

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Vitor Rosa Basso

**ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO DE FIXAÇÃO DE PAINÉIS  
FOTOVOLTAICOS EM PAREDE EXTERNA DE EDIFÍCIO**

Santa Maria, RS  
2024

Vitor Rosa Basso

**ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO DE FIXAÇÃO DE PAINÉIS  
FOTOVOLTAICOS EM PAREDE EXTERNA DE EDIFÍCIO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Engenheiro Mecânico**.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Roos

Santa Maria, RS  
2024

Vitor Rosa Basso

**ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO DE FIXAÇÃO DE PAINÉIS  
FOTOVOLTAICOS EM PAREDE EXTERNA DE EDIFÍCIO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Engenheiro Mecânico**.

Aprovado em 17 de Junho de 2024:

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Cristiano Roos, Engenharia de Produção (UFSM)  
(Presidente/Orientador)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Leandro Costa de Oliveira, Engenharia Mecânica (UFSM)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Roberto Portes Ribeiro, Administração e Engenharia Mecânica (UFSM)

Santa Maria, RS  
2024

# ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO DE FIXAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM PAREDE EXTERNA DE EDIFÍCIO

## TECHNICAL AND ECONOMIC STUDY OF FIXING PHOTOVOLTAIC PANELS ON EXTERNAL WALLS OF BUILDINGS

Vitor Rosa Basso<sup>1</sup>, Cristiano Roos<sup>2</sup>

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um estudo técnico e econômico envolvendo estruturas mecânicas para a sustentação de painéis fotovoltaicos em parede externa de edifício. Foram delineados dezesseis cenários, considerando variações no ângulo de inclinação do sistema fotovoltaico, nas tarifas de energia em vigor, na isenção ou não da nova tarifa de injeção de energia na rede elétrica e no valor da Taxa Mínima de Atratividade. No tocante à análise econômica, empregaram-se para cada cenário os métodos do Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e *Payback* Descontado. Os resultados foram contrastados com o valor obtido pelo método do *Levelized Cost of Energy*. Todos os cenários demonstraram viabilidade econômica para investimento. Tarifas energéticas mais elevadas potencializam o desempenho econômico do sistema fotovoltaico, e a nova tarifa de injeção de energia não impactou consideravelmente a viabilidade do investimento. O retorno do capital investido ocorreu dentro de um período de até 40% da vida útil do projeto.

**Palavras-chave:** Energia renovável. Energia solar. Geração fotovoltaica. Fachada. Edifício. Fixação. Engenharia econômica. Viabilidade econômica.

### ABSTRACT

The objective of this study is to conduct a technical and economic analysis of mechanical structures for supporting photovoltaic panels on the external walls of buildings. Sixteen scenarios were outlined, considering variations in the tilt angle of the photovoltaic system, the prevailing energy tariffs, the exemption or non-exemption from the new energy injection tariff into the grid, and the Minimum Attractive Rate. For the economic analysis, methods such as Net Present Value, Internal Rate of Return, and Discounted Payback were employed for each scenario. The results were compared with the values obtained from the Levelized Cost of Energy method. All scenarios demonstrated economic viability for investment. Higher energy tariffs enhance the economic performance of the photovoltaic system, and the new energy injection tariff did not significantly impact the investment viability. The return on invested capital occurred within up to 40% of the project's useful life.

**Keywords:** Renewable energy. Solar energy. Photovoltaic generation. Facade. Building. Fixation. Economic engineering. Economic viability.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, autor; Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia – UFSM.

<sup>2</sup> Engenheiro de Produção, orientador; Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina; Professor do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas – UFSM.

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à preocupação cada vez maior com o futuro ambiental do planeta, diversas pesquisas voltaram-se à utilização de fontes renováveis de energia. Dentre as diversas formas alternativas para obtenção de energia elétrica, está o aproveitamento do potencial solar (SILVA *et al.*, 2019). Neste contexto, o Brasil ocupa uma área privilegiada que recebe cerca de 1000 MWh de energia solar ao longo do ano (LIZA; ROMÃO; KASEMODEL, 2021). O Brasil também tem sido palco do avanço das tecnologias de energias renováveis nos últimos anos. O arcabouço legal do setor elétrico brasileiro vem avançando no sentido de assegurar que a energia elétrica proveniente de fontes renováveis de energia esteja mais presente na matriz energética nacional (SOUZA; SOUZA; MINORI, 2018).

Segundo Urbanetz Junior (2010), os sistemas fotovoltaicos possuem baixo impacto ambiental, produzem energia através de uma fonte renovável e de maneira silenciosa. O uso de tecnologias de conversão de energia solar vem crescendo mundialmente a taxas elevadas, tanto para aplicações térmicas, quanto fotovoltaicas. Entre 2010 e 2016, a capacidade instalada global por sistemas fotovoltaicos cresceu em média 40% contra 16% da eólica e aproximadamente 3% da hídrica.

Sistemas fotovoltaicos acabam proporcionando a opção de aplicação em meios urbanos, podendo ser instalados em edifícios, condomínios residenciais, casas isoladas, indústrias e comércios (URBANETZ JUNIOR, 2010). Junto a isso, com o aumento do custo na conta de energia elétrica, a possibilidade de investimento em outras fontes alternativas independentes, que venham gerar economia e reduzir a conta, tem contribuído para os projetos de instalação de unidades de geração de energia elétrica fotovoltaica (COSTA *et al.*, 2020). Com grandes metrópoles e com a alta concorrência pelo espaço em meio a esses ambientes, aplicar uma solução para uso de placas fotovoltaicas em espaços não muito favoráveis é ideal para uma plena evolução e adaptação ao futuro da energia limpa e renovável.

## 1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA DE PESQUISA

Neste contexto, pode-se firmar o tema desta pesquisa: estudo técnico e econômico de fixação de painéis fotovoltaicos em parede externa de edifício. O problema de pesquisa é de ordem prática e pode ser assim descrito: Há viabilidade técnica e econômica na instalação de suportes para painéis fotovoltaicos em lateral de edifício na cidade de Panambi?

## 1.2 JUSTIFICATIVAS

A tecnologia fotovoltaica integrada à edificação apresenta-se como uma opção inteligente de geração energética próximo ao ponto de consumo, não ocupando área extra e não interferindo negativamente no entorno em que se encontra. A utilização dessa tecnologia, tanto sobreposta à estrutura existente quanto sendo o próprio material de vedação, só acrescenta valor estético à edificação, juntamente, o edifício pode ser considerado sustentável (CUNHA; RHEINGANTZ; GONÇALVES, 2017).

A estratégia de aplicar um suporte para placas solares em lateral de edifício acaba se tornando uma ideia criativa e inovadora, principalmente por manter os princípios de ser sustentavelmente eficiente e pelo uso prático. Este estudo apresenta se sua eficiência é adequada e se seu custo-benefício faz sentido com relação ao valor investido.

## 1.3 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver um estudo técnico e econômico envolvendo estruturas mecânicas para a sustentação de painéis fotovoltaicos em parede externa de edifício. Assim, podem ser definidos os objetivos específicos desta pesquisa:

- Verificar a existência comercial de estruturas mecânicas para a sustentação de painéis fotovoltaicos em parede externa de edifício.
- Dimensionar para um caso real o uso destas estruturas mecânicas para a sustentação de painéis fotovoltaicos.
- Analisar o custo-benefício das estruturas mecânicas para a sustentação de painéis fotovoltaicos.

- Simular cenários em um estudo de Engenharia Econômica para aprofundar o entendimento técnico e econômico.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho divide-se em cinco seções. Na primeira seção, é apresentada a introdução. Depois, tem-se o referencial teórico, onde são apresentados os fundamentos para um melhor entendimento deste trabalho. Na terceira seção estão apresentados os procedimentos metodológicos, com as classificações e as etapas de pesquisa. Logo após, a quarta seção traz os resultados. Por fim, na quinta seção, é apresentada a seção com as conclusões do trabalho.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico do presente trabalho está dividido em três principais tópicos. O primeiro apresenta definições sobre engenharia econômica que serão utilizados neste trabalho. O segundo tópico traz definições sobre os princípios e o funcionamento dos painéis fotovoltaicos, junto com suas instalações. Por fim, o terceiro tópico apresenta estudos aplicados com temas semelhantes ao relatado neste trabalho.

### 2.1 ENGENHARIA ECONÔMICA

A Engenharia Econômica tem por objetivo a avaliação de investimentos ou projetos, propiciando informações quantitativas para a escolha daquele mais rentável, através de indicadores que possibilitam sua comparação. A aplicação dos conceitos da engenharia econômica não se limita apenas ao ambiente corporativo, estende-se também a projetos da vida pessoal (QUIZA, 2011).

A necessidade de conhecimentos em Engenharia Econômica é motivada principalmente pelo trabalho que os engenheiros desenvolvem em análises de desempenho, síntese e conclusão em projetos de todas as dimensões (BLANK; TARQUIN, 2008). Assim também, a engenharia econômica depende do processo de modelagem, pois as ferramentas de análise que utiliza aplicam-se sobre o fluxo de caixa de um projeto, que é obtido através de um modelo que simula o seu

comportamento. O resultado da análise do fluxo de caixa resultante do modelo orienta a tomada de decisão do projeto (QUIZA, 2011).

Para uma análise precisa de investimentos, é possível empregar métodos como a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Valor Presente Líquido (VPL), os quais, quando aplicados corretamente, devem resultar na mesma decisão (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2010; MOTTA; CALÔBA, 2002). Esses autores também mencionam o método de *Payback* (PB), conhecido como o tempo de recuperação do capital investido. Uma variação deste último é o *Payback Descontado* (PBD), que leva em conta o custo do capital investido, descontando os fluxos de caixa com base em uma taxa determinada pelo investidor (PUCCINI, 2016; ROSS *et al.*, 2021).

Através do Levelized Cost of Energy (LCOE), uma métrica na análise da geração de energia, é possível estabelecer um parâmetro que equilibra as particularidades de cada tecnologia em torno de um valor comum, tornando a comparação mais acessível. O LCOE, é definido como a razão entre o custo total (instalação, operação, manutenção) e a geração de energia ao longo do ciclo de vida do equipamento (IRENA, 2021), proporcionando uma avaliação abrangente da viabilidade econômica. Conforme destacado por Ramadhan e Naseeb (2011), para calcular o LCOE de um projeto, o primeiro passo é calcular o Capital Recovery Factor (CRF), ou, em português, fator de recuperação de capital. Esse cálculo inicial é essencial para dar sequência à avaliação financeira do projeto.

A análise de investimentos gera a necessidade de comparação, assim, a taxa mínima de atratividade (TMA) surge como um dos valores base de comparação mais importantes ao avaliar investimentos (BLANCK; TARQUIN, 2012). Conforme mencionado por Camloffski (2014), a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) deve ser, no mínimo, igual à maior entre as seguintes taxas: custo de um empréstimo, custo do capital ou custo de oportunidade. Em consonância com Casarotto Filho e Kopittke (2010), a TMA deve assegurar, no mínimo, uma rentabilidade equivalente às aplicações correntes e de baixo risco disponíveis no mercado financeiro local do investimento. O Quadro 1 apresenta as equações para os métodos aplicados neste trabalho.

Em que:  $VPL$  é o fluxo de caixa do investimento [R\$];  $FC_t$  é a entrada ou fluxo de caixa no período  $t$  [R\$];  $n$  é o número de períodos na linha do tempo;  $t$  é o período genérico na linha do tempo;  $k$  é taxa de custo de capital da empresa na equação do

VPL e a Taxa Interna de Retorno na equação da TIR, TMA [% ao período];  $FC_0$  é o investimento inicial;  $F_t$  é o valor do fluxo de caixa para cada período [R\$];  $i$  é a taxa de juros utilizada [% ao período]; LCOE é o custo equivalente da energia (R\$/kWh);  $CI$  é o custo de instalação [R\$];  $CRF$  é o fator de recuperação do capital;  $CM$  é o custo de manutenção ao longo do período [R\$];  $PT$  e é a produtividade total [kWh].

Quadro 1– Equações dos métodos VPL, TIR, PBD e LCOE

Método	Equação
Valor Presente Líquido (VPL)	$VPL = \sum_t^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} - FC_0$
Taxa Interna de Retorno (TIR)	$0 = \sum_t^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} - FC_0$
Payback Descontado (PBD)	$\sum_t^n \frac{F_t}{(1+i)^t} \geq 0$
Fator de Recuperação de Capital (CRF)	$CRF = \frac{(i*(1+i)^n)}{[(1+i)^n - 1]}$
<i>Levelized cost of energy (LCOE)</i>	$LCOE = \frac{(CI*CRF) + \sum_n CM}{\sum_n PT}$

Fonte: adaptado de Casarotto Filho e Kopittke (2010), Camargos (2013), Thuesen e Fabrycky (2000), Ramadhan e Naseeb (2011).

Essas equações desempenham um papel fundamental no processo de cálculo, contribuindo para a obtenção da conclusão mais precisa do trabalho. Em outras palavras, a Engenharia Econômica está no âmago do processo de tomada de decisões (BLANK; TARQUIN, 2008).

## 2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Segundo Sampaio e Gonzáles (2017), pode-se adotar como conceito de energia solar fotovoltaica o seguinte: eletricidade obtida diretamente da conversão da energia solar. Para o mesmo autor, a conversão da radiação solar em eletricidade ocorre devido ao efeito fotovoltaico. De fato, uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica. Apenas mantém um fluxo de elétrons estabelecidos em um circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela. Este fenômeno é denominado “efeito fotovoltaico” (NASCIMENTO, 2004). Um sistema fotovoltaico de energia é composto por um ou mais módulos fotovoltaicos e por um conjunto de equipamentos complementares, como baterias, controladores de carga, inversores e outros

equipamentos de proteção, componentes que variam de acordo com a aplicação do sistema fotovoltaico (BRAGA, 2008).

Uma das principais características das células fotovoltaicas é que pode ser classificada e utilizada em dois sistemas diferentes: *on grid* e *off grid* (NUNES; SOUZA; BATISTA, 2022). A diferença básica entre tais sistemas reside no uso de baterias e seus controladores. No *on grid* os painéis fotovoltaicos são conectados à rede elétrica, assim o excedente de energia não utilizado é usado na rede deixando o proprietário com crédito para usar essa energia quando não há radiação solar (NUNES; SOUZA; BATISTA, 2022). No *off grid* não há conexão com rede elétrica, assim, a energia excedente é armazenada em baterias (NUNES, R., SOUZA, R. C., BATISTA, 2022).

O processo para colocação dos painéis solares inicia-se da seguinte maneira: primeiramente é verificado se o telhado ou a fachada da construção do cliente não apresenta nenhum tipo de danificação que possa prejudicar ou interferir no funcionamento das placas (SILVA *et al.*, 2019). O local escolhido para a instalação não pode apresentar sombras ou alguma outra possível obstrução, já que isso é prejudicial e pode alterar negativamente a geração de energia fotovoltaica (SILVA *et al.*, 2019). Após a escolha do local, as placas são instaladas. Posteriormente é feita a colocação da fiação elétrica do sistema que será interligado ao equipamento "sting-box", o qual é um inversor que fará a conversão da energia solar em energia elétrica (SILVA *et al.*, 2019).

Para conhecer o ângulo ideal dos painéis solares é necessário levar em consideração fatores como as características da instalação e seu uso, além de levar em consideração a altura solar no inverno e no verão (FERNANDES, 2020). A absorção mais eficaz da radiação solar ocorre quando os módulos fotovoltaicos estão instalados de forma perpendicular aos raios solares diretos, ou seja, quando estão posicionados de maneira que formam um ângulo reto em relação à trajetória do sol (MEHRTASH *et al.*, 2013). Para otimizar a absorção máxima de energia solar, é uma prática comum inclinar os módulos fotovoltaicos a um ângulo que se aproxima da latitude da localização específica, o qual é conhecido como ângulo de inclinação ideal (KAYAL, 2009).

Quando tratado de sistemas de fixação de placas solares, o setor de engenharia de estruturas precisa trabalhar no desenvolvimento de diferentes estruturas de fixação para placas fotovoltaicas. As estruturas metálicas são

responsáveis pela manutenção da inclinação durante seu tempo de uso, junto a isso, existem inúmeras soluções estruturais, tanto do ponto de vista de geometria como de materiais (FRONTIN *et al.*, 2017).

O sistema de montagem de painéis fotovoltaicos para geração de energia solar pode ser caracterizado por modos de operação, que no caso incluem, o ângulo de inclinação ideal fixo, o rastreamento de único eixo horizontal, o rastreamento de único eixo diagonal e o rastreamento de dois eixos. Essas configurações distintas desempenham um papel essencial na otimização da captação de energia solar, oferecendo flexibilidade e escolha na concepção de sistemas fotovoltaicos (LIN; XU, LI, 2010).

Com o intuito de proporcionar maior segurança jurídica ao setor, o legislativo federal promulgou a Lei nº 14.300 em 2022, onde essa legislação consolidou avanços de resoluções anteriores e estabeleceu o limite de potência para minigeração de fontes não despachável, como solar, para 3 MW (BRASIL, 2022). Contudo, o ponto central desta lei foi a introdução de uma tarifa para o uso da rede elétrica pelos consumidores envolvidos em micro ou minigeração distribuída, juntamente com as regras de transição correspondentes. Em fevereiro de 2023, a ANEEL, por meio da Resolução nº 1.059, revogou as resoluções 482, 687 e 786, ajustando as normas de acordo com a Lei nº 14.300 (BRASIL, 2023).

### 2.3 ESTUDOS APLICADOS ENVOLVENDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Silva *et al.* (2019) citam que foi conduzido um estudo de caso com base nos dados obtidos de uma residência situada no município de Altamira, PA, para avaliar a instalação de painéis solares no telhado. Neste caso, as placas foram montadas diretamente acima da estrutura do telhado, aproveitando o ângulo de inclinação existente, sem a necessidade de uma estrutura adicional para ajuste em relação ao sol. O autor também observa que, entre o terceiro e o quarto ano após a implementação do sistema fotovoltaico na residência, o investimento inicial já teria sido recuperado devido à economia gerada pela geração de energia solar.

Para outro estudo de caso, em um edifício de escritórios com catorze pavimentos, localizado no centro da cidade de Pelotas, RS, foram realizadas duas simulações computacionais para prever o posicionamento das placas solares (CUNHA; RHEINGANTZ; GONÇALVES, 2017). Uma implantação de painéis

fotovoltaicos ocorreu na cobertura, aproveitando a inclinação existente das lajes. A outra aplicação ocorreu na fachada, com um ângulo de 90°. Como resultado, os painéis fotovoltaicos na fachada geraram mais energia devido à área de painéis consideravelmente maior. No entanto, ao considerar o investimento mais oneroso devido à maior área de painéis instalados, foi possível verificar que a fachada fotovoltaica apresentou uma relação custo-benefício pior, gerando menos energia devido ao sombreamento dos painéis e ao menor tempo de exposição à radiação solar direta (CUNHA; RHEINGANTZ; GONÇALVES, 2017).

Maciel, Souza e Boulomytis (2021) aplicaram na área externa do Laboratório do Centro de Energias Renováveis, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, uma estrutura metálica montada no solo com graus de liberdade, ou seja, movimentos paralelos ao solo que podem ser ajustados conforme o desejado. Como resultado, comparando a aplicação da estrutura no estado fixo e móvel, houve um melhor aproveitamento dos painéis fotovoltaicos do sistema móvel.

Piovesana e Schram (2017) apresentaram um trabalho que demonstrou o dimensionamento e a viabilidade econômica na instalação de placas fotovoltaicas como opção na redução de custos da conta elétrica em uma residência. Para o projeto em estudo, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) foi estabelecida em relação à taxa Selic, e como conclusão do estudo de caso da residência, sua Taxa Interna de Retorno (TIR), ficou em 8% ao ano.

Marques *et al.* (2018) analisaram as melhorias que os mecanismos de rastreamento solar oferecem aos sistemas de microgeração de energia fotovoltaica. É apresentada uma comparação entre a geração de energia obtida com o uso de rastreadores em comparação com sistemas sem rastreadores, definindo se esses sistemas são viáveis com base na relação custo-benefício. Os resultados demonstram que um sistema com rastreador solar aproveita melhor a radiação incidente nos módulos em comparação com sistemas com painéis fotovoltaicos fixos. As melhorias na geração de energia elétrica chegam a cerca de 28%, podendo atingir até 30,8% durante períodos de maior irradiação solar.

Em outro artigo, Zanesco *et al* (2006) apresentaram uma otimização que combina análise teórica e experimental do módulo fotovoltaico concentrador estático PEC-44D. A diferença entre um módulo fotovoltaico convencional e um módulo fotovoltaico concentrador estático, como o PEC-44D, reside na tecnologia de concentração solar, que concentra a luz solar em células de alta eficiência,

resultando em uma maior geração de eletricidade por área coletora. Foram obtidos dois resultados: um utilizando uma seção transversal do sistema óptico composta por parte de uma elipse e parte de uma circunferência, denominado PEC-FAC, e outro com uma seção transversal do sistema óptico em forma de semicircunferência, chamado PEC-FAL. A comparação entre esses dois tipos de módulos demonstrou que seu desempenho ao longo do ano é similar. No entanto, a redução de custo proporcionada pelo módulo PEC-FAL é apenas 4% menor do que no caso do módulo PEC-FAC. Comparando o módulo PEC-FAL com um módulo convencional, observou-se que a redução de custo varia de 12% em baixas latitudes até 36% em latitudes médias.

Garcia *et al.* (2016) avaliaram a produção de energia elétrica do sistema fotovoltaico instalado no Museu de Ciências e Tecnologia. O sistema fotovoltaico foi instalado na fachada do museu com ângulo de inclinação de  $90^\circ$ , constituído por 20 módulos fotovoltaicos e totalizando a potência de 660 Wp. Como conclusão, observando temperatura, irradiação solar, eficiência, produtividade e o desempenho global do sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica, a produtividade anual foi de 572 (kWh/kWp) e o desempenho global alcançado foi de 0,73.

Rodrigues *et al.* (2006) apresentaram e discutiram os resultados obtidos do funcionamento de dois sistemas fotovoltaicos instalados no Edifício do Departamento de Energias Renováveis do INETI. Estes sistemas foram instalados na fachada sul do edifício e nas estruturas de sombreamento do parque de estacionamento. A fachada é constituída por 76 módulos e ângulo de  $90^\circ$ . Já a cobertura do parque de estacionamento é constituída por 100 módulos e ângulo de  $15^\circ$ . A utilização dos módulos na fachada, conduziu a valores de produtividade anual aproximadamente de 960 kWh/kWp, já a cobertura do Parque de estacionamento apresentou produtividade anual de 1420 kWh/kWp.

Em outro artigo, Zomer *et al.* (2011) compararam dois sistemas fotovoltaicos instalados em Florianópolis, SC, sendo um instalado de maneira ideal, orientado ao norte e com inclinação igual à latitude local ( $27^\circ$ ) e outro, com módulos semelhantes, integrado a uma cobertura curva e orientada a nordeste e sudoeste, com inclinação média de  $9^\circ$ . A comparação do desempenho dos dois sistemas fotovoltaicos foi realizada baseada nos valores mensais (kWh/kWp), que refletem o desempenho de cada instalação normalizados em relação à potência instalada. Como resultado, o sistema ideal, também chamado de sistema de referência, apresentou uma geração

anual superior ao do sistema curvo. Na comparação mensal, o sistema curvo obteve uma maior variação de desempenho do que o sistema de referência, atingindo picos baixos nos meses de inverno e picos altos nos meses de verão.

Para o artigo de Ribeiro e Melo Filho (2020), foi mensurado o ganho de eficiência em um sistema de painel solar seguidor comparado a um sistema fixo tradicional. O local escolhido foi uma central geradora de 10kWp, localizada na cidade de Gravatá, PE, com um sistema móvel, composto por um motor que faz o movimento de correias com trava, fazendo o movimento das placas. Como resultado da comparação, pode ser percebido um aumento de 29,4% de energia entregue do sistema móvel em relação ao fixo.

Dassi *et al.* (2015) realizaram uma análise da viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica como alternativa para a redução de custos e a diversificação energética em uma Instituição de Ensino Superior de Santa Catarina. Para essa análise, foram estudados o payback descontado, o valor presente líquido, a taxa interna de retorno e o valor anual uniforme equivalente. Na aplicação, foram considerados a localização, radiação solar, inclinação dos painéis, possíveis perdas e rendimentos dos painéis. Como resultado, considerando uma geração média mensal do sistema proposto de 13.691 kWh, é possível economizar anualmente R\$75.311,45 (setenta e cinco mil, trezentos e onze reais e quarenta e cinco centavos). Com um investimento próximo de R\$ 500.000,00, o retorno seria obtido em menos de 14 anos.

Dos onze estudos de caso sobre painéis fotovoltaicos, todos foram conduzidos no Brasil, abrangendo diversas regiões geográficas. Dentro desses estudos, sete estão centrados em sistemas fotovoltaicos fixos. Notavelmente, entre esses sete, dois deles se concentram na aplicação em fachadas, enquanto outros dois exploram tanto a instalação em fachadas quanto em superfícies planas, como telhados. Dos restantes cinco estudos, três incluem sistemas que podem se ajustar de acordo com a orientação do sol, e dois deles focam aspectos de engenharia econômica.

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Nesta seção, dividida em três partes, serão resumidos os procedimentos empregados no desenvolvimento da pesquisa.

### 3.1 MÉTODOS DE PESQUISA

Essa pesquisa é caracterizada como de natureza quantitativa. Sampieri, Collado e Lucio (2013), estabeleceram que a pesquisa quantitativa emprega a obtenção de dados para testar hipóteses, fazendo a utilização de medidas numéricas e análise estatística para validar teorias e estabelecer padrões. Quanto aos procedimentos técnicos, a presente pesquisa é classificada como modelagem e simulação. Miguel (2012), estabelece que essa modalidade de pesquisa utiliza variáveis em um modelo matemático, incluindo a simulação de cenários, para resolver a questão proposta. Dentro do contexto da natureza da pesquisa, essa se configura como uma pesquisa aplicada, uma vez que busca produzir conhecimento voltado para aplicação prática e focado na resolução de problemas específicos (PEREIRA, 2006). Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa descritiva, pois observa, registra, analisa e relaciona variáveis e seus fatos ou fenômenos, sem, no entanto, manipulá-los (HEERDT; LEONEL, 2007).

### 3.2 CENÁRIO

O fator geográfico desempenha um papel crucial em um projeto envolvendo geração fotovoltaica. Este estudo foi desenvolvido na cidade de Panambi, no Rio Grande do Sul, mais especificamente no complexo de condomínio Residencial Safira. O Safira é um condomínio com 4 blocos, onde cada um conta com 4 apartamentos por andar. Em cada bloco, há 5 andares, resultando em 20 apartamentos por bloco e um total de 80 apartamentos no condomínio. Na cidade de Panambi, a distribuidora de energia elétrica que atende a região é a Hidropan Distribuição de Energia.

As informações dos parâmetros climáticos foram extraídas com o auxílio do software RETScreen, que utiliza a base de dados da National Aeronautics and Space Administration (NASA). O Quadro 2 apresenta dados de latitude, longitude, zona climática, elevação e localização. A localização dos dados climáticos e o local da instalação diferem porque o software utilizado não possui os dados climáticos do local da instalação, optando pelo mais próximo possível. Isso não se configura como um possível problema, uma vez que os locais são próximos.

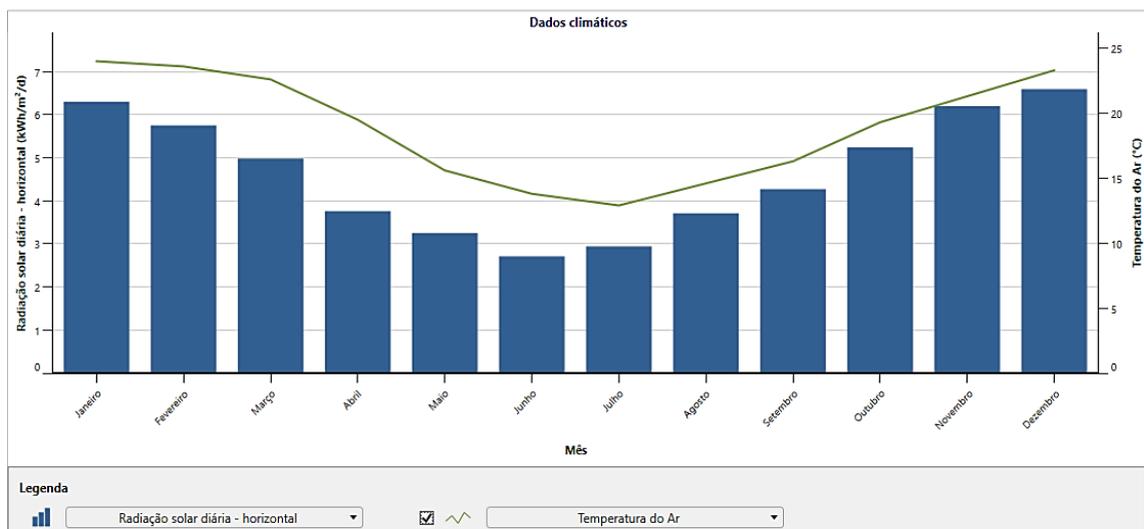
Quadro 2 – Localização dos dados climáticos

Dados	Unidade	Localização dos dados climáticos	Local das instalações
Localização		Ijuí - RS	Panambi - RS
Latitude	°N	-28,4	-28,3
Longitude	°E	-53,9	-53,5
Zona climática		3A – Quente – Úmido	3A – Quente – Úmido
Elevação	M	404	470

Fonte: RETScreen (2023).

A localização dos dados climáticos levantados é definida na cidade de Ijuí, situada a 50 quilômetros de Panambi, onde se encontra o local de instalação. Com base nisso, o software apresenta dados climáticos, tais como radiação solar diária horizontal (kWh/m<sup>2</sup>/dia), e temperatura do ar (°C), conforme a Figura 1.

Figura 1 - Médias mensais de radiação solar e temperatura



Fonte: RETScreen (2023).

As médias em questão derivam de análises climáticas realizadas a partir do ano de 2016. Para a região próxima a cidade de Panambi, a média anual de radiação solar é 4,62 (kWh/m<sup>2</sup>/dia), já a temperatura média corresponde a 15,3°C.

### 3.3 ETAPAS DE PESQUISA

As etapas de desenvolvimento deste trabalho foram definidas com embasamento nos artigos e nas informações adquiridas durante a investigação e análise do referencial teórico. Sendo assim, inicialmente, foi realizada a seleção da

localização para a instalação do sistema fotovoltaico, optando-se por fixá-lo na fachada do edifício Safira.

A determinação por instalar o sistema na fachada norte é justificada pela impossibilidade técnica do telhado do edifício para receber a instalação. A presença de chaminés, antenas e a projeção de uma futura reforma no terraço para a construção de uma área de lazer corroboram a escolha da fachada norte, que se caracteriza pela ausência de sombras e pela exposição contínua à radiação solar ao longo do dia, em consonância com as aplicações de Cunha, Rheingantz e Gonçalves (2017). Com relação à instalação, tanto estrutural quanto do sistema fotovoltaico, optou-se por escolher um fornecedor que pudesse realizar ambas as tarefas e que estivesse localizado relativamente próximo ao local da implementação do projeto.

A fixação do sistema fotovoltaico foi concebida para empregar o método de instalação na estrutura das janelas, mediante o uso de folhas fixas que possibilitam a fixação dos painéis solares. A estrutura em si é composta por materiais metálicos, com variação entre aço e alumínio. O aço apresenta grande resistência e bom custo-benefício, e para não haver corrosão, a superfície do material sofre um tratamento com tinta, evitando sua degradação. Já o alumínio aplica-se em locais onde não há necessidade de grande resistência mecânica, cumprindo também, um papel de material mais leve. A escolha se deu inspirada por SANTOS (2021), que apresentou esse mesmo suporte devido à sua alta resistência em relação aos ventos e à massa dos módulos. Neste trabalho de pesquisa, utilizando o software SolidWorks, foi projetado pelo autor um esboço de como se aplica o sistema estrutural no projeto.

Para a seleção do tipo de sistema fotovoltaico, fez-se conforme sugerido por Cunha, Rheingantz e Gonçalves (2017), optando-se por módulos disponíveis no mercado, considerando a oferta na cidade onde o prédio está situado. Além disso, realizou-se o dimensionamento e a análise para determinar a posição mais adequada dos painéis a serem instalados na lateral do edifício. Com isso, e com um levantamento feito (a cada três meses) do consumo de energia médio do condomínio, todos os parâmetros do sistema fotovoltaico foram definidos, incluindo ângulos, dimensões e sua posição na fachada.

A disposição dos módulos foi planejada em duas configurações: a primeira adotando um ângulo de 90°, em que tanto a estrutura de suporte quanto a fachada

seguem a mesma inclinação; e a segunda com um ângulo de 85°. Nesta segunda alternativa, ao considerar um espaço de aproximadamente 2 metros à frente da fachada, observou-se que a base da estrutura avançou esses 2 metros, enquanto seu topo foi conectado à fachada, resultando na inclinação de 85°.

Ademais, o software RETScreen foi empregado como ferramenta para avaliar o potencial de radiação solar na fachada designada para a instalação dos módulos fotovoltaicos. Posteriormente, foi conduzida uma simulação adicional, conforme descrito por Cunha, Rheingantz e Gonçalves (2017), que empregaram o software EnergyPlus para estimar a geração de energia do sistema, por meio do número de horas de sol pleno, localização, configuração e os parâmetros dos módulos fotovoltaicos. O uso foi feito em conjunto com o software Sketchup, utilizado como forma de modelagem para detalhar as dimensões estruturais do edifício, incorporando-as ao processo de design do sistema fotovoltaico.

A partir da publicação da lei nº 14.300, estabeleceu-se uma tarifa para a energia injetada relativa ao uso da rede elétrica (BRASIL, 2022). A resolução nº 1.059 da ANEEL regulamenta a regra de transição para a cobrança da tarifa em sua totalidade. Foram definidas três faixas de aplicação: isenção até 2045 para quem já possui ou protocolou projeto de micro ou minigeração até 07/01/2023, cobrança gradual da tarifa até 2031 para projetos protocolados entre 08/01/2023 e 07/07/2023, e posteriores a esta data, cobrança gradual até 2029 (BRASIL, 2022).

Cunha, Rheingantz e Gonçalves (2017) fazem um estudo econômico do investimento feito, utilizando o método de "payback". Para este trabalho foi aplicado o mesmo modelo, levando em consideração todos os aspectos que influenciam no meio econômico, como exemplo, manutenção, instalação e investimentos. Com a finalidade de aperfeiçoar a análise econômica, optou-se por adotar a metodologia do Valor Presente Líquido (VPL), conforme descrito por Liu *et al.* (2017). Adicionalmente, integrou-se a Taxa Interna de Retorno (TIR) como parte do processo de avaliação. Além disso, empregou-se o método do Levelized Cost of Energy (LCOE) para fins de análise econômica. Para o valor da receita dos sistemas fotovoltaicos, utilizado para calcular o valor líquido, considera-se o que se deixará de gastar por comprar energia da concessionária, junto com a inflação do período.

A Taxa SELIC dos últimos dez anos foi empregada como a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) neste estudo. Para a projeção da inflação, foi adotada a média mensal dos últimos dez anos, utilizando o Índice de Preços ao Consumidor Amplo

(IPCA) do IBGE como indicador de correção monetária. A coleta desses dados foi realizada por meio da Calculadora do Cidadão do Banco Central do Brasil.

Os cenários foram configurados de 8 maneiras. Estas incluem variações no ângulo de inclinação do sistema fotovoltaico fixado na fachada, de 90° e de 85°. Além disso, foram considerados os extremos das bandeiras tarifárias, abrangendo bandeiras verde e vermelha patamar 2, bem como a inclusão ou não de isenção de taxa para sistemas fotovoltaicos. A decisão de calcular a tarifa para sistemas fotovoltaicos isentos foi tomada devido aos projetos protocolados até 7 de janeiro de 2023, os quais não se alinham à nova tarifa estabelecida até 2045. Além disso, os projetos encontrados na bibliografia não se adequam aos requisitos da nova tarifa. Por último, a Taxa Mínima de Atratividade para os juros utilizada no projeto, foi a encontrada nos últimos 10 anos. Para facilitar os cálculos econômicos do projeto, o software Microsoft Excel foi empregado. Posteriormente, os resultados são discutidos e analisados, juntamente com as conclusões obtidas.

## **4 RESULTADOS E ANÁLISES**

Nesta seção são apresentados os dados coletados e os resultados das análises conduzidas. São apresentadas cinco subseções.

### **4.1 COLETA DE DADOS**

Essa subseção está subdividida em quatro tópicos. O primeiro tópico aborda os dados relativos aos custos de energia elétrica no Residencial Safira. No segundo tópico são apresentadas a TMA e a inflação consideradas. O terceiro tópico trata do dimensionamento técnico do sistema fotovoltaico. O último tópico destaca os custos associados à aquisição, instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos.

#### **4.1.1 Dados das tarifas de energia elétrica**

O Residencial Safira se encaixa no grupo B1, pertencente a tarifa horária branca, no caso, a tarifa de consumo de energia elétrica está de acordo com as horas de utilização do dia (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2024). No Brasil, a tarifa de energia é composta pela Tarifa de Energia (TE) e pela Tarifa de Uso do

Sistema de Distribuição (TUSD), incluindo encargos. Essas definições são estipuladas pela Resolução Normativa nº 1000/2021 da ANEEL, que também introduz o Fio B como um componente da TUSD, relacionado à manutenção e uso da rede de distribuição (BRASIL, 2021). Conforme a lei nº 14.300, pela resolução normativa 1.059 da ANEEL, a TUSD Fio B passou a ser cobrada da energia injetada na rede elétrica pelo sistema de micro e minigeração distribuída (BRASIL, 2023). Essa cobrança será gradual, partindo de 15% do valor da tarifa do Fio B em 2023, aumentando 15% anualmente até 2029, quando será definida uma nova tarifa (BRASIL, 2023).

Segundo a concessionária Hidropan, fornecedora de energia para o Residencial Safira, as tarifas vigentes são: R\$/kWh 0,3318 para a tarifa de energia (TE), R\$/kWh 0,028 para participantes do sistema de compensação de energia elétrica (SCEE), R\$/kWh 0,2896 para a tarifa de uso do sistema de distribuição (TUSD), e valor do Fio B correspondente a R\$/kWh 0,1766. O sistema de bandeiras tarifárias entrou em vigor no ano de 2015, regulamentado pela Resolução Normativa 547/13. Para o estudo, foram consideradas a bandeira verde, sem acréscimo no valor de tarifa, e bandeira vermelha patamar 2, com acréscimo de R\$ 0,09492 kWh (HIDROPAN, 2024).

Além do aumento na tarifa de energia elétrica devido às bandeiras tarifárias, o cálculo do valor final da energia elétrica também inclui os tributos incidentes, como ICMS e PIS/COFINS, com acréscimos conforme a alíquota vigente. Os encargos da conta são o Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços (ICMS), de 17%, e Contribuição de Iluminação Pública (CIP), de R\$3,02 (HIDROPAN, 2024).

#### **4.1.2 Dados da taxa de juros e da inflação**

Usando o rendimento médio mensal da taxa SELIC como TMA, o valor correspondente ao período de dez anos foi de 142,08%. Por meio da equação da Taxa de Juros Equivalente, a média mensal de reajuste para o período foi de 0,739%. Para a inflação o valor acumulado em 10 anos foi de 79,158%. Com a equação da Taxa de Juros Equivalente se obteve uma média mensal de inflação de 0,5003%.

### 4.1.3 Dimensionamento técnico dos sistemas fotovoltaicos

Após uma pesquisa feita através do histórico de consumo elétrico dos moradores do condomínio, observou-se uma média anual de consumo de energia por apartamento de 95 kWh. Isso totaliza uma média de 1900 kWh consumidos por bloco, enquanto para o condomínio inteiro, atinge o valor de 7600 kWh.

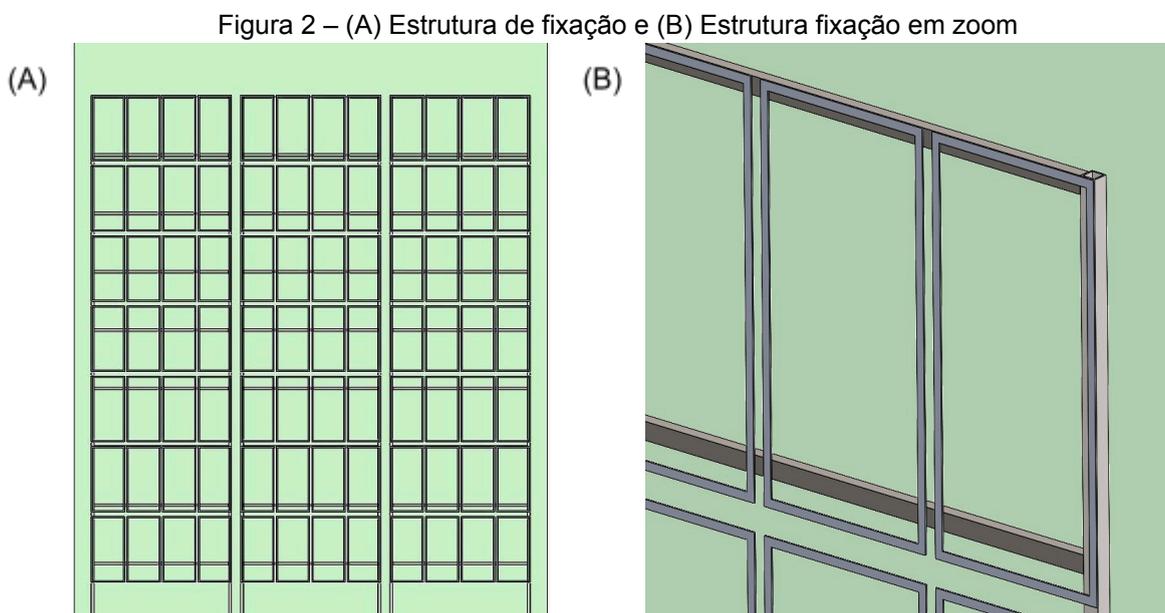
Com o objetivo de gerar o máximo de energia possível, a orientação norte foi adotada para a fixação do sistema fotovoltaico, devido à grande incidência solar. Dada a disposição dos blocos do condomínio, lado a lado, somente o último bloco possui sua fachada norte desobstruída, recebendo luz solar durante todo o dia. Logo, somente essa fachada será equipada com os módulos fotovoltaicos, onde sua vista pode ser observada no Anexo A.

No que diz respeito às dimensões da fachada norte, observa-se que esta possui uma extensão de 14 metros em largura e 18 metros em altura, dimensão considerada totalmente livre para a aplicação do projeto. Com base nessas condições dimensionais, foram estabelecidos os parâmetros do sistema fotovoltaico, bem como a determinação do sistema de fixação. Dada a necessidade de um sistema estrutural para a fixação entre a fachada do edifício e o sistema fotovoltaico, procurou-se um fornecedor de serviços capaz de atender ambas as demandas.

O sistema de fixação foi inspirado no modelo apresentado por Freitas *et al.* (2018), visando obter o melhor custo-benefício e uma instalação que facilitasse a execução. Essa estrutura é constituída por esquadrias metálicas, onde os parafusos estabelecem a conexão entre a estrutura e os painéis fotovoltaicos. Os painéis fotovoltaicos são conectados por perfis metálicos, posicionados lado a lado, que, por sua vez, estão conectados à estrutura metálica. No Anexo B está representado o projeto estrutural desenvolvido pelo autor.

A estrutura principal e o sistema fotovoltaico são configurados de duas maneiras: com um ângulo de 90° e com um ângulo de 85°. No primeiro cenário, todo o projeto segue paralelo à fachada do edifício, formando o ângulo desejado. No segundo cenário, com uma inclinação de 85°, aproveitou-se a presença de aproximadamente 2 metros de espaço livre entre a base da fachada e o final da área do condomínio para aplicar uma inclinação no projeto. Logo, o mesmo sistema estrutural pode ser usado em ambos cenários, apenas ajustando suas fixações. Para uma melhor compreensão da estrutura definida pelo autor, foi projetado o

sistema estrutural que foi fornecido pelo prestador de serviços para auxiliar na elaboração dos orçamentos. A imagem pode ser vista na Figura 2.



Fonte: Autor.

A estrutura é constituída por vigas verticais de aço que fornecem suporte, ancorando-se no solo, além de vigas horizontais, fixadas nas vigas verticais, que servem para conectar-se aos perfis metálicos. Estes perfis metálicos estão interligados às placas solares. Todas as fixações são feitas através de parafusos.

Dado o espaço limitado disponível para a instalação do sistema fotovoltaico, considerando a necessidade de atender a todo o condomínio, optou-se por buscar uma placa fotovoltaica de alta capacidade de produção e eficiência. O gerador solar escolhido conta com módulos fotovoltaicos de 550W, cada um produzindo uma potência de 0,55 kWp. Sua eficiência de conversão é 21,3% e suas dimensões são de 2247, por 1136 milímetros e 35 milímetros de espessura. Logo, utilizando todo o espaço disponível, calculado pelo tamanho de cada placa solar, a fachada consiste em um total de 84 painéis fotovoltaicos, com a utilização de 3 inversores de 15 kW.

#### 4.1.4 Dados financeiros do sistema fotovoltaico

As informações financeiras do sistema fotovoltaico foram obtidas por meio da empresa responsável pelo desenvolvimento e aplicação do projeto, tanto da estrutura quanto dos geradores fotovoltaicos utilizados no sistema. O custo de

aquisição de todos os componentes do sistema fotovoltaico, como cabos, inversores e conectores, totalizou R\$ 139.102,53, onde R\$ 29.675,97 representam o valor dos 3 inversores utilizados. O valor da estrutura utilizada no projeto, incluindo a instalação da estrutura, apresenta um custo de R\$ 96.962,00.

A empresa responsável pelo serviço também destaca que a vida útil dos painéis fotovoltaicos está estimada em 25 anos. Quanto à manutenção, é composta principalmente por limpeza do sistema fotovoltaico e eventual substituição de inversores. Devido à disposição vertical dos painéis, a necessidade de limpeza é reduzida em comparação com uma disposição horizontal, devido ao menor acúmulo de detritos em suas superfícies. Além disso, por estar na vertical, sua limpeza fica mais simples, com um valor anual para manutenção de R\$ 700,00. A troca do inversor de frequência ocorre em média a cada 7 e 10 anos e seu custo é de R\$ 9.891,99.

#### 4.2 SIMULAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA

Com o objetivo de estimar a geração de energia proveniente do sistema fotovoltaico dimensionado neste estudo, inspirado no método aplicado por Cunha, Rheingantz e Gonçalves (2017), o modelo do edifício foi desenvolvido por meio do uso do software SketchUp. Junto a isso, o software EnergyPlus, que funciona integrado ao SketchUp, foi utilizado como forma de prever a geração energética do sistema. Esse software é um programa computacional, desenvolvido para simulação de carga térmica, consumo de energia elétrica ativa, enquadramento tarifário mais adequado e análise energética de edificações e seus sistemas (MALHEIRO; LIMA; da FONSECA, 2015).

Duas simulações foram feitas, no caso, com as placas solares em um ângulo de 90° e em um ângulo de 85°. Após a conclusão da primeira simulação, os resultados revelaram uma média de aproximadamente 3.100,00 kWh de energia gerada mensalmente pelo sistema fotovoltaico dimensionado com ângulo de 90°. Já para o segundo experimento, com ângulo de 85°, a geração de energia mensal se deu em 3.450,00 kWh, representando um aumento de 11% na produção de energia em relação à primeira simulação. Vale ressaltar que os dados correspondentes à geração estimada, equivalendo a uma redução de 40% em relação a um sistema com ângulo de inclinação ideal. Esses valores fornecem uma estimativa de atender

aproximadamente metade da demanda energética do edifício, isto é, 44% da demanda.

#### 4.3 CENÁRIOS PARA A ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Para as análises econômicas do projeto foram considerados os valores totais de aquisição do sistema fotovoltaico e da estrutura, o valor total de instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos, bem como, os custos de energia elétrica, impostos, contribuição de iluminação pública, além da correção monetária. Junto a isso e compondo a análise, foram considerados 8 cenários para o estudo econômico do projeto, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Cenários do projeto

<b>Cenário</b>	<b>TMA (% mês)</b>	<b>Ângulo</b>	<b>Tarifa</b>	<b>Bandeira</b>
1	0,739	90°	Isento	Verde
2	0,739	90°	Isento	Vermelha 2
3	0,739	85°	Isento	Verde
4	0,739	85°	Isento	Vermelha 2
5	0,739	90°	Não Isento	Verde
6	0,739	90°	Não Isento	Vermelha 2
7	0,739	85°	Não Isento	Verde
8	0,739	85°	Não Isento	Vermelha 2

Fonte: Autor.

Com os dados da análise e os cenários levantados nas subseções anteriores, definiu-se as premissas de cálculo para o estudo de viabilidade econômica.

#### 4.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Com base nos dados levantados, nos cenários delineados e nas premissas estabelecidas, procedeu-se aos cálculos de viabilidade econômica. Os cenários apresentados, representam os resultados obtidos para a TMA da taxa SELIC dos últimos 10 anos, Valor Presente Líquido, Payback Descontado e Taxa Interna de Retorno. A Tabela 2 apresenta os resultados.

Tabela 2 – Resultados VPL, PBD e TIR

Cenário	VPL (R\$)	PBD (meses)	TIR (% ao mês)
1	340.664,61	88	1,67
2	488.119,91	70	2,01
3	355.456,42	86	1,70
4	502.911,72	69	2,04
5	314.892,13	93	1,61
6	462.347,43	73	1,95
7	331.114,09	90	1,65
8	478.569,39	71	1,99

Fonte: Autor.

Ao analisar os resultados obtidos dos cenários, a primeira constatação feita mostra que todos os cenários apresentam viabilidade econômica, caracterizada pelo VPL positivo, TIR superior à TMA e *Payback* ocorrendo dentro de 40% da vida útil dos sistemas.

Observa-se uma tendência de melhor desempenho nos cenários pares em comparação aos ímpares. Diferença que é atribuída à inclusão da tarifa vermelha patamar 2 nos cenários pares em relação à tarifa verde nos ímpares, resultando em uma receita mais elevada para os sistemas fotovoltaicos. Assim, quanto mais elevada a tarifa de energia elétrica, melhor o resultado econômico do sistema fotovoltaico, pois com a energia que está sendo gerada, é deixado de pagar o acréscimo na tarifa de energia elétrica por conta da bandeira. Isso se mantém válido mesmo para sistemas que não atendem toda a demanda, como é o caso do sistema desse projeto, pois estes acabam diminuindo o impacto financeiro do aumento das tarifas.

A análise subsequente destaca a importância do ângulo de inclinação do sistema fotovoltaico e de sua estrutura. Observou-se que uma pequena modificação na inclinação da estrutura, mantendo a configuração estrutural, resultou em melhorias em todos os cenários examinados. Com um acréscimo de aproximadamente R\$ 15.000,00 no VPL e uma redução no PBD, os cenários com um ângulo de 85° demonstram um aumento na geração, influenciando no resultado encontrado. Em particular, nos casos com taxaço mais elevada, como a bandeira vermelha patamar 2, essa performance aprimorada torna-se ainda mais relevante.

No contexto dos cenários que envolvem a isenção ou não da nova tarifa de injeção para sistemas fotovoltaicos, os resultados alinharam-se às expectativas. Cenários com isenção apresentaram um desempenho superior aos cenários sem isenção. Vale ressaltar que a nova tarifa de injeção está diretamente vinculada ao

uso do Fio B. O Fio B representa a utilização dos créditos acumulados na rede elétrica pelo proprietário. Dessa forma, caso seja necessário utilizar esses créditos, o valor do Fio B será cobrado. Para este projeto específico, o sistema fotovoltaico atende a metade da demanda do condomínio, resultando em um uso mínimo do Fio B, uma vez que, o acúmulo é mínimo.

Para encontrar o valor do LCOE, o processo incluiu a determinação do Fator de Recuperação de Capital (CRF) mediante a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Considerando que o cálculo do LCOE abrange a taxa de juros, o investimento inicial no sistema, os custos de manutenção durante sua vida útil e a produtividade total, os cenários foram categorizados em quatro grupos, visto que a isenção ou a ausência da isenção na energia injetada não influenciam nos resultados. A Tabela 3 expõe as variáveis essenciais para o cálculo do LCOE, juntamente com seus resultados para cada agrupamento de cenários.

Tabela 3 – Resultados LCOE

Grupo	Cenário	Rendimento Anual (kWh)	CRF	Investimento Inicial do Sistema	Custo Total Manutenção (R\$)	LCOE (R\$/kWh)
A	1, 2, 5, 6	37.200	0,00891	266.064,53	67.696,50	0,093500
B	3, 4, 7, 8	40.200	0,00891	266.064,53	67.696,50	0,084014

Fonte: Autor.

Os resultados do LCOE corroboram a análise econômica conduzida pelos métodos previamente empregados. Em todos os agrupamentos de cenários, o LCOE foi inferior a menor tarifa de energia vigente para o condomínio na ausência de um sistema de geração, no caso de R\$ 0,7270 kWh, mostrando uma redução de 87,15%. Por se tratar de um projeto onde não há uma variação de estrutura e sistema, mas sim em relação a variáveis externas, alguns valores se mantêm os mesmos para diferentes cenários, no caso, valores que estão diretamente ligados a investimentos de estrutura e manutenção. Também é observado uma redução de 10% no valor do LCOE de sistemas com ângulo de 85° em relação ao de 90°.

#### 4.5 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Comparando o presente trabalho com estudos acadêmicos, existem resultados semelhantes. Garcia *et al.* (2016), analisa os módulos fotovoltaicos, a irradiação solar incidente, a eficiência, a produtividade e o desempenho global do

sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica instalado com ângulo de inclinação de 90° em uma fachada. A irradiação solar média diária incidente no arranjo fotovoltaico foi de 2,1 kWh, resultando na produção média de energia elétrica de 33,2 kWh/mês. Assim, este estudo está de acordo com o presente trabalho, que utiliza a mesma base de dados coletados, confirmando de forma prática a viabilidade e aplicação de uma instalação na fachada com ângulo de 90°.

Rodrigues *et al.* (2006), apresentam um estudo de duas aplicações de sistemas fotovoltaicos instalados em um edifício. Para o primeiro caso, o sistema produziu em média 80% da energia elétrica consumida no edifício. A utilização dos módulos na fachada vertical sul conduziu a valores medidos da produtividade anual de cerca de 960 kWh/kWp. No segundo caso, a utilização dos módulos na cobertura de um estacionamento, com 15° de inclinação, conduziu a valores que corresponderam uma produtividade anual de 1420 kWh/kWp. Este estudo confirma, assim como o presente trabalho, que o ângulo de inclinação influencia na geração de energia, variando sua produção energética conforme a relação entre inclinação do sistema fotovoltaico e direção do sol.

Em outro estudo, Freitas *et al.* (2018); analisam a geração energética e fazem simulações que demonstram que, mesmo um sistema fotovoltaico instalado com inclinação elevada, como em fachadas, pode apresentar bons valores para os modelos de integração fotovoltaico propostos. Os resultados mostraram que pode ser vantajoso investir em sistemas fotovoltaicos integrados a fachadas de edificações, pois após alguns anos de implantação a diferença de investimento retornaria. O presente trabalho está em conformidade com a referência, apresentando também um retorno positivo quando comparado ao investimento inicial.

Soares *et al.* (2021) fizeram um estudo da viabilidade econômico-financeira da instalação de um sistema gerador de energia solar fotovoltaica. Para verificação, foram tomadas em consideração as análises de *payback* descontado, valor presente líquido e taxa interna de retorno. Os resultados confirmaram que o projeto da instalação de energia solar fotovoltaica, além de ser uma alternativa para reduzir custos e propiciar a ampliação da matriz energética, é viável considerando os dados projetados, proporcionando em um período de 25 anos um VPL de R\$ 1.895.585,00. Esse estudo, quando comparado com o presente trabalho, está de acordo quando encontra o VPL positivo no período de vida útil do sistema.

Gomes *et al.* (2020) analisam a viabilidade econômica de sistemas solares fotovoltaicos e adesão aos postos tarifários Convencional e de Tarifa Branca, em três diferentes perfis de consumo de unidades consumidoras (UC) alimentadas em baixa tensão. Mesmo com investimento inicial alto, os valores de LCOE encontrados na maioria dos cenários viáveis são menores do que as tarifas finais cobradas pela distribuidora local. Assim, alinhado com o presente trabalho, que encontrou um resultado em relação a LCOE menor que a tarifa final cobrada pela concessionária.

Alves e Lira (2018), realizaram um estudo da viabilidade técnica e econômica para implantação de energia solar fotovoltaica em uma unidade consumidora, utilizando VPL, TIR e *payback* descontado. Observa-se nos cenários, que a viabilidade é favorável a médio prazo para o retorno do investimento inicialmente realizado na implantação do sistema de geração solar. A partir desse prazo, até o fim da vida útil do sistema (25 anos), toda a energia gerada mês a mês pelo sistema fotovoltaico representará uma previsão efetiva de redução mensal da fatura de energia que ficará na faixa de 58,71% a 69,65% para o cenário mais crítico e de 83,32% a 98,85% para o cenário mais favorável. O presente estudo, assim como o trabalho referenciado, aplicam cálculos econômicos, cenários críticos e favoráveis, onde encontram validação em todos resultados, provando a aplicabilidade e eficiência do sistema fotovoltaico.

Estes estudos, bem como o presente trabalho, apontam que a viabilidade econômica da aplicação de sistemas fotovoltaicos em fachadas de edifício está diretamente ligada com a tarifa de energia elétrica, os custos de compra e instalação do sistema fotovoltaico, assim como, o ângulo de aplicação do sistema e seus respectivos valores de geração.

## **5 CONCLUSÃO**

O propósito central deste trabalho foi conduzir um estudo abrangente de viabilidade técnica e econômica voltado para a implementação de sistemas fotovoltaicos destinados à geração de energia elétrica na fachada de um edifício. O diferencial deste trabalho foi abordar a instalação dos painéis solares na posição vertical, em dois ângulos em relação ao solo: 90 e 85 graus de inclinação. Na avaliação da viabilidade técnica, foram analisadas as peculiaridades do local de instalação, os componentes dos sistemas fotovoltaicos, as técnicas de fixação da

estrutura e as disposições dos sistemas fotovoltaicos na fachada. Quanto à viabilidade econômica, foram empregados métodos de análise econômica, incluindo o VPL, a TIR e o Payback Descontado, juntamente com o LCOE. Dezesesseis cenários foram simulados e avaliados, considerando variáveis como o ângulo de inclinação dos painéis, a Taxa Mínima de Atratividade, as bandeiras tarifárias verde e vermelha patamar 2, além da isenção ou não isenção da taxa de injeção.

Em todos os cenários simulados, a viabilidade técnica e econômica para a implementação dos sistemas foi confirmada. Os geradores de energia demonstraram que, mesmo quando instalados verticalmente na fachada do edifício, proporcionam retornos positivos. Além disso, observou-se que uma leve inclinação pode ter um impacto significativo nos resultados. No caso desta aplicação específica, verificou-se um aumento de 11% na geração de energia elétrica.

Notavelmente, os cenários com os melhores resultados envolveram o sistema fixado com um ângulo de 85°. Além disso, dado que toda a energia elétrica gerada foi consumida internamente, o valor da taxa de injeção, ou Fio B, permaneceu relativamente baixo, minimizando seu impacto negativo nos indicadores econômicos.

Portanto, esse estudo conclui que, diante das condições analisadas, a implementação de sistemas de geração fotovoltaica em fachada de edifício na região do Rio Grande do Sul representa um investimento sólido para a redução dos custos operacionais. Essa conclusão se mantém válida tanto para novos projetos com um ângulo de 90° quanto para projetos que não obtiveram isenção da tarifa de injeção até 2045.

Algumas dificuldades e limitações foram identificadas durante o desenvolvimento deste trabalho. Destaca-se a incerteza sobre resultados que seriam obtidos para instalações que não estejam posicionadas na fachada norte, bem como a busca por resultados para um sistema estrutural que mantenha os painéis fotovoltaicos próximos de seu ângulo ideal. Além do mais, aprofundar o estudo visando a manutenção estrutural, tanto em relação ao sistema fotovoltaico, como em relação ao edifício. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a análise do custo-benefício de um sistema estrutural que não esteja localizado na fachada norte, visto que nem todos os cenários permitem a instalação nessa posição. Por fim, estudos técnicos e econômicos de sistemas fotovoltaicos instalados em fachadas com ângulos ideais são especialmente relevantes.

## REFERÊNCIAS

- ALVES Dionatas Rayron da Silva; LIRA Marcos Antônio Tavares. **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica para Implantação de Energia Solar Fotovoltaica em Unidade Consumidora no Aeroporto de Teresina no estado do Piauí**. Universidade Federal do Piauí, Departamento de Engenharia Elétrica. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 2018.
- ANDREASEN, M. M. *et al.* **Design for Assembly**. 2 ed. United Kingdom: IFS Publications, 1988.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Modalidades tarifárias**. Brasil, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>>. Acesso em: 02 fev. 2024.
- ANUÁRIO **Estatístico de Energia Elétrica 2020**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2020.
- ATKINSON, Anthony A. *et al.* **Contabilidade Gerencial: informação para tomada de decisão e execução da estratégia**. São Paulo: Atlas, 2015.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Calculadora do Cidadão**. 2022. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?met hod= exibirFormCorrecaoValores&aba=1>>.
- BLANK, L.; TARQUIN, A. **Engenharia Econômica**. 6. ed. São Paulo: AMGH, 2008.
- BLANK, L.; TARQUIN, A. **Engineering economy**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. **Product Design for Manufacture and Assembly**. New York: Marcel Dekker Inc., 1994.
- BRAGA, R. P. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e aplicações**. 2008. 80p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- BRALLA, J. G. *et al.* **Handbook of Product Design for Manufacturing**. Singapore: McGraw-Hill Book Co., 1988.
- BRASIL. Lei nº 14.300, de 06 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução normativa nº 1059, de 7 de fevereiro de 2023. Aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração

distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica; altera as Resoluções Normativas nº 920, de 23 de fevereiro de 2021, 956, de 7 de dezembro de 2021, 1.000, de 7 de dezembro de 2021, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução normativa nº 1000, de 07 de dezembro de 2021. Estabelece as regras de prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica; revoga as resoluções normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF.

CAMARGOS, M, A. **Matemática financeira aplicada a produtos financeiros e análise de investimentos**. 1. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2013.

CAMLOFFSKI, R. **Análise de investimentos e viabilidade financeira das empresas**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **Horário de pico**. Campinas 2019. Disponível em: < <https://www.cpfl.com.br/energias-sustentaveis/eficiencia-energetica/uso-consciente/Paginas/horario-de-pico.aspx> >.

COSTA, A. C. *et al.* **Energia solar fotovoltaica uma alternativa viável?** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 9, 2020.

CUNHA, G. E., RHEINGANTZ, A. P., GONÇALVES, P. I. **Estudo da Relação Custo-Benefício na Implementação de Diferentes Sistemas Fotovoltaicos em um Edifício de Escritórios na ZB**, PROGRAU – UFPEL, Pelotas/RS, 2017.

CZIULIK, C.; PIEKARSKI, B. C. J. **Modelo para avaliação econômica comparativa entre alternativas de sistemas de fixação com elementos roscados**, Gest. Prod., São Carlos, v. 16, n. 3, jul.-set. 2009.

DASSI, A. J.; ZANIN, A.; BAGATINI, M. F.; TIBOLA, A.; BARICHELLO, R.; MOURA, D. G. Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. *In: XXII Congresso Brasileiro de Custos*, Foz do Iguaçu, PR, 11 a 13 de novembro de 2015.

FERNANDES, G. D. **Análise da implantação de painéis fotovoltaicos instalados na sede da Prefeitura Municipal de Curitiba**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (|Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, PR, 2020.

FREITAS, J.; CLEFF V.; SCHLOSSER B.; SALAMONI I. **Análise Econômica e Energética de Fachadas Fotovoltaicas no Extremo Sul do Brasil**. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. Porto Alegre: ANTAC, 2018.

FRONTIN, S. O.; BRASIL JR. A.; CARNEIRO, M. T.; GODOY, N. R. **Usina Fotovoltaica Jaíba Solar Planejamento e Engenharia**. 1. ed. Brasília: Teixeira Gráfica e Editora, 2017.

GARCIA, B. S.; ZANESCO, I.; MOEHLECKE, A.; LANFREDI, P. M.; FERNANDES, H. L.; KALIKOSKI, S. L.; MESQUITA, P. M. C. **Avaliação do sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica instalado na fachada do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Faculdade de Física, Núcleo de Tecnologia em Energia Solar (NT-Solar), VI Congresso Brasileiro de Energia Solar – Belo Horizonte, 04 a 07 de abril de 2016.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOMES Amanda Mendes Ferreira; PINTO Gustavo Xavier de Andrade; RÜTHER Ricardo. **Análise da Viabilidade Econômica de Sistemas de Microgeração Fotovoltaica em Baixa Tensão Aplicadas as Tarifas Convencionais e Branca**. Universidade Federal da Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. 2020.

HEERDT, L. M.; LEONEL, V., **Metodologia Científica e da Pesquisa**. 5. ed. revista e atualizada. Palhoça: UNISUL Virtual, 2007.

HONG, J. N.; WENFAN, L.; XINGXING, W.; HAOYANG, L.; YONGPEI, Z.; MINQI, Z. Research Progress of PV Mounting System for Solar Power Station. *In: International Conference on Chemical, Material and Food Engineering*, CMFE, 2015.

IRENA - INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable Power Generation Costs in 2020**. Abu Dhabi: IRENA, 2021.

KAHOUL, N.; HOUABES, M.; NEÇAIBIA, A. **A comprehensive simulator for assessing the reliability of a photovoltaic panel peak power tracking system** Higher Education Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015.

KAYAL, S. **Application of PV Panels in Large Multi-Story Buildings**. California Polytechnic State University, San Luis Obispo. 2009. Disponível em: <http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1147&context=theses> Acesso em: 15 ago. 2023.

KHAPARE, B.R.; BHIRUD, N. L. **A Study on Various Installation of Solar PV System**, Journal of Emerging Technologies and Innovative Research, v. 5, may 2018.

KREZNINGER, A.; PRIEB, M. W. C.; GASPARIN, P. F. **Mapas de produtividade fotovoltaica para o Rio Grande do Sul (Brasil)**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Journal of Engineering and Exact Sciences, v. 08, n. 6, 2022.

KRSTIĆ-FURUNDŽIĆ, A. VUKMIROVIĆ, M.; LAZAREVIĆ, E. V.; ĐUKIĆ, A. **Places and technologies 2018 the 5th international academic conference on places and Technologies**. University of Belgrade, Faculty of Architecture, 2018.

LIN, J.; XU, R.; LI, M. **Tracking flat panel PV module output performance**. Solar Energy, v. 10, 2010.

Liu, Z., Song, J., Kubal, J., Susarla, N., Knehr, K. W., Islam, E., Nelson, P., & Ahmed, S. **Comparing total cost of ownership of battery electric vehicles and internal combustion engine vehicles**. Energy Policy, v. 108, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.05.022>.

LIZA, B. C.; ROMÃO, L. E.; KASEMODEL, C. M. **Análise de preditores para adoção de sistemas solares fotovoltaicos residenciais no Vale do Paraíba**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 61, jan. 2021.

MACIEL, Diogo R.; SOUZA, Teófilo M.; BOULOMYTIS, Vassiliki T. G. **Ensaio laboratoriais para a comparação entre a irradiação solar captada por painéis fotovoltaicos fixos e móveis**. Lat. Am. J. Phys. Educ., v. 15, n. 4, dec. 2021.

MALHEIRO Teresa Irene Ribeiro de Carvalho (PhD.); LIMA Luciana Oliveira da Silva (Msc.), da FONSECA André Luiz Amorim (Msc.). **Análise da Geração de Energia Solar Fotovoltaica Conectada à Rede de Energia Elétrica Utilizando o Software Energyplus**. University Of Cambridge. Conferência Internacional - ligações entre o consumo de energia, alimentos e água no Brasil, no contexto das estratégias de mitigação das mudanças climáticas, 2015.

MARQUES, A. H. W.; SILVA, B. S.; NASCIMENTO, S. C. O.; LEÃO, M. W. Análise computacional de sistemas fotovoltaicos com e sem rastreamento solar conectados à rede: estudo de caso em Itumbiara-GO. In: **XV CEEL, Universidade Federal de Uberlândia**, 05 a 09 de novembro de 2018.

MARQUES, A. J. J.; OLIVEIRA, S. C.; SANTOS JÚNIOR, F. B.; ALMEIDA, R. A.; LINARD, A. M. F. Alternativas de instalação de sistemas fotovoltaicos: estudo de caso do bloco de Engenharia Elétrica da UFPI. In: **VI Congresso Brasileiro de Energia Solar**, Belo Horizonte, 04 a 07 de abril de 2016.

MEHRTASH, M.; ROUSSE, D. R.; QUESADA, G. **Effects of surroundings snow coverage and solar tracking on photovoltaic systems operating in Canada**. Journal of Renewable and Sustainable Energy, v. 5, n. 5, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.4822051> Acesso em: 12 ago. 2023.

MICHAELS, J. V.; WOOD, W. P. **Design to cost**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1989. 413 p.

MIGUEL, P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2012.

MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M. **Análise investimentos**: tomada de decisão em projetos industriais. 1 ed. São Paulo: Atlas. 2002.

NASCIMENTO, A. C. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. Monografia (Curso de Pós-Graduação *Lato-Sensu* em Fontes Alternativas de energia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2004.

NASCIMENTO, L. P. **Elaboração de projeto de pesquisa**. São Paulo: Cengage. Learning, 2012.

NGUYEN, L. D. L.; NGOC, D. S.; CONG, T. D.; THUONG, L.D.; VAN, N. S.; MINH, H. N. V.; LE, T. N. **Facade integrated Photovoltaic systems**: Potential applications for commercial building in Vietnam. Dept. of Urban Engineering University of Architecture Ho Chi Minh City, Ho Chi Minh City. Vietnam, 2019.

NUNES, R.; SOUZA, R. C.; BATISTA, R. **Estudo sobre a utilização da energia solar fotovoltaica como estratégia de suprir a demanda energética brasileira**, Universidade do Estado de Minas Gerais (UMEMG Passos). Revista Ciências Gerenciais em Foco, v. 14, n. 12, 2022.

OLIVEIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. H.; GOMES, R. O. **Energia solar**: um passo para o crescimento. REGRAD, v. 10, 2017.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design**: A Systematic Approach. London: Springer, 1996.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1<sup>a</sup>. ed. São José dos Campos: INPE, 2006.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p.

PINTO, A. *et al.* Descrição de Seguidores Solares e sua Aplicação em Centrais Fotovoltaicas Conectadas à Rede. In: **III Congresso Brasileiro de Energia Solar CBENS**, Pará, Brasil, 2010.

PIOVESANA, F. E.; SCHRAM, B. I. Viabilidade econômica da instalação de painéis solares fotovoltaico em uma pequena residência. **Revista UNINGÁ Review**, v. 30, n. 1, Abr-Jun 2017.

PORTO, E.; SUSKI, C. **Influência dos elementos meteorológicos na eficiência da geração de energia elétrica em células fotovoltaicas**. Estrabão, v. 2, 2021.

PUCCINI, E.C. **Matemática financeira e análise de investimentos**. 3. Ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração / UFSC, 2016.

QIU, Y. Input power range inductive boost converter for indoor photovoltaic energy harvesting with integrated maximum power point tracking algorithm. In: **2011 IEEE International Solid-State Circuits Conference**. IEEE, 2011.

QUIZA, G. E. **Engenharia Econômica aplicada à avaliação de Projetos Imobiliários**. Apostila. Curitiba, PR, 2011.

RAMADHAN, M.; NASEEB, A. **The cost benefit analysis of implementing photovoltaic solar system in the state of Kuwait**. *Renewable Energy*, v. 36, n. 4, abr. 2011.

RGE SUL. Rio Grande Energia Sul. **Alíquota ICSM do Rio Grande do Sul**. Rio Grande do Sul, 2015. Disponível em: <<https://www.rge-rs.com.br/atendimento-a-50-consumidores/rge/tarifas-na-conta-de-energia/aliquota-icms-rs/Paginas/default.aspx>>. Acesso em 20 de dezembro de 2023.

RIBEIRO, E.; FLORIAN, F.; FIGUEIRA, G. R. **Instalação de um sistema fotovoltaico on-grid como cobertura para um estacionamento utilizando carport solar**. *Revista Científica Multidisciplinar*, v. 3, n. 6, 2022.

RIBEIRO, S. A. C.; MELO FILHO, B. J., **Análise Comparativa da Tecnologia Fotovoltaica Aplicada em microgeração fixa e sistema tracker com o mínimo de engrenagens**. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, v.5, n. 4, 2020.

RODRIGUES, C.; VIANA, S.; SILVA, A.; JOYCE, A.; GONÇALVES, H. Os sistemas fotovoltaicos no Edifício Solar. In: **XIII Congresso Ibérico e VIII Congresso Ibero-Americano de Energia Solar**. Lisboa, 2006.

ROSS, S.; WESTERFIELD, R.; JAFFE, J.; JORDAN, B. **Corporate Finance**. 13. ed. New York: The McGraw-Hill, 2021. 1056 p.

RÜTHER, R., **Edifícios Solares Fotovoltaicos - O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. São Paulo: EdUFSC / LABSOLAR, 2004.

SALAMA, F. **An Analysis of the Benefits of Vertical Solar Photovoltaic Systems and the Effect of Artificial Ground Cover on Energy Output**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduate and Postdoctoral Studies in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Sustainable Environmental Management) - School of Environment and Sustainability University of Saskatchewan Saskatoon, 2018.

SALEMA, T.; KINAB, E. Analysis of Building-Integrated Photovoltaic Systems: A Case Study of Commercial Buildings under Mediterranean Climate. In: **International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction**. Elsevier, Procedia Engineering, 2015.

SAMPAIO, V. G. P.; GONZÁLES, A. O. M., **Photovoltaic solar energy: Conceptual framework**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 74, 2017.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de Pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Pensa, 2013.

SANTOS Kyane Bomfim. **Otimização de fachadas fotovoltaicas: integração entre desempenho energético e estética da forma.** Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Salvador, 2021.

SANTOS, P. I. **Integração de Painéis Solares Fotovoltaicos em Edificações Residenciais e sua Contribuição em um Alimentador de Energia de Zona Urbana Mista.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SILVA, S. L.; ASSUNÇÃO, F. R.; ROCHA SOBRINHO, C. R. D.; FREITAS, S. E.; ASSUNÇÃO, R. W. **Avaliação de Custo Benefício da Utilização de Energia Fotovoltaica.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (UFPA) - Belém - PA- Brasil. Revista de Ciência e Tecnologia, v. 5, n. 9, 2019.

SILVEIRA, J. L.; TUNA, C. E.; LAMAS, W. Q. **The need of subsidy for the implementation of photovoltaic solar energy as supporting of decentralized electrical power generation in Brazil.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 20, 2013.

SOARES Cícero Allan Barbosa; de NADAE Jeniffer; do NASCIMENTO Diego Coelho. **Análise da Viabilidade Econômica - Financeira da Energia Solar Fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior no Estado do Ceará.** R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 10, n. 2, jun. 2021.

SOUZA, W.; SOUZA, R.; MINORI, A. **Boas Práticas de Manutenção Preventiva em Sistemas Fotovoltaicos.** In: XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - "A Engenharia de Produção e suas contribuições para o desenvolvimento do Brasil", Maceió, Alagoas, Brasil, 16 a 19 de outubro de 2018.

STAMENIC, L. **Developments with BIPV Systems in Canada,** Asian J. Energy Environ., v. 5, n. 4, 2004.

STRONG, S. **Building Integrated Photovoltaics (BIPV).** wbdg.org. Whole Building Design Guide, 2011.

HIDROPAN. **Tarifas Vigentes a Partir de 22 de Julho de 2023 Conforme Resolução Homologatória ANEEL Nº 3.224 de 22 de Julho de 2023.** Disponível em: < <https://www.hidropan.com.br/tarifas/> >.

THUESEN, G. J.; FABRYCKY, W. J. **Engineering Economy.** 9. Ed. London: Pearson, 2000.

TIEPOLO, G. M. **Fontes renováveis de energia e a influência no planejamento energético emergente no Brasil.** In: VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (CBPE), 2012.

TRISTÃO, L. J. **Inspeção e manutenção das estruturas de fixação de Módulos Fotovoltaicos.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, MG, 2021.

TROMBINI, B. P. **Análise da corrosão em elementos de fixação de uma usina fotovoltaica de solo.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Caxias do Sul, Bento Gonçalves, RS, 2021.

URBANETZ JUNIOR, J. **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 (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2010.

VIEIRA, R. G.; GUERRA, F. K. O. M. V.; VALE, M. R. B. G.; ARAÚJO, M. M., **Comparative performance analysis between static solar panels and single-axis tracking system on a hot climate region near to the equator.** Renewable Sust. Energy Rev., v. 64, 2016.

ZAHEDI, A. **Solar photovoltaic (PV) energy; latest development sin the Building integrated and hybrid PV systems.** Renewable Energy, v.31, 2006.

ZANESCO, I.; MOEHLECKE, A., PEREIRA, S. M., SEVERO, C. T., **Análise de Módulos Fotovoltaicos Concentradores Estáticos em Fachadas.** Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica – CB-Solar, Faculdade de Física - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS, 2006.

ZOMER, D. C, URBANETZ JÚNIOR, J., MONTENEGRO, A., PFITSCHER, H. P.; RÜTHER, R. **Compromissos entre forma e função de sistemas fotovoltaicos integrados a edificações e conectados à rede em baixas latitudes.** *In*: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, RJ, 2011.

## ANEXO A

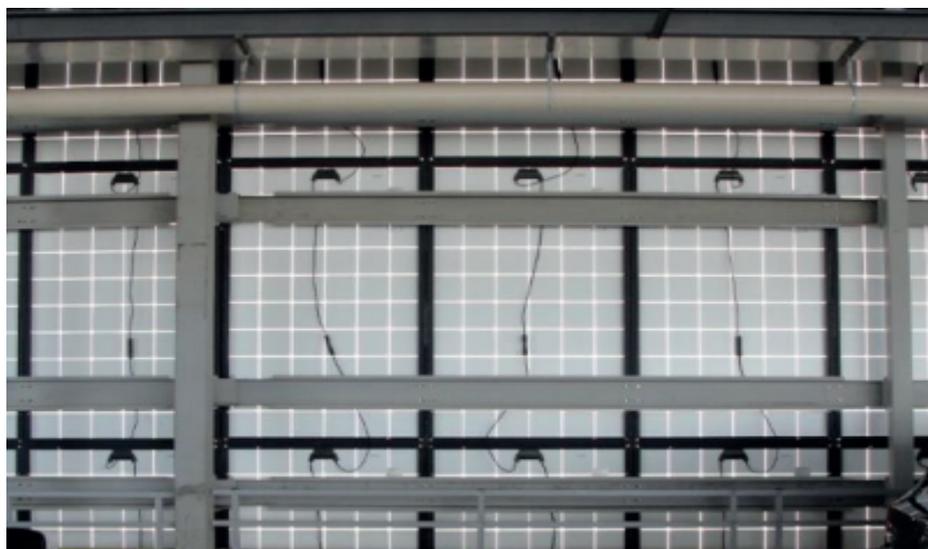
Anexo A – Vista da fachada onde será aplicado o projeto



Fonte: Autor.

## ANEXO B

Anexo B – Vista estrutural do sistema fotovoltaico



Fonte: Otimização de Fachadas Fotovoltaicas: Integração Entre Desempenho Energético e Estética da Forma, 2021.

NUP: 23081.065466/2024-89

Prioridade: Normal

**Homologação de ata de defesa de TCC e estágio de graduação**

125.322 - Bancas examinadoras de TCC: indicação e atuação

**COMPONENTE**

Ordem	Descrição	Nome do arquivo
9	Trabalho de conclusão de curso (TCC) (125.32)	TCC - VitorRB - FINAL3.pdf

**Assinaturas**

**15/07/2024 20:39:53**

VITOR ROSA BASSO (Aluno de Graduação - Aluno Regular)  
07.09.03.01.0.0 - Engenharia Mecânica - 120379

**16/07/2024 11:44:03**

CRISTIANO ROOS (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR (Ativo))  
07.09.08.00.0.0 - CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - EP



Código Verificador: 4339612

Código CRC: 92676904

Consulte em: <https://portal.ufsm.br/documentos/publico/autenticacao/assinaturas.html>

