhores resultados, mas a evolução da tecnologia no desenvolvimento de telhas fotovoltaicas pode fazer com que este cenário seja alterado num futuro próximo.

Palavras-chave: Telhas Fotovoltaicas. Energia Solar. Painéis Solares. Energias Renováveis.

ABSTRACT

This work has as main objective a comparative analysis between photovoltaic tiles and solar panels, with regard to performance, cost-benefit analysis and financial return, in addition to contemplating the technological differences applied and the types of installations of both. A load survey have been carried out on a residence located in the city of Curitiba - PR, in addition to mathematically proving which of the two technologies has better efficiency and financial return. For the payback analysis, annual adjustments and current rates with taxes are taken into account. In addition, the work will draw a comparison between solar energy in Brazil and in the world, presenting the growth in the use of renewable energies, which has been intensifying more and more over the years. When comparing the results, it is possible to see that the photovoltaic panels become a more technically viable alternative, since the calculated indices as well as the payback obtained better results, but the Evolution of technology in the development of photovoltaic tiles may cause this scenario to change in the near future.

Keywords: Photovoltaic Tiles. Solar energy. Solar panels. Renewable energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Geração Convencional x Geração Distribuída	18
Figura 02: Geração Junto à Carga	19
Figura 03: Autoconsumo Remoto	20
Figura 04: EMUC	21
Figura 05: Geração Compartilhada	22
Figura 06: Modelos de telhas fabricadas pela Tesla	23
Figura 07: Modelo BIG-F10	24
Figura 08: Ecosolarroof W230	25
Figura 09: Estrutura da telha	25
Figura 10: Modelo HW-MQSB-V230	26
Figura 11: Telha de Grafeno	27
Figura 12: Sistema <i>On Grid</i>	29
Figura 13: Sistema <i>Off Grid</i>	29
Figura 14: Consumo x Geração painéis	41
Figura 15: Consumo x Geração telhas	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo mensal	37
Tabela 2 – Irradiação global	38
Tabela 3 – Irradiação no plano do telhado	38
Tabela 4 – Consumo real	39
Tabela 5 – Energia gerada pelos painéis por mês	40
Tabela 6 – Energia gerada pelas telhas por mês	42
Tabela 7 – Comparação entre a produtividade	44
Tabela 8 – Comparação entre o fator capacidade	44
Tabela 9 – Comparação entre a taxa de desempenho	45
Tabela 10 – Materiais dos painéis	46
Tabela 11 – Materiais das telhas	46
Tabela 12 – Investimento	46
Tabela 13 – <i>Payback</i> dos painéis	47
Tabela 14 – <i>Payback</i> das telhas	48
Tabela 15 – Comparação do <i>payback</i>	48

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Delimitação do tema	12
1.2 Problemas e premissas	13
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivo Específicos.....	13
1.4 Justificativa	14
1.5 Procedimentos metodológicos	14
1.6 Estrutura do trabalho	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Geração distribuída	17
2.2 Telhas solares	23
2.2.1 Tipos de Telhas Solares	23
2.3 Telhas solares x painéis fotovoltaicos	28
3. METODOLOGIA DE ANÁLISE	32
3.1 Localização da residência	32
3.2 Consumo e gasto mensal no ano de 2020	32
3.3 Irradiação na unidade consumidora	32
3.4 Cálculos	33
3.4.1 Fator de Capacidade (C_F).....	33
3.4.2 Produtividade (<i>Yield</i>).....	34
3.4.3 Desempenho Global.....	34
3.4.4 Energia Gerada.....	35
3.4.5 Número de Painéis/Telhas	35
3.5 Dimensionamento do sistema fotovoltaico	36
3.6 Payback	36
4. ESTUDO DE CASO	37
4.1 Consumo e gasto mensal no ano de 2020	37
4.2 Irradiação na unidade consumidora	38
4.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico	39
4.3.1 Painéis fotovoltaicos.....	39
4.3.2 Telhas solares.....	41
4.4 Produtividade	43

4.5	Fator Capacidade	44
4.6	Taxa de Desempenho	45
4.7	Cálculo de <i>payback</i>	45
5.	CONCLUSÃO	50
6.	REFERENCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

Energias renováveis são uma forma limpa de se gerar eletricidade sem que haja comprometimento ao meio ambiente, o ideal seria que todas as formas de geração de energia fossem 100% renováveis, o que hoje em dia ainda não é viável. Atualmente, a fonte de energia mais usada no mundo provem de fontes não renováveis: o carvão mineral que, junto com o petróleo e seus derivados, correspondem a mais de 50% de utilização, contra apenas 14% de fontes renováveis (IEA, 2021). Essa diferença se deve porque há um grande incentivo para produção de energia elétrica a partir de carvão mineral, pois existe uma quantidade considerável de reservas que permite uma grande quantidade de matéria prima, além do baixo custo do minério. Já a utilização do petróleo, que hoje é a fonte de energia mais utilizada no mundo, se dá principalmente por, além de gerar energia, ser a matéria prima de vários subprodutos, como gasolina, querosene, gás de cozinhas, etc. É importante destacar e ter uma atenção especial quanto à geração de energia, que deve suprir a necessidade da população, independente das fontes geradoras forem renováveis ou não (TIEPOLO, G.; CANGIOLIERI, O. 2012).

Antes de mais nada, é preciso diferenciar matriz energética de matriz elétrica. A primeira são os conjuntos de fontes que produzem diferentes formas de energia, 'sendo que o carvão mineral, petróleo e energia nuclear compõem a maior parte da matriz energética mundial servindo de fonte de energia para combustível de automóveis, aquecimento na indústria e imóveis, por exemplo. Já a segunda compreende as fontes que são utilizadas apenas para gerar energia elétrica, onde se destacam as fontes de energias renováveis (ESFERA ENERGIA; 2019).

O Brasil, apesar da maior parte de sua matriz energética ainda ser de fontes não renováveis, difere-se do restante do mundo quando comparada as fontes renováveis, pois o somatório dessas fontes chega a 46% de utilização, já na matriz energética mundial esse valor é de apenas 14% (BEN, 2022).

A matriz elétrica do Brasil é mais renovável comparada com a energética, chegando a 83% de utilização com destaque para as usinas hidrelétricas que chegam a 57% de uso (BEN, 22), sendo uma fonte de energia de baixo custo, porém, de grande impacto no meio ambiente, já que demanda de uma grande área para a

construção dos reservatórios de água para movimentar as turbinas dos geradores (URBANETZ; 2016, p 27) e (EPE; 2021).

Dentre as fontes de energia citadas anteriormente, podemos destacar a energia solar que, junto com a eólica e hídrica, formam um grupo chamado de geração distribuída (GD). Recentemente, houve uma alteração na denominação, onde temos uma diferenciação entre essas energias que são para grandes plantas (usinas) e a geração por MMGD - micro e mini geração distribuída (que são para estas mesmas fontes renováveis, porém, com pouca geração centralizada, ou seja, distribuída). A Geração Distribuída é um conceito de compensação de energia elétrica que foi introduzida na Europa, mais precisamente na Alemanha, e está começando a ganhar forma aqui no Brasil. É caracterizada por gerar energia elétrica onde o próprio consumidor gera toda ou parte da energia que ele mesmo irá consumir, dentro da rede de distribuição que aquela Unidade Consumidora (UC) está conectada. Aqui no Brasil, a Aneel estabeleceu as resoluções 482 e 687 que regulamenta o funcionamento de mini e microgeração de energia elétrica, sendo os primeiros instrumentos normativos da MMGD, onde o consumidor pode produzir a sua própria energia na sua propriedade e quando essa energia gerada não é totalmente utilizada é cedida à distribuidora e compensada em forma de créditos (Intelbras; 2020). Em janeiro de 2022 foi sancionada a, agora lei 14.300/2022, chamada de Marco Legal da Geração Distribuída, que estabelece novas regras para a operação dos ativos e serviços que abrangem a MMGD no país. Em comparação com as resoluções anteriores, o Marco Legal redefine limites de potência instalada para as micro e mini usinas, sendo de 75 kW para microgeração e de 75 kW até 5 MW para minigeração de fontes despacháveis, e de 75 kW até 3 MW para minigeração de fontes consideradas não despacháveis (Greener; 2022).

A GD pode ser proveniente de várias fontes alternativas, sendo as mais comuns as hidrelétricas (CGH), Termoelétrica (UTE) e fotovoltaica (UFV). Destas, a energia fotovoltaica pode ser citada como uma das mais limpas e de fácil instalação. Além disso, este tipo de geração diminui a dependência do mercado de petróleo e reduz a emissão de gases poluentes na atmosfera (HOSENUZZAMAN et al., 2014).

A energia fotovoltaica, também chamada de energia solar, é a que mais vem crescendo no mundo nos últimos anos. Ela é proveniente da luz do sol e sua captação

é feita por meio de painéis solares ou telhas solares, onde ocorre a transformação direta da radiação solar em energia elétrica para utilização em residências, comércios e indústrias. A vantagem da utilização dessa fonte é que ela é uma energia renovável, alternativa e sustentável, sendo considerada uma energia limpa, além de ser abundante (PORTAL SOLAR; 2014).

No Brasil, apesar de dispor de um vasto potencial para aproveitamento de energia solar, tal modalidade ainda é pouca explorada, mesmo com o crescimento nos últimos anos, o Brasil fica atrás dos países europeus em relação ao seu aproveitamento. Um exemplo disso é que, a região menos ensolarada do Brasil, apresenta índices solares em torno de 1642 kWh/m², que estão acima dos valores apresentados na área de maior incidência solar da Alemanha, a qual recebe cerca de 1300 kWh/m² (CABRAL; TORRES; SENNA, 2013). A Alemanha, apesar de possuir uma menor radiação solar em relação ao Brasil, possui políticas de incentivos eficientes e tecnologias para a expansão da energia solar e cada vez mais vem fazendo um melhor aproveitamento, com isso acaba tendo um aproveitamento superior ao do Brasil, além de ser um dos países líderes do mercado mundial no desenvolvimento dessa fonte de energia.

1.1 Delimitação do tema

A grande dependência do Brasil da geração hídrica faz com que o país passe por sérios problemas com relação a falta de chuva, o que faz com que haja racionamento de água em diversos estados do país, e implica diretamente na geração de energia. Além do racionamento de água, começa a entrar em pauta o racionamento de energia, visto a situação crítica na qual se passa nessas condições (SENADO; 2021).

Tendo tudo isso em vista, quanto mais formas de energias renováveis tivermos, maior será a diversidade na geração de energia e, por esse motivo, este trabalho busca traçar um comparativo de rendimento e custo benefício entre telhas solares e painéis fotovoltaicos convencionais.

1.2 Problemas e premissas

O crescimento da geração fotovoltaica tende a aumentar no decorrer dos anos. Portanto, pode-se dizer que é um mercado muito promissor para o avanço de geração de energia no mundo. Com isso, as empresas vêm buscando se adaptar a esse tipo de geração com o investimento em novas tecnologias com o intuito de melhorar cada vez mais a eficiência e a praticidade da geração fotovoltaica. Em meados de 2005, começaram a surgir no mercado as telhas solares, causando dúvidas sobre sua viabilidade técnica e econômica em relação aos painéis solares que, até então, eram a única forma conhecida pra ser implantado no sistema fotovoltaico. Consequentemente, a obtenção dos dados sobre as telhas solares ainda causa algumas dificuldades, por se tratar de algo novo no Brasil.

Outras dificuldades são os níveis de irradiação que depende muito da localização da residência e a orientação geográfica onde são instalados os painéis solares, pois são fatores que influenciam no desempenho dos sistemas.

Esse trabalho se propõe apresentar uma análise comparativa entre rendimento e custo benefício de telhas solares e painéis fotovoltaicos convencionais, além de buscar responder o questionamento: um sistema com telhas solares é capaz de suprir a energia consumida com tanta eficiência quanto os painéis solares?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar um comparativo entre telhas solares e painéis fotovoltaicos a fim de identificar qual terá o melhor desempenho e relação de custo benefício em residências.

1.3.2 Objetivo Específicos

- Realizar estudos teóricos sobre painéis fotovoltaicos e telhas solares, mostrando a diferença na instalação em residências.
- Realizar estudos sobre a irradiação solar em Curitiba.

- Buscar contato com empresas que estão produzindo este tipo de telhas.
- Realizar um levantamento de carga de uma residência típica de classe média de Curitiba.
- Dimensionar os painéis fotovoltaicos e as telhas solares de acordo com o levantamento de carga.
- Traçar um comparativo entre as telhas solares e painéis fotovoltaicos, com ênfase principalmente no rendimento e custo benefício.
- Cálculo do *payback* após a instalação das telhas solares e dos painéis fotovoltaicos.

1.4 Justificativa

Como citado anteriormente, é importante a utilização de outras fontes de energia renováveis, a fim de desafogar um pouco a forma com que é gerada a energia elétrica no Brasil e uma das energias mais limpas e inesgotável que temos é a solar, visto que a forma de instalação de painéis fotovoltaicos é mais fácil do que parece.

A entrada de telhas solares no mercado, faz com que a energia solar seja vista com outros olhos, já que podem ser instaladas diretamente nos telhados das residências sem que seja necessário o dimensionamento de determinadas áreas do terreno, o que é um pré-requisito para a instalação dos painéis solares (PORTAL SOLAR; 2020).

Com o intuito de mostrar as diferenças de instalações e qual terá um desempenho e relação de custo benéfico melhor, é feito um estudo comparativo entre essas telhas solares e os painéis fotovoltaicos.

1.5 Procedimentos metodológicos

Foi realizada uma pesquisa teórica sobre as telhas solares e os painéis fotovoltaicos a fim de mostrar como é realizado a instalação de ambas em residências trazendo as principais diferenças técnicas. Após esta etapa, é feita outra pesquisa teórica mostrando os diferentes índices de irradiações solares em Curitiba.

Feito isso, o próximo passo foi buscar contato com as empresas que produzem telhas solares para a coleta de dados, com o intuito de conhecer melhor o produto e seus aspectos de construção, expectativa de vida útil e os dados técnicos para serem traçados os comparativos com os painéis solares.

De forma a atingir os objetivos deste trabalho de pesquisa, simulou-se o consumo de energia elétrica de uma residência, fazendo o levantamento de carga, separando em tabelas e calculando o consumo mensal e o gasto médio anual. Feito isso, pode-se obter o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos e as telhas solares de acordo com o levantamento realizado antes e calculando qual dos dois terá um rendimento melhor, bem como realizar um levantamento de preços e mostrar qual sistema terá o melhor custo-benefício. Feito todos esses levantamentos, calcula-se o *payback* para ver a diferença de investimento e retorno ao se instalar painéis fotovoltaicos e telhas solares.

1.6 Estrutura do trabalho

O capítulo 1 traz uma perspectiva geral sobre energias renováveis e geração distribuída, além de trazer um panorama geral sobre energia fotovoltaica.

O capítulo 2 se refere a revisão bibliográfica sobre geração distribuída destacando suas modalidades, bem como uma apresentação sobre os principais tipos de telhas solares que estão sendo comercializadas. Por fim, será traçado um comparativo entre as telhas e os painéis.

Seguindo, o capítulo 3 apresentara a metodologia de análise mostrando toda análise que será realizada para obter os resultados, coletas de dados e comparação entre os sistemas.

O quarto capítulo irá trazer o estudo de caso, onde será apresentado os dados obtidos através da metodologia de análise e os resultados obtidos através das análises técnicas e de custo-benefício.

Por fim, no último capítulo é encontrado as considerações finais e conclusões do trabalho realizado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os principais temas e conceitos que englobam este trabalho, buscando em fontes teóricas um aprofundamento nos conceitos de geração distribuída, telhas fotovoltaicas e um comparativo de instalação entre as telhas e os painéis fotovoltaicos.

2.1 Geração distribuída

Como apresentado anteriormente, geração distribuída (GD) é onde a geração de energia elétrica é realizada junto ou bem próxima do consumidor, dependendo dos limites de potência, tecnologia e fonte de energia (ENERGES; 2020), das quais pode-se destacar os sistemas fotovoltaicos como umas das principais fontes.

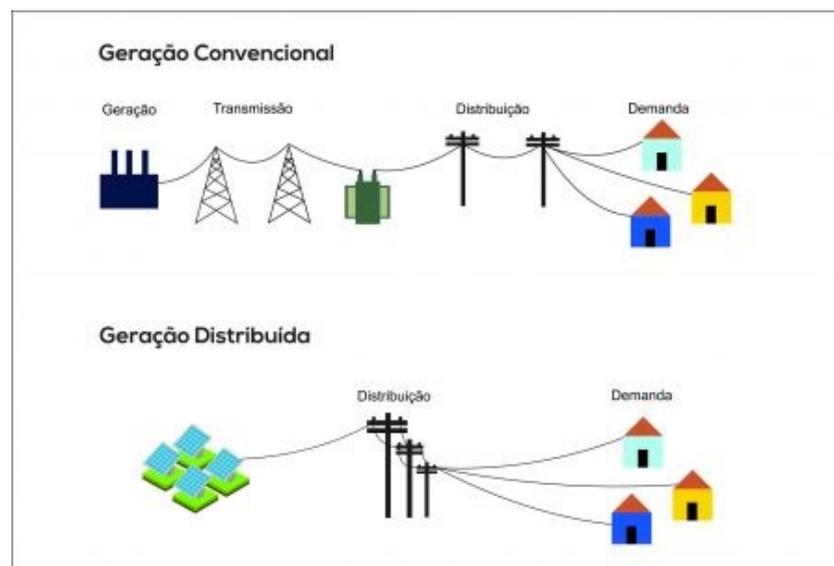
Antes de entrarmos nas principais modalidades de geração distribuída, vale ressaltar as diferenças entre a geração centralizadas e as GDs, conforme pode ser visto também na figura 1. A forma mais convencional de produção de energia é a chamada geração centralizada, nela temos uma grande fonte geradora e a energia é levada aos consumidores por meio de cabos conectados em linhas de transmissão maiores, mais altos e com alta tensão. A grande vantagem deste tipo de geração se dá pelo fato de tudo estar centralizado em um só lugar, já as desvantagens se dão principalmente pelas perdas de energia no processo de transmissão. A geração distribuída é um modelo onde se tem várias fontes geradoras de menor porte que abastecem a rede onde podem ser conectadas diretamente as linhas de distribuição. Outra característica bastante importante é que as fontes geradoras são instaladas o mais próximo possível do local do consumo, o que faz com que as perdas na hora da transmissão sejam reduzidas consideravelmente, já que a fonte muitas vezes está instalada na própria UC de consumo (INSOL ENERGIA; 2021) e (ESFERA ENERGIA; 2021).

Existem duas categorias de sistemas de GD que são divididas em relação a sua potência. A microgeração distribuída é um sistema de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW, já a minigeração distribuída é um sistema

gerador de energia elétrica, com potência entre 75 kW e 5 MW (ESFERA ENERGIA; 2022).

Visto a diferença entre as duas formas de geração de energia, podemos destacar as modalidades de GD. Segundo a Resolução Normativa 482 da ANEEL, toda unidade consumidora seja ela residencial, industrial ou comercial pode gerar a sua própria energia elétrica, desde que se utilize fontes de energia renováveis como a solar, eólica ou biomassa (ANEEL; 2012).

Figura 1: Geração Convencional x Geração Distribuída.



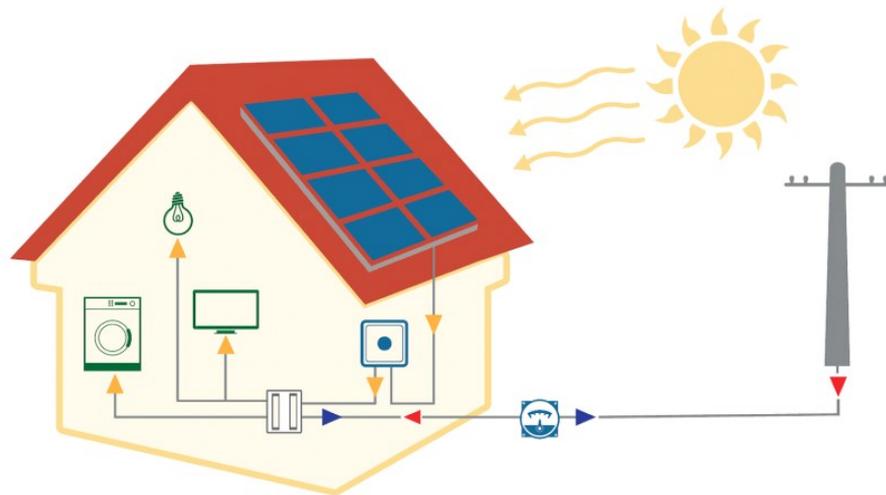
Fonte: Naville (2019)

Como já visto anteriormente, a resolução 482/2012 permite que a energia elétrica que foi gerada possa ser consumida em até cinco anos na unidade geradora ou na unidade consumidora, isso possibilita que as partes que integram a GD possam se enquadrar em algumas modalidades, como:

- **Geração junto à carga:** Foi a primeira criada sendo a mais utilizada até hoje. Essa modalidade se enquadra quando a geração estiver no mesmo local do consumo, ou seja, a UC do consumidor e o sistema de geração compartilham do mesmo ponto. Outro ponto importante é que a única unidade consumidora que irá receber os créditos de energia será a que estiver cadastrada no projeto. O exemplo mais comum desta modalidade são as instalações solares para

consumo próprio, sendo elas os painéis fotovoltaicos, as telhas solares, etc. A figura 2 ilustra esta modalidade de geração.

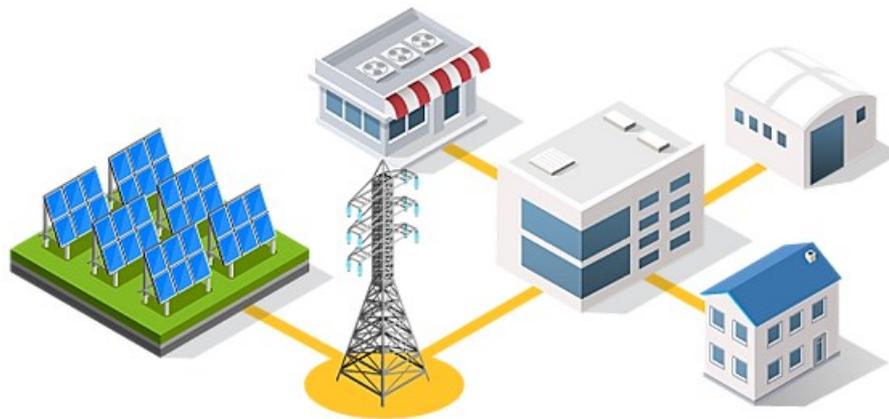
Figura 2: Geração Junto à Carga.



Fonte: Absolar (2022)

- Autoconsumo remoto: Esta é a modalidade do consumidor que possui mais de uma unidade consumidora em seu nome e opte por adotar o sistema de geração distribuída, sendo que no autoconsumo remoto não é obrigatório que o sistema de geração seja instalado no mesmo local do consumo, ou seja, o sistema de geração pode ser projetado em outro terreno desde que o ponto de conexão seja do mesmo titular e na mesma área de concessão. Por exemplo, o consumidor que possui mais de um comércio, poderá instalar uma CGH, PCH ou UFV para gerar energia, assim o local da instalação não será o mesmo que o local do consumo, no local da instalação será cadastrada uma UC com o mesmo CPF/CNPJ do consumidor. Um exemplo de aplicação deste tipo de consumidor pode ser visto na figura 3.

Figura 3: Autoconsumo Remoto.



Fonte: Projeto Solar (2022)

- EMUC – Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidora: Esta modalidade é composta por unidades consumidoras que estão no mesmo local, mas utilizam a energia elétrica de forma independente, ou seja, embora o ponto de conexão seja o mesmo, o consumo é medido separadamente. Essa modalidade é mais aplicável a shoppings, áreas comerciais, condomínios ou por unidades consumidoras que estão em propriedades uma ao lado da outra, sem que haja separação por vias públicas ou residências não integrantes a EMUC. Uma característica importante desta modalidade é que a geração distribuída possui mais de uma unidade consumidora, porém, as UC's não precisam estar na mesma titularidade, sendo que uma Lista de Unidades Consumidoras deverá indicar a porcentagem que cada um receberá. Por exemplo, existem dois consumidores que moram no mesmo prédio, sendo que este local possui um sistema de geração distribuída para abater o valor do consumo, logo uma fração da geração será destinada para cada consumidor, desde que eles estejam cadastrados na Lista de Unidades Consumidoras, conforme pode ser vista na figura 4.

Figura 4: EMUC.



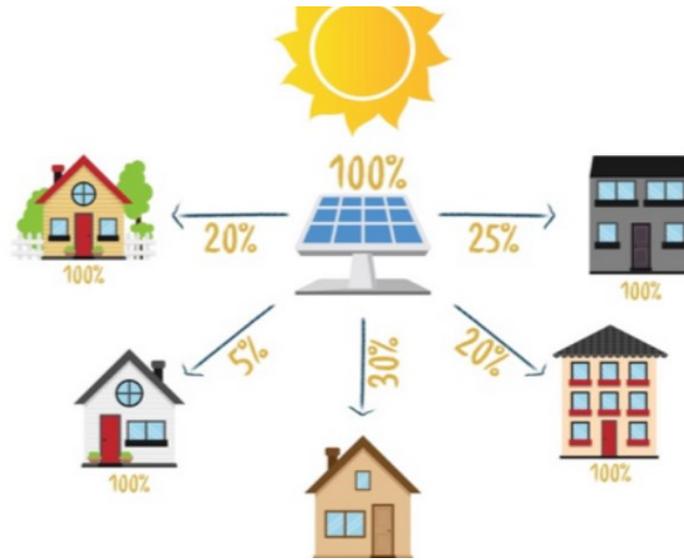
FONTE: Eletro JR (2022)

- **Geração Compartilhada:** Esta modalidade é caracterizada por compartilhar energia elétrica entre unidades consumidoras diferentes, possuindo algum projeto de GD fora do local das UCs e podendo ser cadastradas como Pessoa Física ou Jurídica, sendo que o compartilhamento é realizado através de consórcio ou cooperativa, conforme pode ser visto na figura 5.

A cooperativa é relacionada a pessoas físicas e o acordo é firmado através de contrato, porém, esse acordo tem um limite mínimo de 20 pessoas. O principal intuito das cooperativas, assim como toda GD, é beneficiar o consumidor que deseja reduzir o consumo de energia elétrica, mas que sofre de problemas como falta de espaço. Sendo assim cada cooperado será beneficiado com um valor percentual de compensação de energia.

Já o consórcio trata de um acordo entre pelo menos duas pessoas jurídicas, sendo que as empresas participantes firmam um acordo através de um contrato social que deverá ser registrado na junta comercial do estado onde estarão localizadas e neste documento já deverá constar o percentual de energia para compensação que cada consumidor irá receber (ENERGES; 2019). A principal vantagem deste tipo de modalidade se dá pelo fato de todo custo de obra ser dividido entre as unidades consumidoras.

Figura 5: Geração Compartilhada.

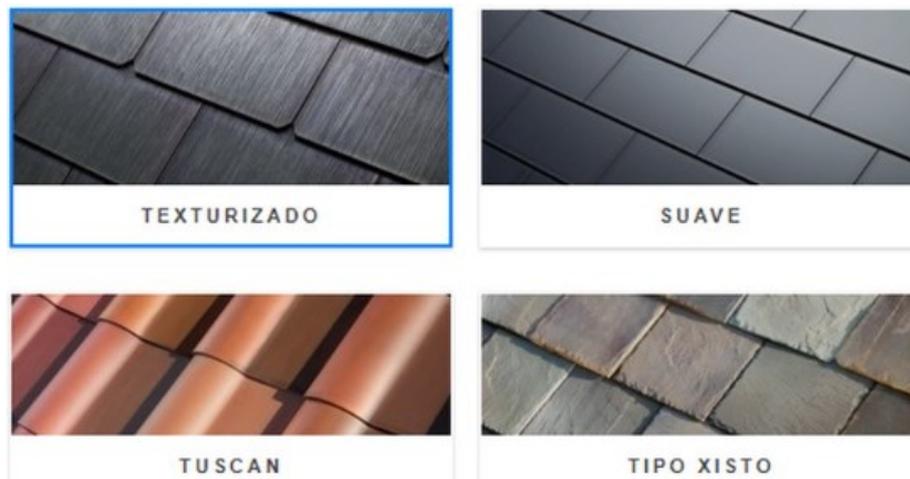


FONTE: Franco Solar (2020)

2.2 Telhas solares

A primeira telha solar criada no mundo foi apresentada em 2016 pelo Elon Musk, fundador da empresa Tesla. As telhas só foram começar a serem fabricadas para comercialização pela Tesla em sua fábrica de Buffalo, em Nova York, após alguns anos e durante este tempo, foram realizados diversos testes, conforme pode ser visto na figura 6 (TECMUNDO; 2018).

Figura 6: Modelos de telhas fabricadas pela Tesla.



Fonte: TECMUNDO (2021)

A intenção do dono da Tesla era trazer sistemas de geração e armazenamento de energia integrado em residenciais, de forma discreta sem perder a eficiência de geração em comparação aos painéis solares.

Ao observar essa tecnologia que começou a ser integrada pela Tesla, algumas empresas no Brasil observaram o potencial que esses tipos de telhas teriam para mercado e buscaram trazer essa inovação para o País. Existem alguns modelos nesse setor no Brasil, onde cada uma tem sua tecnologia e suas características.

2.2.1 Tipos de Telhas Solares

O modelo BIG-F11 é uma das primeiras telhas solares de concreto fabricadas no Brasil com o design igual as telhas convencionais, conforme mostra a figura 7. Elas são feitas de concreto, mas tem incorporada as células solares de silício monocristalino.

Possui dois tipos de acabamentos: clássica que tem uma textura tradicional do concreto e envelhece naturalmente. E as resinadas, que possuem uma fina camada de resina com alta durabilidade, evita formação de manchas, além de manter o telhado limpo por mais tempo (TÉGULA SOLAR; 2020).

Figura 7: Modelo BIG-F11.



Fonte: Tégula Solar (2020)

A Ecosolarroof W230, figura 8, teve seu desenvolvimento no Brasil, mas seus desenvolvedores tentaram buscar na China uma alta produtividade e redução de custos, o que devido a pandemia do COVID-19, tornou-se inviável. Portanto, foi necessário montar uma fábrica no Brasil para construir essas telhas.

Elas são feitas de fibra de vidro incorporada com células solares de silício monocristalino, além de ser térmica, fazendo com que os ambientes onde foram instalados não fiquem abafados. A sua produtividade no decorrer dos anos não é diminuída, pois elas possuem um protetor de raios ultravioletas, onde passa somente a luz e impede que os raios ultravioletas causem deterioração para o material e também fazendo que o ambiente não fique quente (SILVA; 2015).

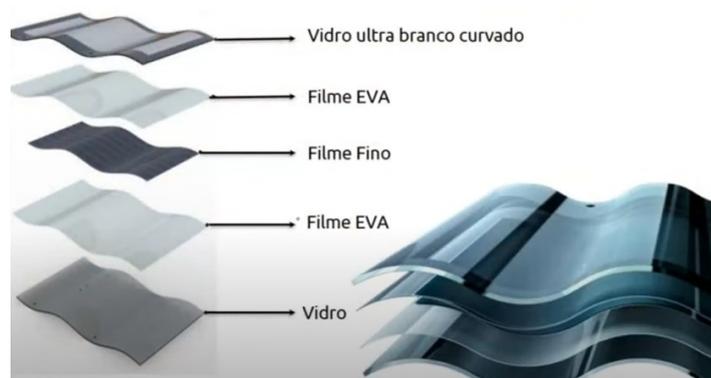
Figura 8: Ecosolarroof W230.



Fonte: Energia Solar Shop (2021)

O modelo HW-MQSB-V230 é importado e não existe fabricação no Brasil, apenas comercialização. Sua composição é feita por duas camadas de vidros temperados os quais servem para proteção mecânica, junto a última camada possui uma película que serve para isolamento térmica, além de existir duas camadas de filme EVA que são para proteção de antiabrasivo e por fim uma camada de filme fino de alta eficiência que torna a resistência interna maior, portanto se houver algum rompimento, não irá danificar toda a telha, conforme ilustra a figura 9 (VENDRAMEL; 2020).

Figura 9: Estrutura da telha HW-MQSB-V230.



Fonte: VENDRAMEL (2020)

As placas acopladas nas telhas normalmente são de silício monocristalino, já no modelo HW-MQSB-V230 (figura 10) é implantado o filme fino com tecnologia GICS, que possibilita que a célula fotovoltaica seja mais flexível, além de possuir um comportamento melhor em baixas irradiâncias.

Figura 10 – Modelo HW-MQSB-V230.



Fonte: L8 ENERGY (2021)

Atualmente temos outro tipo de telhas fabricadas no Brasil, as telhas solares de plásticos reciclados utilizando Grafeno. Porém, o projeto se encontra na fase de certificação do Inmetro e passará por testes em lugares com climas distintos, para que seja possível fazer a comercialização (PORTAL SOLAR; 2021).

A composição é feita utilizando o material polietileno de alta densidade - que é impermeável, atóxico, resistente a altas temperaturas e não agride o meio ambiente (PORTAL SOLAR; 2021). Além disso, o grafeno é o material mais fino do mundo e está entre os mais resistentes, pois é composto a partir de uma camada bidimensional de átomos de carbono organizados em estruturas hexagonais da altura de um único átomo. Pode ser obtido por meio da extração de camadas superficiais de grafite, um mineral maleável abundante na Terra (TECMUNDO; 2021).

Uma vantagem das telhas de grafeno é que elas também são capazes de absorver energia solar em dias nublados e chuvosos sem comprometer sua capacidade fotovoltaica (PORTAL SOLAR; 2021). Um exemplo deste tipo de telha pode ser visto na figura 11.

Figura 11: Telha de Grafeno



Fonte: Telite (2022)

Visto os principais tipos de telhas solares que estão sendo fabricadas atualmente no Brasil, vale ressaltar as principais vantagens e desvantagens da utilização deste tipo de geração solar.

Uma das principais vantagens é a estética, pois são desenvolvidas para se parecer com as telhas convencionais, o que deixa o telhado mais uniforme e bonito visualmente.

As instalações são mais práticas e fáceis, pois não necessitam de instalações de suportes volumosos.

As telhas são mais resistentes aos fenômenos naturais e são mais fáceis de fazer a substituição em caso de danificações.

A principal desvantagem é o custo que por se tratar de uma tecnologia nova e não ter sido totalmente incorporado no mercado brasileiro, faz com que fiquem com custos elevados. Portanto, para que o investimento seja vantajoso seria necessário fazer a instalações durante a construção ou caso contrário seria necessário reconstruir todo o telhado, pois não valeria a pena trocar apenas para a implantação das telhas solares.

A eficiência depende de dois fatores, sendo que a inclinação e os ângulos devem ser ideais para a captação da luz solar. Portanto, se o telhado não estiver com o dimensionamento ideal não será possível mexer nas inclinações e isso pode acabar afetando a eficiência.

Outro ponto seria sobre a sua durabilidade que não pode ser analisada, devido não ter sido utilizadas por tempo suficiente para estabelecer que de fato a vida útil é de muitos anos.

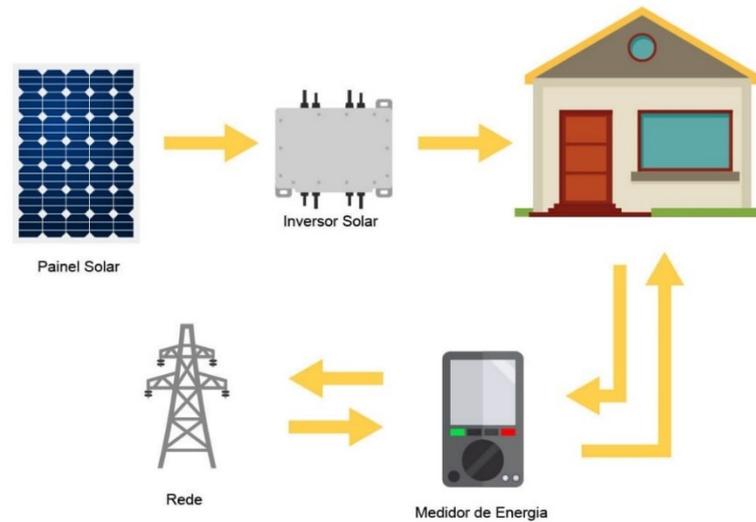
2.3 Telhas solares x painéis fotovoltaicos

O principal foco deste trabalho é traçar um comparativo entre as telhas solares e os painéis fotovoltaicos, no que diz respeito à qual terá um custo-benefício melhor em instalações residenciais. Para isso, é preciso saber quais as principais diferenças quanto à instalação elétrica. Nesta seção, trataremos sobre como é feita a instalação dos painéis e das telhas e as diferenças entre ambos.

Pode-se instalar os painéis solares em qualquer local da residência, sendo apenas necessário realizar o cálculo da área e a quantidade de placas necessária para suprir o consumo de energia ou podemos instalar diretamente nos telhados. Para um sistema *On-Grid*, figura 12, onde a geração é conectada diretamente na rede, os principais equipamentos são os painéis solares que são os conjuntos de módulos fotovoltaicos, que serão fixados nos telhados, é necessário ter um inversor fotovoltaico ou vários micro inversores, que iram agir convertendo em corrente alternada a corrente contínua e mandar a energia não consumida de volta para a rede, outro componente é o string box que é um conjunto que irá atuar para a proteção dos módulos, além de agir como uma chave liga/desliga em caso de reparo nos painéis. Os trilhos e demais componentes são usados para fixar os módulos sobre os telhados, caso os painéis fiquem no solo, eles darão a altura adequada. Por fim, vem os cabos e conectores que serão utilizados para fazer a ligação elétrica entre os equipamentos. Para os sistemas *Off-Grid*, figura 13, caracterizado por não ter ligação com a rede elétrica, é necessário um banco de baterias e um controlador de cargas, que irá atuar armazenando a energia elétrica (BlueSol; 2019).

Figura 12: Sistema *On Grid*.

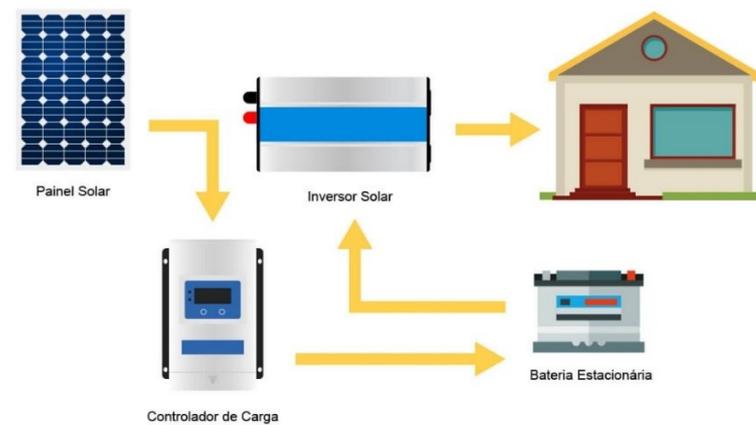
Sistema On Grid



Fonte: Neosolar (2021)

Figura 13: Sistema *Off Grid*.

Sistema Off Grid



Fonte: Neosolar (2021)

Para a instalação dos painéis, é necessário que os suportes sejam instalados de acordo com o material do telhado, sendo colocados embaixo ou diretamente nas telhas. Feito isso, é realizada a instalação dos trilhos onde serão colocadas as placas solares conectando os cabos. Após a finalização destas etapas, é feita a instalação dos inversores e finalizando com a conexão dos sistemas na rede da concessionária (COGERA; 2021).

O princípio de funcionamento das telhas é basicamente igual ao dos painéis, já que o kit de instalação é o mesmo. Teremos as células solares acopladas diretamente nas telhas, as conexões serão feitas através de conectores macho e fêmea que serão ligados nos inversores para a conversão da corrente elétrica.

Como visto nas seções anteriores, algumas telhas solares são feitas de concreto, parecida com as telhas convencionais. A principal diferença entre as telhas e os painéis se dá pelo fato de que a estrutura de cobertura das residências poderá gerar energia, o que não acontece com os painéis já que devem ser instalados em cima do telhado, além disso a telha é de fácil instalação e tem uma maior praticidade. Vale ressaltar que ao optar por telhas solares na residência será necessário trocar todo o telhado para que seja possível a correta instalação. Se a telha de grafeno tivesse na fase de comercialização seria outra alternativa para obter uma redução de custo, pois pode ser sobreposta ao telhado construído. Outro ponto crucial é em relação à inclinação e ângulos ideais para a captação da luz solar, nos painéis fotovoltaicos esses pontos podem ser solucionados com o uso de suporte para a placa solar (PORTAL SOLAR; 2021), já nas telhas isso tem que ser pensado junto com o projeto estrutural.

Em resumo, a diferença mais perceptível se dá no designer, já que os painéis solares podem ser colocados em cima de telhados ou lajes e tem como objetivo gerar energia, as telhas possuem o mesmo objetivo, além de ser usada para a cobertura do imóvel. No rendimento a telha possui um desempenho melhor que os painéis, já que na sua composição apresenta o vidro temperado, o que faz com que apresente apenas 2% de perdas da luz recebida. A instalação das telhas é mais fácil e rápida, podendo ter uma redução de até 60% no tempo de instalação, porém tem que modificar a estrutura da construção, já os painéis possuem uma estrutura metálica para a instalação fazendo com que seja possível a instalação em diversos locais e até mesmo

em sistemas flutuantes que possuem estruturas próprias projetadas para os painéis fotovoltaicos (DICA SOLAR; 2020).

A grande diferença entre esses sistemas de geração fotovoltaicas se da no valor do equipamento. Por se tratar de uma tecnologia relativamente nova, as telhas tem um custo muito elevado, chegando a custar mais de 500 reais a unidade, com isso as tradicionais instalações fotovoltaicas com os painéis solares são mais acessíveis ao consumidor (DICA SOLAR; 2020).

3. METODOLOGIA DE ANÁLISE

A seguir será apresentada a metodologia de análise utilizada, explicando como foi realizado cada levantamento para se obter a comparação entre os painéis fotovoltaicos e as telhas solares.

3.1 Localização da residência

A residência escolhida é um sobrado localizado no bairro do Sitio Cercado, na cidade de Curitiba, Latitude 25.54°S e Longitude 49.26°W. A casa é coberta por telhas de fibrocimento e tem uma angulação de 30° com cerca de 42m² de área de telhado.

3.2 Consumo e gasto mensal no ano de 2020

A residência usada no estudo possui 4 moradores, todos adultos. Todo sistema da casa funciona com eletricidade e não possui ar condicionado. O consumo e o gasto que serão apresentados se referem aos meses de janeiro à dezembro de 2020.

Foi realizado o levantamento de consumo mensal de energia, em kWh, do ano de 2020, onde ainda não estávamos na bandeira tarifária vermelha, devido à escassez de água. Além disso, foi feito o levantamento do gasto mensal de janeiro a dezembro a fim de estabelecer qual o gasto médio, onde este valor será importante para sabermos quanto será possível economizar com a instalação do sistema fotovoltaico.

3.3 Irradiação na unidade consumidora

Para obter os valores de irradiação solar da residência, foi usado o mapa interativo do Atlas Solar Paranaense e foi retirado os valores de Irradiação Global Horizontal (GHI).

Após a coleta dos dados, foi inserido esses valores no *software* Radiasol 1, onde é possível obter os valores de irradiação no plano inclinado do telhado. O ângulo

de azimute considerado foi de 0°, pois o telhado da residência tem sua orientação para o norte e sua inclinação é de 30°.

3.4 Cálculos

É de suma importância a utilização de equações matemáticas a fim de comparar sistemas fotovoltaicos com diferentes tecnologias e potências nominais, para isso se utiliza alguns índices com o intuito de verificar se o sistema está gerando energia de forma otimizada ou deve ser reconfigurado (BENEDITO, 2009). A seguir serão listados três índices que foram utilizados para as comparações entre telhas e painéis fotovoltaicos.

3.4.1 Fator de Capacidade (C_F)

Este índice, dada pela equação (1) representa a razão entre a energia entregue pelo sistema e a energia que ele entregaria se operasse 100% do tempo com sua carga nominal. No caso de sistemas fotovoltaicos no Brasil, esse fator fica entre 13% à 18% (BENEDITO, 2009).

$$C_F = \frac{\int_0^T P(t) dt}{P_N * T} = \frac{E(t)}{P_N * T} = \frac{Y_F}{T} (\%) \quad (1)$$

Onde:

$P(t)$ é a potência entregue pelo sistema no instante t , dado em kWh;

P_N é a potência nominal do sistema, dado em kWh;

T é o tempo utilizado no estudo;

3.4.2 Produtividade (*Yield*)

É a relação entre energia gerada (kWh) e a potência fotovoltaica instalada (kWp), sendo que essa produtividade pode ser dada anualmente ou mensalmente. A equação (2) representa este índice (URBANETZ et al, 2014).

$$Y_F = \frac{\int_0^T P(t) d(t)}{P_N} = \frac{\text{Energia gerada}}{\text{Potencia FV}} = \frac{\text{kWh}}{\text{kWp}} \quad (2)$$

Onde:

P(t) representa a potência entregue pelo sistema no instante t, em kWh;

PN representa a potência nominal do sistema, em kWp;

T representa o tempo do estudo;

3.4.3 Desempenho Global

Esta taxa é de suma importância pois através deste cálculo é possível comparar o desempenho elétrico por considerar as perdas durante o processo de transformação de energia solar em energia elétrica, representando de maneira correta a capacidade que o sistema tem de converter em eletricidade CA a energia solar disponível nos módulos ou telhas. A equação 3 representa a taxa de desempenho global.

$$P_R = \frac{Y_F(h)}{\frac{H_t}{G_{ref}}} = \frac{\text{Yield}}{\frac{\text{Irradiação}}{1000 \text{ w}}} \quad (3)$$

Onde:

H_t representa a irradiação no plano em questão, dado em kWh/m²;

G_{ref} representa a irradiância padrão, onde 1000 W/m²;

3.4.4 Energia Gerada

Permite calcular o valor de energia gerada individualmente dos módulos, onde é necessário obter o valor da potência e da radiação do sistema estudado.

$$E_d = \frac{P_{fv} * G_{fv} * PR}{G} \quad (4)$$

Onde:

E_d representa a energia gerada por modulo, dado em kWh/dia;

P_{fv} representa a potência do modulo fotovoltaico, dado em hWp;

G_{fv} é a irradiação do sistema estudado;

PR é a eficiência do sistema, considerando as perdas;

G é 1 kWh/m²;

3.4.5 Número de Painéis/Telhas

Permite calcular a quantidade de painéis e telhas necessária para suprir o consumo mensal.

$$N = \frac{P_{fv}}{P_n} \quad (5)$$

Onde:

N representa a quantidade de módulos/telhas;

P_{fv} representa a potência de pico do sistema, dado em kwp;

P_n representa a potência nominal de cada módulo, dado em W;

3.5 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico é uma das etapas mais importantes quando se instala algum tipo de fonte geradora de energia, pois é a partir dela que obtemos quanto de potência será gerada e qual será o investimento a ser realizado.

3.6 Payback

O *payback* se torna importante, pois é através dele que é possível analisar quanto tempo será necessário para começar a ter um retorno financeiro, suprindo todo investimento feito.

Para a análise de *payback* das telhas e módulos é levado em conta a quantidade de componentes que serão instalados. Para nosso sistema foi levado em consideração a potência de produção de cada tecnologia em kWh, realizando uma análise individual das tecnologias a fim de comparar os valores de investimento e de retorno financeiro.

Apresentado toda a análise presente no estudo, a seguir iremos mostrar os dados obtidos através da metodologia de análise, comparando através de cálculos e levantamento de dados qual das tecnologias será melhor empregada para nossa residência, que será o objetivo do nosso estudo de caso.

4. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos através da metodologia de análise, bem como o que obtivemos com os dados apresentados e os resultados dos índices mencionados anteriormente, fazendo uma comparação entre os painéis fotovoltaicos e as telhas solares.

4.1 Consumo e gasto mensal no ano de 2020

A seguir, na tabela 1, é apresentado o consumo e o gasto na residência no ano de 2020. Os dados aqui apresentados foram retirados das contas de luz de cada mês.

Tabela 1 - Consumo mensal

Mês	Consumo (kWh/mês)	Valor Pago (R\$)
Janeiro	284	251,2
Fevereiro	259	223,27
Março	265	229,93
Abril	320	280,13
Maio	286	245,28
Junho	260	224,13
Julho	301	258,13
Agosto	274	223,42
Setembro	254	218,96
Outubro	278	227,9
Novembro	245	203,86
Dezembro	292	255,49
Total	3318	2841,7
Média	276,5	236,81

Fonte: Autoria própria (2022)

4.2 Irradiação na unidade consumidora

A tabela 2 traz a irradiação global horizontal, sendo que os dados obtidos foram retirados do atlas solar paranaense.

Tabela 2 - Irradiação global

Mês	Irradiação Global Horizontal (kWh/m ² .dia)
Janeiro	5,28
Fevereiro	5,12
Março	4,48
Abril	3,8
Maio	3,04
Junho	2,71
Julho	2,87
Agosto	3,83
Setembro	3,82
Outubro	4,4
Novembro	5,26
Dezembro	5,57

Fonte: Atlas Solar (2022)

A tabela 3 mostra a irradiação no plano inclinado do telhado, utilizando o *software* Radiasol 1 e considerando que o ângulo de azimute é 0° e a inclinação do telhado é 30°.

Tabela 3 - Irradiação no plano do telhado

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MEDIA
kWh/m ² .dia	4,96	4,95	4,57	4,19	3,55	3,29	3,46	4,54	3,96	4,31	4,98	5,18	4,33

Fonte: Autoria Própria (2022)

Analisando os valores obtidos através do software é possível notar que os meses de junho e julho tiveram os menores índices de irradiação solar, por se tratar

de um período de inverno. O que chama a atenção é o mês de agosto que teve uma irradiação de 4,54 kWh/m².dia, possivelmente por ter sido um mês que teve um alto índice solar, mesmo estando no inverno.

4.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

A seguir será apresentado o dimensionamento do sistema fotovoltaico, expondo as quantidades de painéis e telhas, bem como os valores de investimento em cada tecnologia.

4.3.1 Painéis fotovoltaicos

Partindo do consumo médio mensal obtemos o valor de 276,5 kWh no ano de 2020, como a ligação da residência é 220V temos uma taxa de consumo mínima de 50 kWh, segundo a Resolução Normativa 414 de 2010 da ANEEL. Tendo isso em vista o consumo usado nos cálculos cai para 226,5 kWh. Como os cálculos serão realizados para valores diários, é necessário dividir o novo consumo pela quantidade de dias do mês.

Tabela 4 - Consumo real

Consumo médio	276,5 kWh/mês
Taxa mínima	50 kWh
Novo Consumo médio	226,5 kWh/mês
Consumo diário	7,55 kWh/dia

Fonte: Aatoria própria (2022)

Reescrevendo a equação (4), obtemos o valor da potência de pico do sistema fotovoltaico, que será utilizado para dimensionar a quantidade de módulos solares. A seguir é mostrado como obtemos o valor da potência de pico.

$$P_{fv} = \frac{E_d * G}{G_{fv} * PR} = \frac{7,55 * 1}{4,33 * 0,75} = 2,32 \text{ kWp}$$

Para o sistema foi escolhido módulos de 450 W e substituindo os valores na equação (5) chegamos que serão necessários 6 módulos fotovoltaicos com potência de pico de 2,7 kWp. Cada painel tem área de aproximadamente 2,20 m² sendo necessário cerca de 13,22 m² de área total para a instalação.

Com o valor calculado da potência de pico dos painéis, utilizando uma eficiência de 75% e fazendo uso da equação (4) foi possível dimensionar a energia gerada pelo sistema em cada mês do ano, onde obtemos uma média de 267,27 kWh/mês. A tabela 5 trará a energia gerada pelo sistema em cada mês.

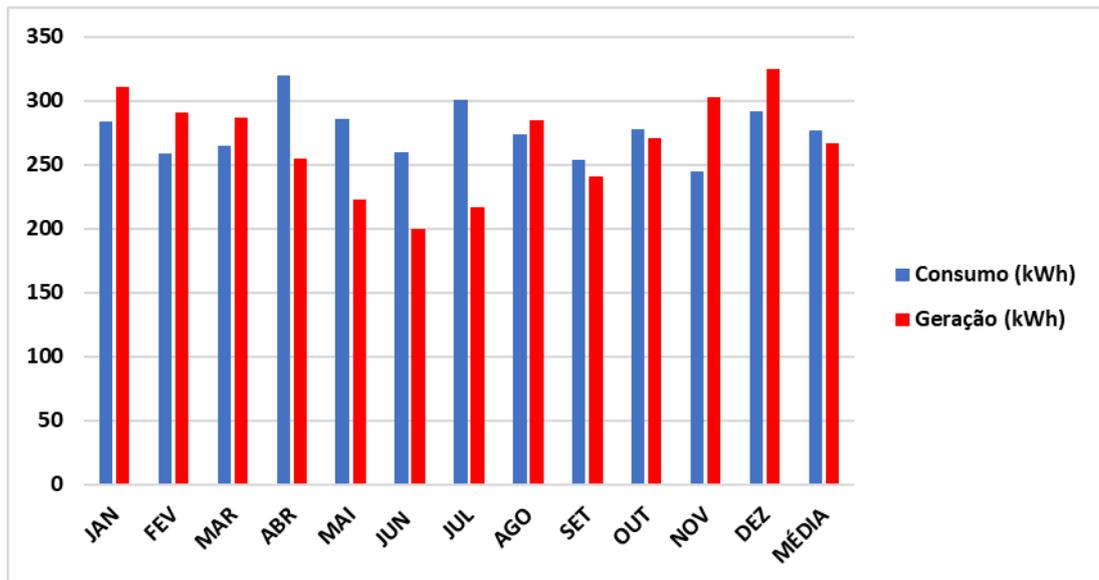
Tabela 5 - Energia gerada pelos painéis por mês

Mês	Dias	kWh/mês
Janeiro	31	311,36
Fevereiro	29	290,68
Março	31	286,88
Abril	30	254,54
Maio	31	222,85
Junho	30	199,86
Julho	31	217,20
Agosto	31	284,99
Setembro	30	240,57
Outubro	31	270,56
Novembro	30	302,53
Dezembro	31	325,17
Média	-	267,26

Fonte: Autoria própria (2022)

A figura 14 traz a comparação entre o consumo e a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos.

Figura 14 - Consumo x Geração painéis



Fonte: Autoria Própria (2022)

Tendo o valor da energia gerada média de 267,26 kWh/mês e da potência de pico dos painéis de 2,7 kWp, calculamos a produtividade através da equação (2) e obtemos o valor de 98,98 kWh/kWp. Outro cálculo importante é o de fator de capacidade que considera a energia que o sistema entregaria se operasse 100% do tempo (Benedito,2009), fazendo uso da equação (1) e utilizando 30 como média de dias do mês chegamos que os painéis tem um fator de capacidade de 13,74%.

Por fim, fazendo uso da equação (3) e usando a irradiância igual a 4330 Wh/m².dia temos que a taxa de desempenho dos painéis solares é de 76,20%.

4.3.2 Telhas solares

Para o dimensionamento das telhas solares iremos seguir o mesmo passo a passo que foi feito com os painéis, sendo que usaremos as mesmas equações. Utilizando os mesmos dados apresentados na tabela 4 e o valor de 2,32 kWp de potência de pico, podemos dimensionar a quantidade de telhas a serem usadas em nosso sistema. Substituindo os valores na equação (5) e usando 11 W como a potência das telhas, obtemos que serão necessárias 212 telhas para o nosso sistema com potência de pico de 2,33 kWp. Pelo site do fabricante temos a informação de que

a cada 1 m² são utilizadas cerca de 7 telhas e resolvendo a regra de três chegamos que a área de utilização do telhado é de 30,28 m².

Com o dado da potência de pico das telhas é possível calcular a energia gerada do sistema, com uma eficiência de 75% e fazendo uso da equação (5) temos que a média de energia gerada pelas telhas é de 230,32 kWh/mês. A tabela 6 traz a energia gerada durante os meses do ano de 2020.

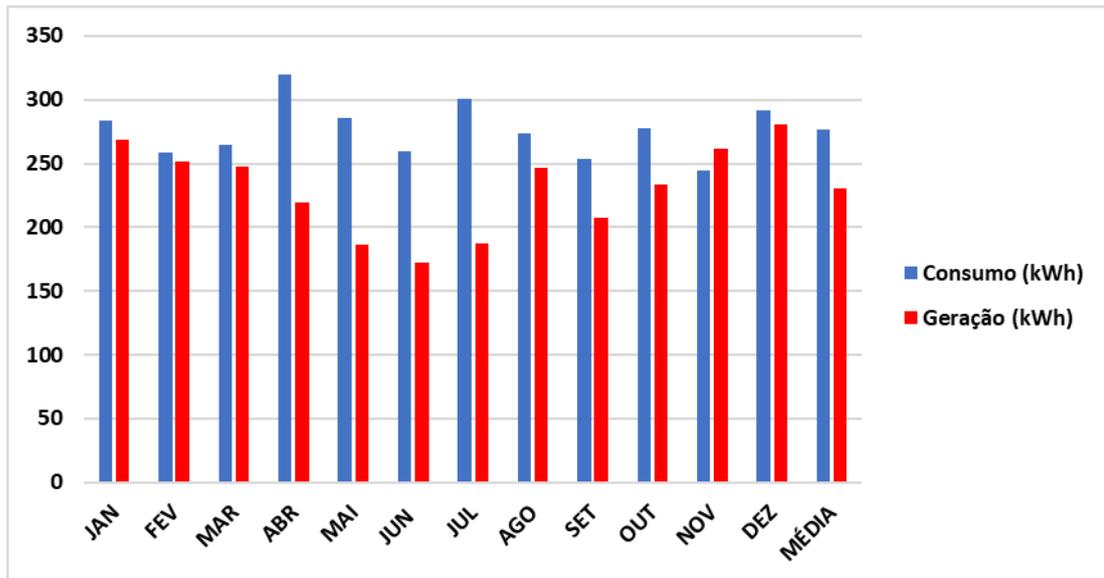
Tabela 6 - Energia gerada pelas telhas por mês

Mês	Dias	kWh/mês
Janeiro	31	268,92
Fevereiro	29	251,06
Março	31	247,78
Abril	30	219,84
Mai	31	186,26
Junho	30	172,62
Julho	31	187,59
Agosto	31	246,15
Setembro	30	207,78
Outubro	31	233,68
Novembro	30	261,30
Dezembro	31	280,85
Média	-	230,32

Fonte: Autoria própria (2022)

A figura 15 trará um comparativo entre a geração de energia das telhas juntamente com o consumo.

Figura 15 - Consumo x Geração telhas



Fonte: Autoria Própria (2022)

Com os valores de potência de pico das telhas igual a 2,33 kWp e da energia gerada igual a 230,32 kWh/mês e fazendo uso da equação (2) obtemos o valor de 98,76 kWh/kWp de produtividade, assim como nos painéis, para as telhas iremos considerar a média de dias do mês igual a 30 e fazendo uso da 1 temos que o fator de capacidade das telhas é igual a 13,71%.

Para a taxa de desempenho iremos usar o valor de 4330 Wh/m².dia para a irradiância e a equação (3) para o cálculo, sendo que o valor encontrado foi de 76,03%.

4.4 Produtividade

Este índice foi calculado a partir da média da energia gerada por cada tecnologia (tabelas 5 e 6) e da potência nominal de cada sistema, sendo utilizado a equação 2 para se obter os resultados. A tabela 7 traz a comparação de produtividade entre as telhas e os painéis.

Tabela 7 - Comparação entre a produtividade

Sistema	Telhas	Painéis
Resultado (kWh/kWp)	98,76	98,98

Fonte: Autoria própria (2022)

Os painéis fotovoltaicos levam uma pequena vantagem já que a produtividade é 0,22% maior do que as telhas, isso se dá pelo fato dos painéis terem uma maior energia gerada, o que faz com que a potência de pico seja maior em comparação com as telhas.

4.5 Fator Capacidade

Para o fator capacidade, além de usar os resultados obtidos na produtividade, levamos em conta a média de 30 dias por mês considerando que o sistema estará funcionando 24 horas por dia, os resultados são obtidos através da utilização da equação 1. A comparação entre os valores do fator capacidade estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Comparação entre o fator capacidade

Sistema	Telhas	Painéis
Resultado (%)	13,71	13,74

Fonte: Autoria própria (2022)

Este é mais um índice que os painéis levam vantagem em cima das telhas, já que a capacidade de produção real dos painéis é cerca de 0,21% maior do que das telhas. Vale ressaltar que para os cálculos do fator de capacidade foi considerado a média dos dias do mês e o tempo de produção iguais para os dois sistemas.

4.6 Taxa de Desempenho

Para este índice, precisamos considerar a média de irradiação apresentada na tabela 3, bem como a média de 30 dias por mês junto com a produtividade e fazendo uso da equação 3 para se obter os resultados. A seguir será apresentado os valores para a taxa de desempenho dos painéis e das telhas.

Tabela 9 - Comparação entre a taxa de desempenho

Sistema	Telhas	Painéis
Resultado (%)	76,03	76,20

Fonte: Autoria própria (2022)

A taxa de desempenho é um dos índices mais importantes por considerar as perdas do sistema, nele temos que os painéis tem uma maior capacidade de aproveitamento solar, cerca de 0,22% comparada com as telhas solares.

Analisando os índices calculados em nosso sistema, ficou claro que os painéis obtiveram melhores resultados, mesmo que com pouca diferença em relação as telhas, isso se deve pelo fato de a geração de energia dos módulos serem maior que das telhas, além da área ocupada pelos painéis ser menor que a área das telhas. Isso são pontos que devem ser levando em consideração na hora de escolher qual a melhor tecnologia.

4.7 Cálculo de *payback*

As tabelas 10 e 11 nos mostram os equipamentos e modelos utilizados pelos módulos e as telhas, já a tabela 12 mostra o investimento de cada tecnologia. Para as telhas o modelo escolhido foi da Tégula Solar Telha Fotov BIG-F11, já para os módulos o modelo escolhido foi SF-M16/144450. O critério utilizado para a escolha dos modelos foi a questão do custo, onde os valores encontrados foram os mais baixos.

Tabela 10 - Materiais dos painéis

PAINÉIS		
Materiais	Quantidade	Unidade
Painel Solar Mono 450w	6	Un.
Inversor MG3KTL-ZI	1	Un.
Módulo de Comunicação	1	Un.
Grampo intermediário	12	Un.
Grampo final	4	Un.
Estrutura para suporte	10	Un.

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 11 - Materiais das telhas

TELHAS		
Materiais	Quantidade	Unidade
Telha Fotov BIG-F11	212	Un.
Micro inversores	2	Un.
Telha BIG CZ Perola	153	Un.
Chicotes para ligação	100	Metros

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 12 - Investimento

INVESTIMENTO			
TELHAS		MÓDULOS	
	VALOR (R\$)		VALOR (R\$)
Kit telhas com inversores	13.352,00	Kit módulos com inversores	12.918,38
Frete	3.500,00	Frete	365,40
Mão de obra	7.000,00	Mão de obra	5.000,00
Total	23.852,00	Total	18.283,78

Fonte: Autoria própria (2022)

O objetivo do cálculo de *payback* é obter o valor de retorno após realizar o investimento instalando a tecnologia fotovoltaica. Para a instalação das telhas BIG-F11 de potência de pico de 2,33 kWp e energia gerada de 230,32 kWh/mês o investimento foi de R\$ 23.852,00 reais. Já para a instalação dos módulos SF-M16/144450 de potência de pico igual a 2,7 kWp e energia gerada de 267,27 kWh/mês o investimento é de R\$ 18.283,78 reais. Para a realização mais precisa dos cálculos, foram consideradas as seguintes tarifas da Copel:

- Reajuste anual da tarifa de energia: 9,89%;
- Tarifa vigente convencional do grupo B1 – Residencial com impostos: R\$ 0,73;

As tabelas 13 e 14 mostram os valores economizados a partir do primeiro ano após a instalação e a quantidade de anos para se obter o retorno financeiro desejado.

Tabela 13 - *Payback* dos painéis

<i>Payback</i> dos painéis	
ANO	Economia anual (R\$)
1	2.341,28
2	2.572,84
3	2.827,29
4	3.106,91
5	3.414,18
6	3.751,84
1 mês	343,57
Total	18.357,93

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 14 - Payback das telhas

<i>Payback das telhas</i>	
ANO	Economia anual (R\$)
1	2.017,60
2	2.217,14
3	2.436,42
4	2.677,38
5	2.942,17
6	3.233,15
7	3.552,91
8	3.904,30
3 meses	1.072,61
Total	24.053,70

Fonte: Autoria própria (2022)

A partir do investimento realizado para a instalação do sistema fotovoltaico na residência é possível observar que o tempo necessário para obter o retorno financeiro dos módulos é menor que as telhas, como mostra a tabela 15.

Isso se deve pelo investimento a ser realizado nas telhas ser maior que os módulos. Por se tratar de algo consideravelmente novo, as telhas tem uma mão de obra mais elevada bem como o frete ter um custo maior em comparação com os módulos. Outro ponto que pesa negativamente é o fato de ser necessário trocar todo o telhado para a instalação das telhas, pois devido ao encaixe elas devem ser do mesmo padrão.

Tabela 15 – Comparação do *payback*

Investimento (R\$)		<i>Payback</i>	
Painéis	Telhas	Painéis	Telhas
18.283,78	23.852,00	6 anos e 1 mês	8 anos e 3 meses

Fonte: Autoria própria (2022)

O *payback* foi o último índice analisado e mais uma vez os módulos levaram vantagem em cima das telhas, dessa vez tendo uma diferença maior na comparação, isso se deve pelo fato de o investimento realizado pelas telhas ser 1,3 vezes maior que os módulos, além disso o tempo de retorno financeiro dos módulos são mais de dois anos a menos em comparação com o *payback* das telhas.

5. CONCLUSÃO

Devido ao avanço das tecnologias e ao momento do cenário energético atual, ficou cada vez mais comum os consumidores aderirem a instalação de fontes alternativas de energia, principalmente as que fazem parte da geração distribuída como a geração fotovoltaica.

O estudo realizado analisou a implementação de um sistema fotovoltaico comparando os módulos convencionais com as telhas solares em uma residência na cidade de Curitiba. O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado após o levantamento de carga e nele é possível concluir que o uso desta tecnologia é viável para a residência. Para concluir qual das tecnologias será mais viável é preciso analisar dois pontos, o primeiro é a eficiência do sistema e o segundo é a questão econômica.

Analisando do ponto de vista de eficiência os módulos apresentaram resultados mais satisfatórios, sendo que os parâmetros calculados neste trabalho como produtividade, fator de capacidade e taxa de desempenho apresentaram valores melhores do que as telhas.

Tendo como base o fator investimento, os módulos mais uma vez apresentaram resultados melhores, isso porque o investimento para a instalação das telhas foi superior aos módulos. Vale salientar que alguns pontos fazem com que o investimento nas telhas seja superior, entre eles podemos destacar a mão de obra já que para a instalação é necessário a troca completa do telhado, o frete é outra questão que influencia no valor final já que não temos empresas que fabricam as telhas em Curitiba fazendo com que a distância para o transporte seja maior.

Para o *payback* tivemos uma diferença de mais de dois anos para obter o valor de investimento (6 anos e 1 mês para os módulos e 8 anos e 3 meses para as telhas), fazendo com que a instalação dos módulos acabe sendo mais atrativa que as telhas. Outro ponto a se considerar é o viés da instalação, o fato de a residência já estar construída faz com que a instalação dos módulos seja mais fácil do que as telhas, já que não é preciso trocar nada, sendo necessário apenas instalar os módulos no telhado, respeitando a angulação para o melhor aproveitamento do sol.

Se analisarmos uma residência que está sendo construída a ideia de instalação das telhas se coloca como mais interessante, já que no projeto estrutural o consumidor pode optar por utilizar esse tipo de tecnologia. O fato de projetar um sistema fotovoltaico ainda com o projeto na planta traz algumas vantagens: é possível construir o telhado na angulação ideal para uma melhor captação dos raios solares, optando pelas telhas a mão de obra se torna algo não muito caro pois não será preciso remover todo o telhado, além das telhas serem projetadas para resistir a tempestades, chuvas de granizo e vento forte.

Por fim, cabe ao consumidor escolher qual das duas tecnologias é mais adequada às suas necessidades. Para uma residência já existente os módulos se tornam uma opção mais coerente, já para uma residência que ainda será construída as telhas seria a melhor indicação já que além do aspecto visual a geração de energia se torna bem próximo dos módulos. Como comprovado através dos cálculos, a melhor indicação para o sistema apresentado neste trabalho seria os módulos fotovoltaicos, pois além de ter uma eficiência melhor seu retorno financeiro se dá de uma forma mais rápida.

É esperado que este trabalho seja utilizado como fonte de pesquisa para o desenvolvimento de novos estudos relacionados a telhas solares. Um possível tema seria a análise da instalação das telhas em uma residência a ser construída, outro tema seria um comparativo entre as principais telhas solares comercializados no Brasil e por fim poderia haver a análise de um segundo modelo de telha solar comparado com os resultados que obtivemos neste trabalho.

6. REFERENCIAS:

ABSOLAR. **O que é Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/o-que-e-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em 10 de maio de 2022.

BENEDITO, Ricardo da Silva. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório. 2009**. Dissertação (Mestrado em Energia) - Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BV. **Instalação de Energia Solar**. Disponível em: <https://www.bv.com.br/bv-inspira/parceiro-solar/instalacao-de-energia-solar>. Acesso em 02 de maio de 2022.

BLOG BLUE SOL. **Instalação de Energia Solar**. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/instalacao-de-energia-solar/>. Acesso em 02 de maio de 2022.

CABRAL, I. S.; TORRES, A. C.; SENNA, P. R. Energia solar – Análise comparativa entre Brasil e Alemanha. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5., 2013, Salvador: IBEAS, 2013. v. 1, p. 1 - 10. 2013.

COGERA. **Instalação de um Painel Solar**. Disponível em: <https://cogera.com.br/instalacao-de-um-painel-solar/>. Acesso em 02 de maio de 2022.

DICA SOLAR. **Telhas Solares Quais as Diferenças Para os Painéis**. Disponível em: <https://dicasolar.com.br/telhas-solares-qual-a-diferenca-para-os-paineis/>. Acesso em 29 de maio de 2022.

ECYCLE. **Carvão Mineral**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/carvao-mineral/>. Acesso em 17 de novembro de 2021.

ECYCLE. **Energia Renovável**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/energia-renovavel/>. Acesso em 18 de novembro de 2021.

ELETRO JR. **Modalidades de Compensação de Energia**. Disponível em: <https://eletrojir.com.br/2019/08/30/modalidades-de-compensacao-de-energia-o-que->

sao-e-como-saber-em-qual-opcao-a-sua-unidade-se-encaixa/. Acesso em 11 de maio de 2022.

ENERGES. **Modalidades de Geração Distribuída**. Disponível em: <https://energes.com.br/modalidades-de-geracao-distribuida/>. Acesso em 20 de abril de 2022.

ENERGES. **O que é Geração Distribuída**. Disponível em: <https://energes.com.br/o-que-e-geracao-distribuida/>. Acesso em 20 de abril de 2022.

ENERGIA SOLAR SHOP. **Telha de Energia Solar: Telhas Solares e Seus Benefícios? O que são Telhas para Energia Solar?**. Disponível em: <https://www.energiasolarshop.com.br/post/telha-de-energia-solar-telhas-solares-e-seus-beneficio-telhas-para-energia-solar>. Acesso em 18 de maio de 2022.

EPE. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em 18 de novembro de 2021.

ESFERA ENERGIA. **Energia Fóssil**. Disponível em: <https://esferaenergia.com.br/blog/energia-fossil/>. Acesso em 17 de novembro de 2021.

ESFERA ENERGIA. **MMGD**. Disponível em: <https://esferaenergia.com.br/blog/mmgd/>. Acesso em 24 de abril de 2022.

FIEPR. **O que é Geração Distribuída**. Disponível em: <https://www.fiepr.org.br/observatorios/energia/o-que-e-geracao-distribuida-1-21893-327075.shtml>. Acesso em 10 de maio de 2022.

FRANCO SOLAR. **O que é e como funciona a geração compartilhada de energia solar**. Disponível em: https://www.francosolar.com.br/blog/17/o_que_e_e_como_funciona_a_geracao_compartilhada_de_energia_solar.html. Acesso em 15 de maio de 2022.

GREENER. **Análise do Marco Legal da Geração Distribuída**. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/analise-do-marco-legal-da-geracao-distribuida-lei-14-300-2022/>. Acesso em 14 de agosto de 2022.

HOSENUZZAMAN, M.; RAHIM, N.A.; SELVARAJ, J.; HASANUZZAMAN, M.; MALEK, A.B.M.A.; NAHAR, A. Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation, 2014.

INTELBRAS. **Como Funciona a Compensação de Energia**. Disponível em:

<https://blog.intelbras.com.br/como-funciona-a-compensacao-de-energia/>. Acesso em 19 de novembro de 2021.

INSOL ENERGIA. **Geração Centralizada x Geração Distribuída**. Disponível em: <https://insolenergia.com.br/blog/geracao-centralizada-x-geracao-distribuida>. Acesso em 26 de abril de 2022.

J. Urbanetz Junior. "Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade". Tese de doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGE, 2010.

L8 ENERGY. **Telha Solar L8 – 30W**. Disponível em:

<https://loja.l8energy.com/produto/telha-solar-hantile/>. Acesso em 18 de maio de 2022.

NEO SOLAR. **Energia Solar**. Disponível em:

<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar>. Acesso em 15 de maio de 2022.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar Como Calcular**. Disponível em:

<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-como-calcular>. Acesso em 19 de novembro de 2021.

PORTAL SOLAR. **O que é energia solar? Tudo o que você precisa saber**. Disponível em:

<https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-energia-solar.html>. Acesso em 20 de novembro de 2021.

PROJETO SOLAR. **Usina Autoconsumo Remoto**. Disponível em:

<https://www.projetosolar.eng.br/usina-autoconsumo-remoto>. Acesso em 11 de maio de 2022.

SENADO. **Comissao de Infraestrutura vai debater crise hídrica e racionamento de energia.** Disponível em:

<https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2021/10/26/comissao-de-infraestrutura-vai-debater-crise-hidrica-e-acionamento-de-energia>. Acesso em 19 de novembro de 2021.

SILVA, Charles Virgílio. **Telha fotovoltaica • como funciona.** Youtube, 25 fev. 2015. 1 vídeo (11:56 min). Publicado pelo canal Entre Pra Morar. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=IEuxtjoAd_8&list=TLGG5hOjQbZuMNwxODA1MjAyMg&t=325s. Acesso em 18 maio. 2022.

TECMUNDO. **Tesla finalmente começa a fabricar telhas de energia solar.** Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/mercado/126094-tesla-fabrica-telhas-energia-solar.htm/>. Acesso em 18 de maio de 2022.

TEGULA SOLAR. **Instalação Telhas Solares.** Disponível em: <https://www.tegulasolar.com.br/>. Acesso em 02 de maio de 2022.

TEGULA SOLAR. **TEG02620_Datasheet.** Disponível em: https://www.tegulasolar.com.br/portal/tegula/arquivos/TEG02620_Datasheet.pdf?q=1. Acesso em 18 de maio de 2022.

TIEPOLO, G.; CANGIOLIERE, O. “Fontes renováveis de energia – tendências e perspectivas para o planejamento energético emergente no Brasil”, Revista SODEBRAS, Volume 7, no 77, Edição Maio, ISSN 1809-3957, 2012.

VENDRAMEL, Francisco. **Palestra Telha Solar - com Francisco Vendramel - L8 Energy.** Youtube, 28 maio. 2020. 1 vídeo (1h01 min). Publicado pelo canal Engenharia de Energia UP. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LOuJ4P-1TEA>>. Acesso em 19 maio. 2022.