

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JOSÉ VICTOR COSTA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO – FINANCEIRA PARA IMPLANTAÇÃO
DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL**

LONDRINA

2022

JOSÉ VICTOR COSTA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO – FINANCEIRA PARA IMPLANTAÇÃO
DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL**

**Analysis of economic – financial feasibility for implementation of photovoltaic
energy in a residential building**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. José Ângelo Ferreira.

LONDRINA

2022



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

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

JOSÉ VICTOR COSTA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO – FINANCEIRA PARA IMPLANTAÇÃO DE
ENERGIA FOTOVOLTAICA EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado
como requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 28 de novembro de 2022

José Ângelo Ferreira
Doutor em Engenharia Industrial
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carlos Alberto Ribas
Mestre em Administração
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Eduardo José Pitelli
Doutor em Engenharia Têxtil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2022

Dedico este trabalho à minha avó, que sempre me apoiou
em tudo que eu fizesse em minha vida.

RESUMO

Devido ao constante crescimento da população e a necessidade de melhorias na diversificação da matriz elétrica mundial, além da necessidade de aumento de geração renovável, os meios sustentáveis se tornaram alternativas eficientes e de qualidade para geração de energia, entre elas a energia solar fotovoltaica. O trabalho em questão tem por finalidade analisar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de geração fotovoltaica conectado à rede elétrica em uma edificação residencial no interior de São Paulo. Por meio de análises financeiras como *payback*, TIR e VPL, é possível adquirir resultados necessários para a identificação da viabilidade econômica da instalação desse sistema. Através dos estudos, orçamentos e análises comparativas, os resultados sobre a implantação de geração de energia solar fotovoltaica tendem a ser positivos, com um tempo de retorno favorável em relação ao investimento, já que o elemento principal para sua geração é o sol, uma fonte inesgotável da natureza.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica; *payback*; TIR; VPL.

ABSTRACT

Due to the constant growth of the population and the need for improvements in the diversification of the world's electric matrix, besides the need for an increase in renewable generation, sustainable means have become efficient and quality alternatives for energy generation, among them photovoltaic solar energy. The work in question aims to analyze the economic feasibility of implementing a grid-connected photovoltaic generation system in a residential building in the interior of São Paulo. Through financial analyses such as payback, IRR and NPV, it is possible to acquire the necessary results for the identification of the economic viability of the installation of this system. Through studies, budgets and comparative analyses, the results on the implementation of photovoltaic solar energy generation tend to be positive, with a favorable return time in relation to the investment, since the main element for its generation is the sun, an inexhaustible source of nature.

Key-words: Photovoltaic solar energy; payback; IRR; NPV.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Componentes da radiação solar	19
Figura 2 - Irradiação solar global horizontal média anual no Brasil	20
Figura 3 – Primeira utilização de célula solar	22
Figura 4 - Estruturas moleculares de semicondutores P e N.....	24
Figura 5 - Representação do funcionamento de uma célula fotovoltaica de silício cristalizado.	25
Figura 6 - Módulo Fotovoltaico	26
Figura 7 – Edifício residencial em estudo.....	31
Figura 8 - Projeto do edifício residencial em estudo.	33
Figura 9 – Área do edifício residencial em estudo.	34
Figura 10– Disposição dos painéis no edifício residencial em estudo.	35
Gráfico 1 - Irradiação solar na cidade de Marília	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Irradiação solar na cidade de Marília	32
Tabela 2 - Levantamento de gasto de eletricidade em um edifício residencial sem implantação do sistema de geração fotovoltaica.....	35
Tabela 3 - Simulação de financiamento do projeto com carência de 60 dias. ...	37
Tabela 4 - Payback simples e descontado do cenário pessimista.	40
Tabela 5 - Payback simples e descontado do cenário provável.	40
Tabela 6 - Payback simples e descontado do cenário otimista.	41
Tabela 7 - Valor Presente Líquido em diferentes cenários e condições de pagamento.	42
Tabela 8 - Taxa Interna de Retorno	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CGH	Centrais de Geradoras Hidrelétricas
GD	Geração Distribuída
IPCA	Índice Nacional de Preços do Consumidor Amplo
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido
CDI	Certificado de Depósito Interbancário
TW	Terawatts
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EPE	Empresa Brasileira de Pesquisa Energética
kWh	Quilowatts hora
kWp	Quilowatts pico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	JUSTIFICATIVA	17
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1	Radiação Solar	18
4.2	Energia Solar Fotovoltaica	21
4.3	Células Fotovoltaicas	23
4.4	Componentes de um sistema fotovoltaico	25
4.4.1	Módulos fotovoltaicos	25
4.4.2	Inversores.....	26
4.4.3	Baterias	27
4.5	Geração Distribuída	27
4.6	Viabilidade Econômico-financeira	29
4.6.1	Payback.....	29
4.6.2	Valor Presente Líquido (VPL).....	29
4.6.3	Taxa Interna de Retorno (TIR)	30
5	METODOLOGIA	31
5.1	Apresentação do local em estudo	31
5.2	Estudo da irradiação local	32
5.3	Análise da área de implantação do sistema	33
5.4	Consumo de energia elétrica	35
5.5	Implantação do sistema	36
6	RESULTADOS	38
6.1	Projeto do sistema de geração fotovoltaica	38
6.2	Análise de viabilidade	39
6.2.1	Payback.....	39
6.2.2	Valor Presente Líquido - VPL	42
6.2.3	Taxa Interna de Retorno - TIR.....	42
7	DISCUSSÃO	44
8	CONCLUSÃO	45

REFERÊNCIAS.....	46
-------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica cresce cada vez mais e essa expansão está relacionada ao aumento populacional exponencial em paridade a uma era tecnológica que exige cada vez mais geração de energia para sua manutenção e evolução. Projeções realizadas pela Bloomberg ressaltam que o consumo de eletricidade deve aumentar 62% nos próximos 30 anos, o que resultaria em uma carência três vezes maior do que a capacidade de geração global atual (BLOOMBERG, 2019). Frente a essa necessidade, impactos negativos sobre o meio ambiente entram em pauta, uma vez que a maioria das atividades industriais atreladas a geração de energia são oriundas em grande maioria de fontes não renováveis e contribuem para o aquecimento global (NEVES, 2021).

Impulsionada por um inverno mais frio e pela recuperação econômica da pandemia, a Agência Internacional de Energia confirmou que a demanda global por eletricidade aumentou em 6% no ano de 2021 (IEA, 2022). Esse incremento é visto em diversos países e inclusive no Brasil. De acordo com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, o país consumiu um volume 4,1% maior do que o ano de 2020, retornando ao habitual crescimento do mercado de energia. Em paralelo a esse avanço, nos últimos anos, esforços foram direcionados para implementar os sistemas de geração energética limpa, o que culminou em um acréscimo de energia renovável no país, representando um volume 27,1% maior que no ano anterior (CCEE, 2022).

O Brasil é líder mundial no uso de fontes convencionais de energia renovável. São 48% da matriz energética e 83% da elétrica direcionados a esse segmento e apesar de vasta abundância de recursos naturais de produção, é preciso explorá-los com mais eficiência e desenvolver ramos para melhorar o planejamento de energia em longo prazo levando em consideração questões sociais, econômicas e climáticas e de diversificar sua capacidade de adquirir fontes energéticas a partir de diferentes meios (BRASIL, 2021). Isso é dito pois o país ainda é extremamente dependente das CGH – Centrais de Geradoras Hidrelétricas, que correspondem a 65% da geração elétrica e a diversificação das fontes energéticas poderia minimizar os riscos de crises, como por exemplo, a crise hídrica vivenciada em 2021 (EPE, 2021).

Frente a esse desafio e a necessidade de produção de energia sem afetar o aquecimento global e impactar o meio ambiente, iniciativas do governo e privadas

passaram a elaborar políticas que incentivassem o país a utilizar seu potencial de incidência solar para ampliar e modalizar sua geração de energia renovável. Atualmente o Brasil, tem em seu amplo território uma irradiação solar superior a diversos países desenvolvidos que utilizam projetos fotovoltaicos com maior frequência e apesar de vasta abundância, a energia solar representa apenas 1,7% de toda matriz energética (Portal Solar, 2022). De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, o país recebe mais de 3 mil horas de sol ao longo do ano e em contraste, a Alemanha recebe menos que a metade dessa incidência e explora cerca de 12% da matriz energética anualmente (SANTOS, 2021).

Essa baixa consonância pode ser explicada pelo alto custo inicial de implantação de energia fotovoltaica, pela falta de informação e de incentivos governamentais, o que dificulta ao brasileiro enxergar a viabilidade deste investimento. Além disso, pelo amplo potencial hídrico do país, muitos ignoram a diversificação energética pois enxergam as CGH como soberanas e inesgotáveis, desprezando qualquer impacto ambiental causado pela sua construção e ignorando anos com carência de chuvas, que podem limitar sua geração (Portal Solar, 2022).

Independente desses fatores, vem sendo observado um crescimento a passos largos de geração de energia solar no Brasil nos últimos anos. Recordes de conexões vêm sendo superados e um dos fatores que mais tem puxado essa evolução foi a iniciativa da Geração Distribuída – GD, que foi implementado pela Resolução Normativa nº 482 da ANEEL e basicamente conecta o sistema de produção de energia elétrica de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, à rede pública de distribuição e toda energia excedente que é produzida, é transformada em créditos que são destinados às unidades consumidoras da mesma titularidade do gerador em até 60 meses. Para isso, é necessário a introdução de um gerador dentro da unidade consumidora, aderindo-se assim um fluxo bidirecional de energia (ANEEL, 2018).

Com base na regulamentação da geração via consórcio e cooperativas, é conveniente avaliar a viabilidade econômica da implantação de sistemas de geração solar em edifícios residenciais, seja por questões de economia coletiva nas contas de energia elétrica ou por razões de sustentáveis. Os créditos gerados a partir da geração distribuída contribuem para a redução dos gastos de todas as unidades consumidoras do prédio, apartamentos e áreas comuns, além de aliviarem sobrecargas de redes

distribuidoras locais e contribuir para a redução de danos causados ao meio ambiente, visto que a energia solar é proveniente de fonte inesgotável e limpa.

2 OBJETIVOS

A seguir serão apresentados os objetivos gerais e específicos que foram adotados para a realização deste trabalho.

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como finalidade realizar uma análise da viabilidade econômica e financeira da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica em um edifício residencial de 20 andares localizado no estado de São Paulo.

2.2 Objetivos Específicos

- Contribuir para a disseminação de informação sobre o tema de energia solar.
- Analisar o consumo de energia elétrica de um edifício residencial de 20 andares.
- Verificar a irradiação solar da região.
- Realizar um orçamento de projeto de implantação fotovoltaica e avaliar se o investimento traz resultados significativos.
- Apresentar o estudo de viabilidade econômica e financeira para a implantação do projeto.

3 JUSTIFICATIVA

Em decorrência dos baixos níveis de água reportados nos reservatórios hidrelétricos nos últimos anos, foram notados consecutivos aumentos do valor da conta de luz, o que culminou na busca por fontes alternativas de energia. A instalação em massa de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica tem forte potencial para suprir essa demanda, tanto para o racionamento de água nos reservatórios hidrelétricos em períodos de seca, quanto para aumentar a disponibilidade de eletricidade em nosso país. Além disso, diante de uma contemporaneidade que preza pela sustentabilidade, os sistemas fotovoltaicos reduzem a necessidade de construção de usinas não renováveis ou poluentes, conduzindo a uma geração de eletricidade de forma responsável.

Ao idealizar instalações de sistemas renováveis de geração em um edifício residencial, de forma a diluir custos e suprir a demanda energética, foi percebido que a diligência é um dos fatores que abrem portas para a implantação da energia fotovoltaica, principalmente pela diversidade de configurações de instalação, ausência de ruídos, manutenção acessível e possibilidade de interligação à rede elétrica urbana. Dentre todos esses fatores, o edifício como um todo é favorecido, seja nos apartamentos, ou em áreas comuns como elevadores, áreas de lazer, garagens e portarias.

São inúmeros benefícios confirmados, seja em interesses ambientais, técnicos, temporais, econômicos e financeiros. Anexo aos benefícios ambientais, as células solares convertem a energia solar em elétrica de forma estática, inesgotável, não poluente, renovável e silenciosa. Dentre as vantagens técnicas, sua capacidade de renovação, atrelada a mínima manutenção e pouca necessidade de espaço, contribuem para o aumento da geração compartilhada e, concomitantemente, solucionar racionamentos de energia e apagões. Os benefícios temporais são relacionados quando o perfil de consumo coincide com a geração, como no caso de dias quentes em que a demanda por ar-condicionado corresponde ao horário de pico de insolação. Já a economia é observada na conta de luz, que pode ser reduzida em até 95% e essa redução tende a durar até 30 anos (vida útil do sistema). Por fim os benefícios financeiros, que podem ser confirmados pela valorização do imóvel (devido à sua eficiência energética), ou pela proteção contra a inflação energética, que ocorre quando os preços da energia sobem além do IPCA.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir serão apresentados os principais tópicos da revisão bibliográfica deste trabalho.

4.1 Radiação Solar

O Sol é a principal fonte de energia do planeta, sendo responsável pela origem de praticamente todas as outras formas de energia encontradas na Terra. Estima-se que anualmente o Sol fornece cerca de 10.000 vezes o consumo mundial de energia no mesmo período e apenas uma mínima parcela é aproveitada (CRESESB-CEPEL, 2006).

Para o estudo, trata-se a radiação solar como a transmissão de energia através do espaço e a irradiação como a exposição à radiação. Para avaliar a exposição a essa energia, toma-se como base o raio médio da terra, que corresponde a aproximadamente 6.371 km e a potência solar é de $3,83 * 10^{26}W$. Dessa forma é possível calcular a densidade média anual de radiação solar (constante solar) a partir da mensuração anual energética da radiação solar averiguada em uma superfície perpendicular aos raios solares acima da atmosfera terrestre (SENTELHAS, P.C.; ANGELOCCI, L.R., 2012).

A área da Terra, partindo de uma simplificação para uma esfera é:

$$A = 4 * \pi * r^2 \quad (1)$$

$$A = 2,83 * 10^{23} \text{ m}^2$$

A é a área da esfera

r é o raio da Terra = $6.371 * 10^3 \text{ m}$

O cálculo da constante solar é feito da seguinte maneira:

$$J_0 = \frac{P}{A} \quad (2)$$

$$J_0 = 1354 \text{ W/m}^2$$

J_0 é a constante solar.

P é potência solar = $3,83 * 10^{26} \text{ W}$

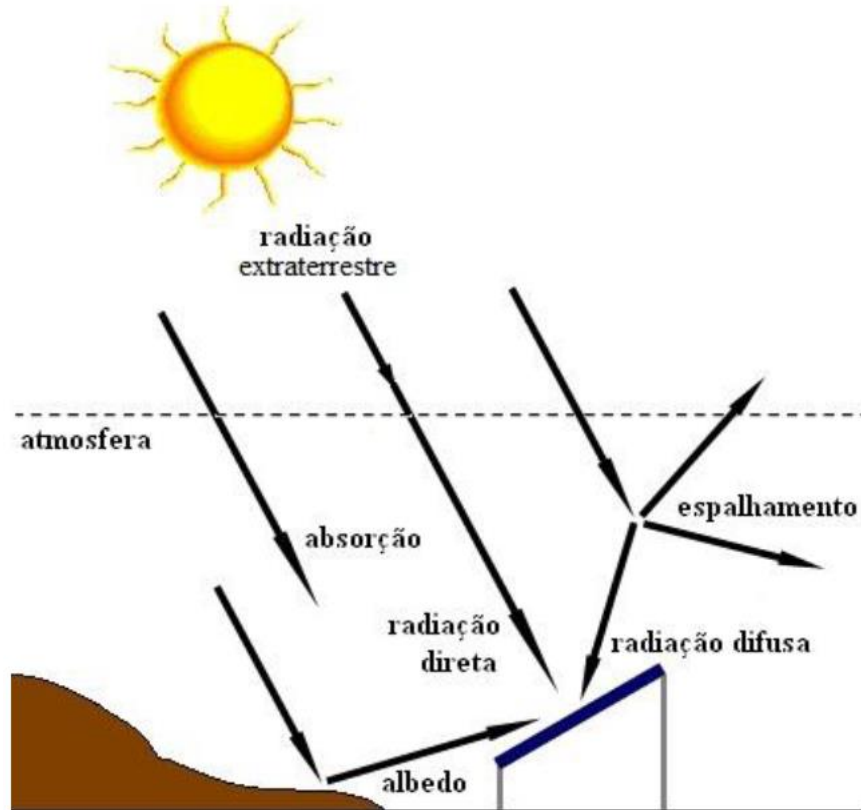
A é a área da esfera $2,83 * 10^{23} \text{ m}^2$

A partir de então, chega-se ao valor da constante solar de $1.367W/m^2$. Considerando esses valores, a potência total que o Sol disponibiliza para o topo da atmosfera terrestre é estimada em aproximadamente 174 mil TW (terawatts). Dentre

toda essa potência disponibilizada a Terra, uma parte é refletida e outra é absorvida pela superfície terrestre, resultando em uma potência efetiva de aproximadamente 94 mil TW (PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., 2014).

A radiação global é a soma de dois tipos de incidência, a radiação direta e a difusa. A radiação direta é a que representa os raios incidindo diretamente da direção do Sol e essa apresenta maior capacidade de geração e, a radiação difusa, é proveniente de diferentes direções que atingem a superfície após sofrer espalhamento pela atmosfera e apresentam menor eficiência na geração fotovoltaica (PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., 2014). A representação pode ser vista na figura 1:

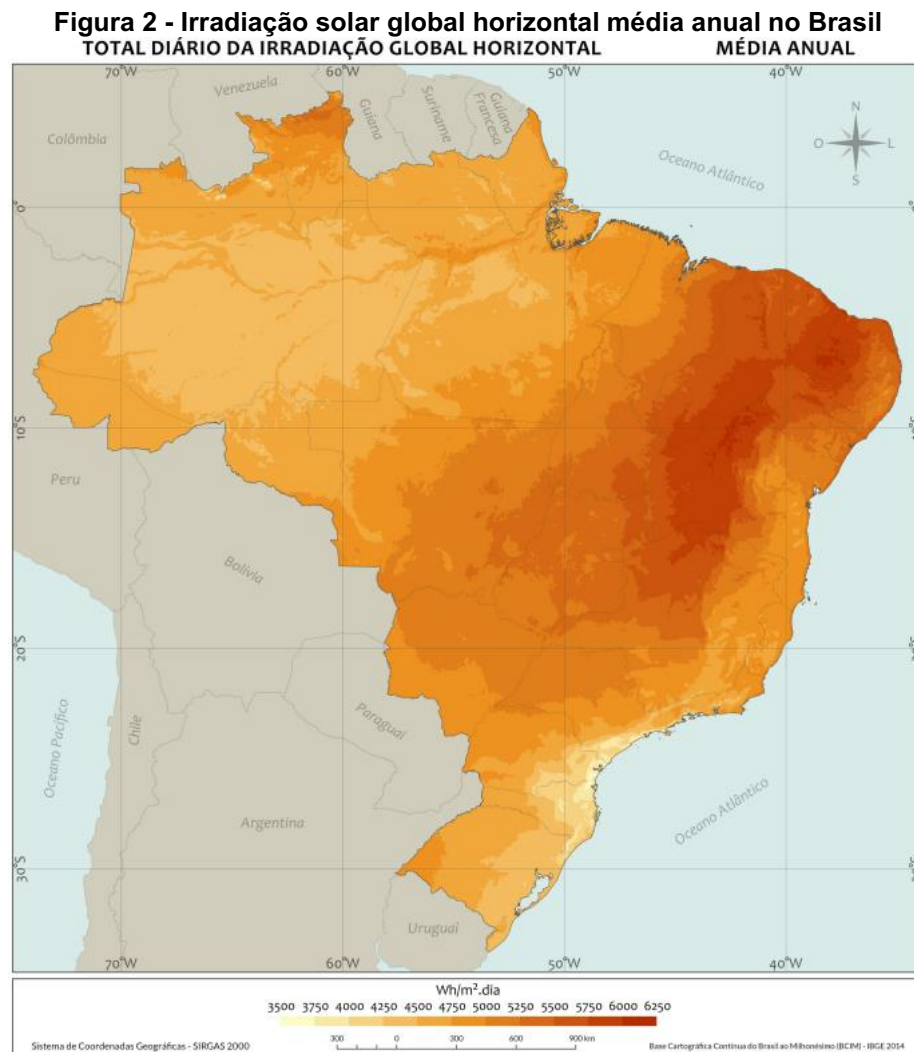
Figura 1 – Componentes da radiação solar



Fonte: PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. (2014)

No Brasil, em decorrência de seu posicionamento no globo, estando quase inteiramente entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, a incidência dos raios solares é mais vertical do que em outras partes do mundo. Esta característica resulta em altas taxas de incidência de radiação solar em grande parte do território brasileiro, oferecendo condições favoráveis para o uso de energia do recurso solar, mesmo durante o inverno (TOLMASQUIM, 2016).

A irradiação média anual no Brasil, está entre 1.200 e 2.400 kWh/m² por ano. Estes valores são mais elevados do que valores encontrados na maioria dos países europeus, como por exemplo na Alemanha, onde a faixa média anual está entre 900 e 1250 kWh/m² por ano, ou na França, a qual apresenta faixa média anual entre 900 e 1650 kWh/m² por ano. Vale salientar que os projetos de exploração de energia solar são amplamente difundidos nestes países, com os governos locais fornecendo incentivos significativos (EPE, 2012).



Fonte: PEREIRA, E. B. (2017)

A partir da análise da figura 2, nota-se que no geral a radiação global é bem distribuída por todo território nacional e considerando esse fato, a instalação de painéis fotovoltaicos tende a ser mais eficiente frente a outros países que apresentam menor exposição à irradiação. Internamente, a região Nordeste apresenta os maiores níveis, bem como a maior média e a menor variabilidade anual. A região central do

estado da Bahia e parte do noroeste de Minas Gerais, tem os maiores valores de irradiação solar, com 6,5 kWh/m² e mais abaixo, no estado de São Paulo, região que desfruta de boas condições climáticas e baixa nebulosidade, os valores mantêm-se em níveis relevantes, variando de 4 kWh/m² a 5 kWh/m² (PEREIRA, E. B., 2017).

4.2 Energia Solar Fotovoltaica

A Energia solar fotovoltaica é originada diretamente por meio da captação da luz do sol e da respectiva conversão em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico. Descoberto em 1839 pelo francês Alexandre-Edmond Becquerel, o efeito fotovoltaico foi relatado a partir de um experimento que originou uma corrente elétrica por meio da incidência de raio de sol em duas placas de latão cobertas por um líquido condutor. A diferença de potencial foi observada nos extremos da estrutura do material e a partir de então, foi dado início a um lento processo de desenvolvimento dessa tecnologia (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

Após muitos anos com míseros aperfeiçoamentos, em 1954 Calvin Fuller, Daryl Chapin e Gerald Pearson implementaram essa tecnologia ao realizarem a dopagem do silício, fator que proporcionou um aumento de eficiência das células solares. Esse desenvolvimento foi aplicado na cidade de Americus na Geórgia, com o intuito de alimentar uma rede telefônica, como visto na figura 3.

Figura 3 – Primeira utilização de célula solar



Fonte: IST (2004)

Ainda em 1954, o cientista Russell Shoemaker Ohl revolucionou a utilização dessa tecnologia ao inventar a "célula solar moderna". Os painéis solares fizeram sua primeira aparição de uma forma inesperada, onde em 1958 um painel de 1 W foi montado no satélite Vanguard I, que foi lançado em órbita para alimentar seu rádio durante a viagem. A partir de então, passou-se a observar os primeiros sistemas fotovoltaicos foram instalados para casas, empresas e até mesmo meios de transporte como ônibus, navios e aviões (Portal Solar, 2021).

No Brasil, a história da energia solar fotovoltaica tem visto tempos de rápida expansão em paralelo a períodos de dificuldade. O desenvolvimento de módulos fotovoltaicos começou nos anos 50 no Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e no Centro Técnico Aeroespacial (CTA), e o Primeiro Simpósio Brasileiro de Energia Solar foi realizado em 1958. O conhecimento em microeletrônica foi usado para dar início ao desenvolvimento de células solares de silício cristalino na Universidade de São Paulo (USP). As atividades foram centradas na produção de lingotes de silício monocristalino utilizando o processo Czochralski (Si-CZ), o qual, quando usado para fazer células solares, produzia dispositivos com uma eficiência de 12,5% (PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., 2014).

Com o passar dos anos, o crescimento tecnológico do Brasil no campo da energia solar fotovoltaica, chegou a ser equiparado ao dos principais países do mundo nos anos 70, graças à crise internacional do petróleo, que motivou a aceleração das pesquisas nacionais (Portal Solar, 2021). Entretanto, em meados da década de 80,

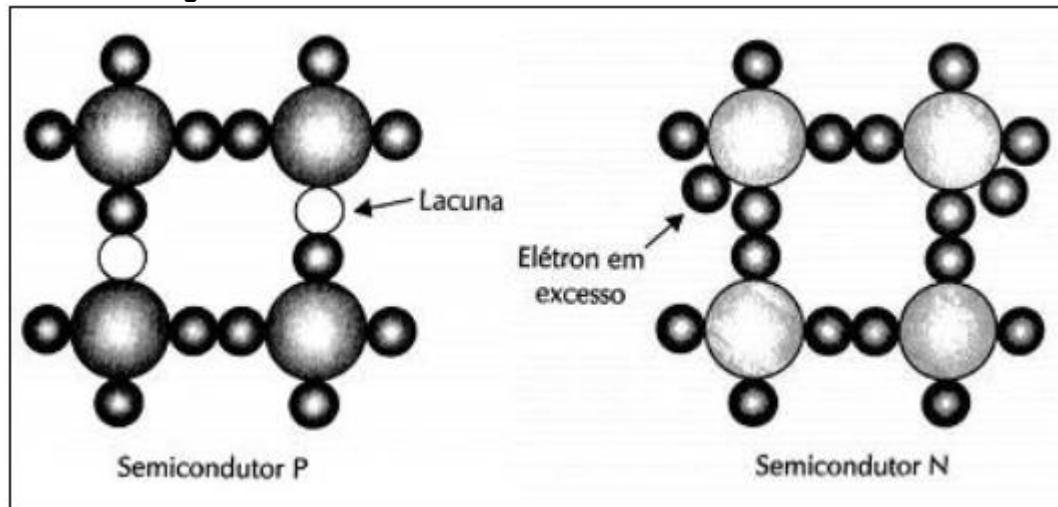
devido à falta de incentivos do governo no ramo, pesquisadores alteraram seus focos de pesquisas para outros campos. A partir de então, foi uma longa batalha entre interesses internos e o aperfeiçoamento das tecnologias que envolviam energia solar fotovoltaica, o que resultou em um atraso frente aos países desenvolvidos, mesmo sendo um dos países com grande vantagem de radiação solar. (PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., 2014).

4.3 Células Fotovoltaicas

O efeito fotovoltaico produz energia elétrica a partir da conversão direta da luz solar por meio de materiais semicondutores, que se distinguem pela presença de faixas de valência, permitindo a passagem de elétrons, e faixas de condução, que estão vazias. Os fótons incidentes que colidem com os átomos dos materiais semicondutores provocam a movimentação de elétrons, que é como funcionam as células fotovoltaicas. Estes elétrons “livres” podem ser explorados como corrente elétrica se eles puderem ser aprisionados antes de retornar aos seus orbitais atômicos (COMETTA, 1978).

O silício é o material semicondutor mais utilizado para confecção das células fotovoltaicas porque seus átomos têm quatro elétrons na camada de valência, que se ligam com os elétrons dos átomos próximos para formar uma rede cristalina. O quartzo mineral é utilizado para extrair o silício necessário na produção de células solares. Praticamente todas as células fotovoltaicas da atualidade são fabricadas a partir desse material e o Brasil é um dos maiores produtores mundiais. Detentor das maiores reservas de quartzo de alta qualidade do mundo, o Brasil possui um dos maiores depósitos de silício da Terra, no entanto, a purificação e produção de células de silício não é feita no país, o que ainda mantém esses equipamentos a um alto custo (FATOR, 2016).

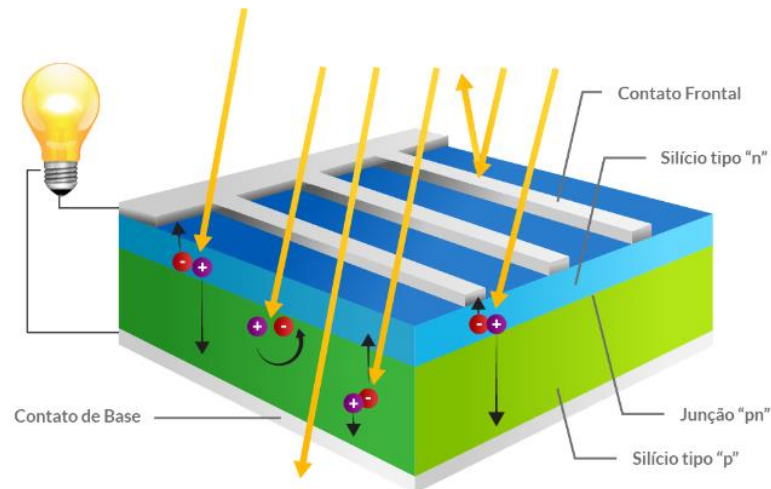
Figura 4 - Estruturas moleculares de semicondutores P e N.



Fonte: VILLALVA E GAZOLI (2012).

A dopagem do silício ocorre conforme a figura 4, quando elementos com cinco ou três elétrons de ligação são adicionados a esta malha cristalina. Os primeiros têm um elétron que está fracamente conectado a seu átomo de origem, facilitando sua separação do átomo com baixa energia térmica (semicondutor tipo N). Em contraste, elementos com três elétrons na camada de valência requerem um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício (semicondutor tipo P), e um elétron viaja para esta posição com pouca energia térmica. Para formar uma célula solar são unidos os dois tipos de semicondutores (Junção-PN). Este fluxo de elétrons produz uma diferença potencial, na qual o acúmulo de elétrons de um lado torna-se negativo e a falta de elétrons do outro lado produz uma diferença potencial positiva (CRESESB-CEPEL, 2006).

Figura 5 - Representação do funcionamento de uma célula fotovoltaica de silício cristalizado.



Fonte: BLUE SOL (2019).

Quando essa polaridade é exposta a fótons com energia maior que a diferença de potencial, as cargas são aceleradas e então é gerado uma circulação de elétrons, ou seja, uma corrente elétrica (MATAVELLI, A.C, 2013).

4.4 Componentes de um sistema fotovoltaico

Um sistema fotovoltaico é composto de três partes: um gerador, um bloco de condicionamento de energia e, se desejado, um bloco de armazenamento. Os arranjos fotovoltaicos, que são compostos por módulos solares em várias configurações, fiação elétrica e a estrutura de suporte, estão todos alojados no bloco gerador. Conversores, inversores, controladores de carga e outros dispositivos de proteção podem ser encontrados no bloco de condicionamento de energia. Finalmente, as baterias ou outros acumuladores elétricos compõem o bloco de armazenamento (PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., 2014).

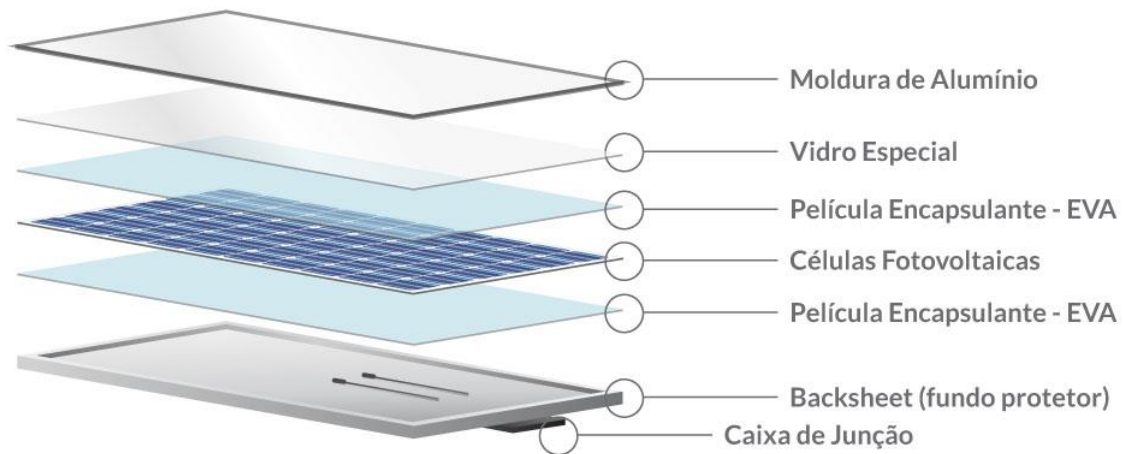
4.4.1 Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são compostos por células solares que são acopladas em configurações precisas para produzir tensão e corrente suficientes para o uso prático da energia (PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., 2014).

As tensões de circuito aberto em módulos solares são tipicamente em torno de 20V, tornando-os ideais para carregar baterias de 12V em sistemas autônomos. Os módulos em projetos conectados à rede elétrica geralmente operam em tensões mais altas, em torno de 95V, para corresponder às tensões da rede elétrica, que

normalmente são 110V ou 220V. Em qualquer caso, as combinações em série ou em paralelo de muitos módulos são normalmente empregadas para atingir as tensões e correntes apropriadas para atingir a potência instalada do projeto (RÜTHER, 2004).

Figura 6 - Módulo Fotovoltaico



Fonte: BLUE SOL (2019).

A quantidade de corrente elétrica produzida por sua célula é proporcional ao seu tamanho, pois a corrente elétrica é exatamente proporcional à quantidade de radiação solar na área de cada célula. Como resultado, quanto maior a superfície, maior a radiação solar captada e, conseqüentemente, maior a corrente fornecida (VILLALVA, 2015).

4.4.2 Inversores

O inversor solar é um equipamento cuja finalidade principal é converter a energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos, de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). Ele torna o sistema compatível com as redes de distribuição de energia e dispositivos elétricos e eletrônicos, além de garantir maior segurança ao sistema e realização de medições (PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., 2014). Para gerar esta corrente CA existe um dispositivo no inversor que se chama comutador, que tem por finalidade a quebra da corrente contínua em pulsos senoidais (BRAGA, 2008, p. 18).

Um bom inversor para sistemas fotovoltaicos deve possuir uma alta eficiência de conversão atrelada com confiabilidade e baixa necessidade de manutenção. Geralmente esses equipamentos operam com ampla faixa de tensão de entrada e apresentam boa regulação na saída. Além disso, um bom inversor precisa contar com baixa emissão de ruído e baixa interferência eletromagnética, principalmente quando instalados em edificações residenciais. É de extrema importância que o inversor traga segurança tanto para as pessoas, quanto para a própria instalação (PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., 2014).

4.4.3 Baterias

As baterias são acumuladores eletroquímicos capazes de armazenar uma certa quantidade de energia por meio dos processos de oxidação e redução. Esses dispositivos de armazenamento de energia são necessários em sistemas fotovoltaicos isolados para suprir a demanda nos períodos em que a geração é nula ou insuficiente. Isso geralmente ocorre em dias de chuva e nublados, com baixos níveis de irradiância solar. Como resultado, o armazenamento proporciona que parte da energia solar convertida em eletricidade pelos módulos fotovoltaicos, seja usada para suprir a demanda em momentos em que a geração é insatisfatória (PINHO, J. T.; GALDINO, M. A., 2014). Além disso, as baterias têm potencial de estabilização de corrente e tensão na hora de alimentar cargas elétricas, suprimindo transitórios inesperados que possam ocorrer na geração (Portal Solar, 2018).

4.5 Geração Distribuída

Existem três tipos de geração fotovoltaica: geração centralizada, isolada e distribuída. A centralizada é abastecida por geração em larga escala e é disponibilizada por meio do sistema de transmissão. Quando uma geração de energia local remota atua como fonte de abastecimento em um local, ela é chamada de geração isolada. Já a geração distribuída, é a geração de energia que se caracteriza por estar próxima do consumidor, onde o sistema está conectado à rede pública de distribuição, injetando a energia excedente diretamente na rede e sendo compensada por créditos nas futuras contas de eletricidade (NEVES, 2021).

Como dito, a geração distribuída mantém o consumidor ligado paralelamente à rede, dessa forma, esse tipo de geração resulta em uma maior garantia de

suprimento para a unidade consumidora, ao mesmo tempo que contribui para a economia no sistema de transmissão nacional, além de reduzir as perdas do sistema em geral. Esta geração também é independente de potência, tecnologia e fonte de energia, de acordo com a INEE. Cogeneradores, painéis solares, geradores de emergência e pequenas usinas de energia são todos exemplos de projetos que podem realizar a GD (WRIGHT, J. T. C.; SPERS, R. G, 2009).

Após a introdução da geração distribuída em março de 2004 pela Lei nº 10.848, a ANEEL instituiu um método de controle e medição da energia elétrica produzida, pela distinção de micro e minigeração. O método foi instaurado pela Resolução Normativa ANEEL nº482/2012 e posteriormente foi aperfeiçoado pela Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015, onde foi instituído que os parâmetros limites da microgeração e a minigeração funcionam da seguinte forma: até 75kW é considerado microgeração e desse ponto, até 5 MW, minigeração. Quando a energia elétrica solar é produzida em períodos de consumo reduzido, ou seja, quando a produção supera a demanda, o excedente é convertido em créditos de clientes junto à distribuidora e esses créditos podem ser utilizados em até 60 meses (NEVES, 2021).

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar), o Brasil terá 2 GW de geração distribuída de energia instalada até janeiro de 2020. No entanto, segundo a Absolar, o total inclui sistemas dispersos de microgeração e minigeração em residências e empresas, instalações comerciais, propriedades rurais, utilidades e pequenos terrenos. Dentre toda geração distribuída instalada no país, a geração por fonte solar fotovoltaica compreende aproximadamente 99,8%, o que mostra a importância dessa resolução normativa como incentivo para o setor de energia solar (Portal Solar, 2018).

Existem dois tipos diferentes de operações na geração distribuída, um dos tipos é a geração *off-grid* que apresenta um auto armazenamento energético e não está conectada à rede, e a geração *On-grid* que está diretamente conectada à rede. A Resolução Normativa 482/2012 no Brasil delimitou as condições gerais da geração distribuída, incluindo o acesso à micro e minigeração distribuída e a compensação de crédito com distribuidores (NEVES, 2021).

4.6 Viabilidade Econômico-financeira

A viabilidade econômica tem como principal objetivo analisar os custos e os benefícios do projeto a fim de determinar se ele é viável ou não (CAMARGO, 2017). Já a viabilidade financeira, estipula um valor determinado de investimento necessário para um projeto a partir da análise das receitas, despesas, rendimentos, desembolsos etc. Além das despesas e lucros, a viabilidade financeira permite determinar se o tempo e o dinheiro necessários para implementar o projeto é viável para seus investidores. Esse elemento exhibe estatísticas reais sobre o provável retorno financeiro com base na infusão de dinheiro e análise de mercado (SEBRAE,2019).

Frente ao exposto, alguns elementos são empregados para calcular os resultados da viabilidade econômico-financeira, dentre eles o método *Payback* (retorno sobre investimento), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

4.6.1 Payback

Uma das estratégias mais básicas de avaliação de investimentos é a abordagem de *payback*. Esse elemento indica a o período essencial para que o fluxo operacional de caixa do projeto recupere o valor a ser investido, ou em outras palavras, a quantidade de tempo que uma empresa leva para recuperar seu investimento inicial.

Existem dois tipos de *payback*, o simples e o descontado. O *payback* simples ignora o valor do dinheiro no tempo, isentando a taxa de desconto e penalizando projetos de longo prazo. Em contraste, o *payback* descontado, como o nome já diz, considera uma taxa de desconto que é aplicada no fluxo de caixa futuro com intuito de corrigir o valor do dinheiro em projetos que o tempo influencia na sensibilidade do negócio (LIMA,2019).

4.6.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente do fluxo de caixa operacional do projeto é definido como o valor presente líquido. Se o valor presente líquido de um investimento (VPL) for positivo ($VPL > 0$), a proposta é viável, o que significa que o dinheiro investido será reembolsado e, quanto maior for o valor do VPL, melhor será o projeto. O projeto é

rejeitado se o resultado do VPL for negativo ($VPL < 0$), indicando que o investimento não é economicamente factível.

$$VPL = FC_0 + \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \frac{FC_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (3)$$

Com:

FC é o fluxo de caixa livre de determinado período.

FC_0 é o fluxo de caixa inicial (investimento).

i é a taxa de desconto

4.6.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno está sempre presente quando se trata de viabilidade financeira, representando um percentual em que o fluxo de caixa operacional é igual ao montante a ser investido no projeto. Em outras palavras, a TIR é a taxa na qual o VPL é igualado a zero. Normalmente, esse elemento de viabilidade é calculado a partir do método de tentativa e erro, sendo assim, o resultado é normalmente descoberto usando planilhas eletrônicas, software especializado e calculadoras financeiras.

$$0 = -FC_0 + \frac{FC_1}{(1+TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^2} + \frac{FC_3}{(1+TIR)^3} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} \quad (4)$$

Com:

FC é o fluxo de caixa livre de determinado período.

FC_0 é o fluxo de caixa inicial (investimento).

TIR é a taxa interna de retorno.

Ao calcular a TIR do respectivo projeto, é possível averiguar a rentabilidade sem contar com fatores de mercado (externos). Quanto maior for a taxa encontrada, melhor será o projeto. Outro objetivo fundamental da TIR é encontrar uma taxa de juros que torne o VPL nulo ou positivo quando aplicado a fluxos de caixa futuros. Quando se espera um determinado retorno, a TIR deve ser igual ou superior a essa exigência para que o investimento seja viável.

5 METODOLOGIA

5.1 Apresentação do local em estudo

O edifício residencial em estudo está localizado na rua Floriano Peixoto 178, bairro Barbosa (CEP: 17501-442), na cidade de Marília, interior do estado de São Paulo. A localização geográfica do empreendimento está situada nas coordenadas 22°13'20.96''S de latitude e 49°56'45.14''O de longitude e pode ser vista por satélite conforme a figura 7.

Figura 7 – Edifício residencial em estudo.



Fonte: Google Earth (2021)

O empreendimento é subdividido em 20 andares, compreendendo 80 apartamentos, sendo 4 elevadores distribuídos simetricamente, levando os moradores aos 4 apartamentos por andar. Os apartamentos contêm 3 suítes, 3 salas (estar, *home theater* e jantar), podendo ainda optar pela versão de 2 suítes e 2 dormitórios, home office, varanda gourmet fechada e interligada com cozinha, áreas de serviços e depósito privativo. Além disso, o edifício abrange 2.000 m² de área reservada ao lazer

dos condôminos, com brinquedoteca, churrasqueira, academia, sauna, jardim de inverno, piscina, *playground*, salão de jogos e dois salões de festas.

5.2 Estudo da irradiação local.

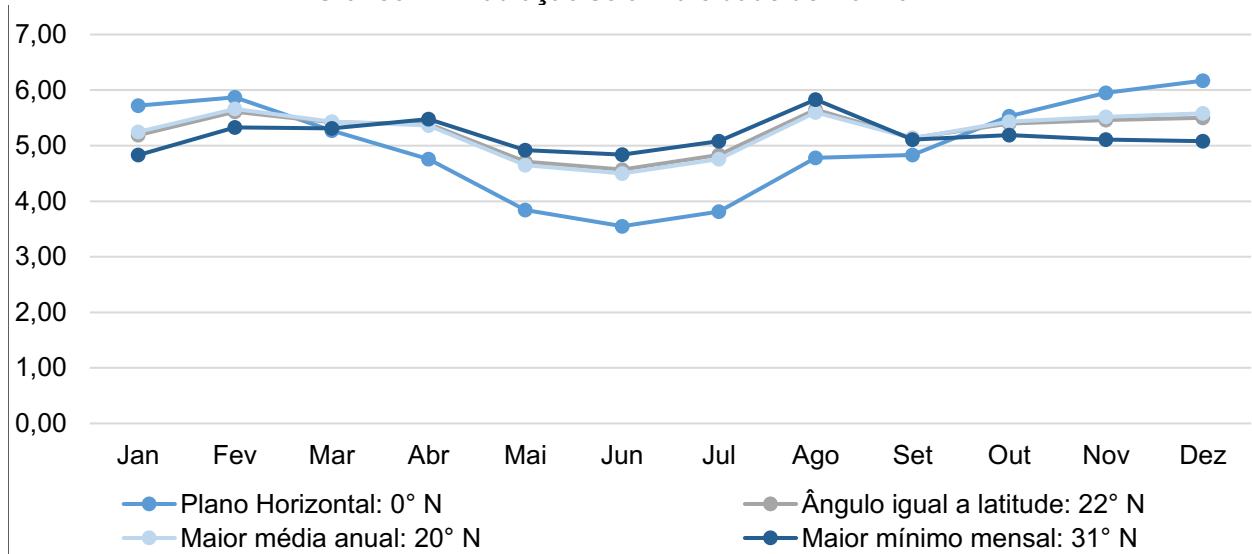
Para o dimensionamento ideal do sistema de geração, é de extrema importância a avaliação da irradiação que atua em determinada localidade. Para o estudo em pauta, dados foram coletados no site da CRESESB por meio do sistema *SunData 3.0* que avalia a irradiação solar diária média mensal de acordo com as coordenadas descritas. Sendo assim, os dados referentes a estação Marília, SP – Brasil, com uma distância de 4,9 quilômetros do ponto de referência, estão destacados na tabela 1 e gráfico 1:

Tabela 1 - Irradiação solar na cidade de Marília

Ângulo: Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal: 0° N	5,72	5,87	5,27	4,76	3,84	3,55	3,81	4,78	4,83	5,53	5,95	6,17	5,01	2,62
Ângulo igual a latitude: 22° N	5,19	5,61	5,42	5,39	4,71	4,57	4,83	5,65	5,14	5,40	5,46	5,50	5,24	1,08
Maior média anual: 20° N	5,25	5,66	5,43	5,36	4,65	4,50	4,76	5,60	5,13	5,43	5,52	5,58	5,24	1,16
Maior mínimo mensal: 31° N	4,83	5,33	5,31	5,48	4,92	4,84	5,08	5,83	5,11	5,19	5,11	5,08	5,18	0,99

Fonte: CRESESB *SunData* (2018)

Gráfico 1 - Irradiação solar na cidade de Marília



Fonte: CRESESB *SunData* (2018)

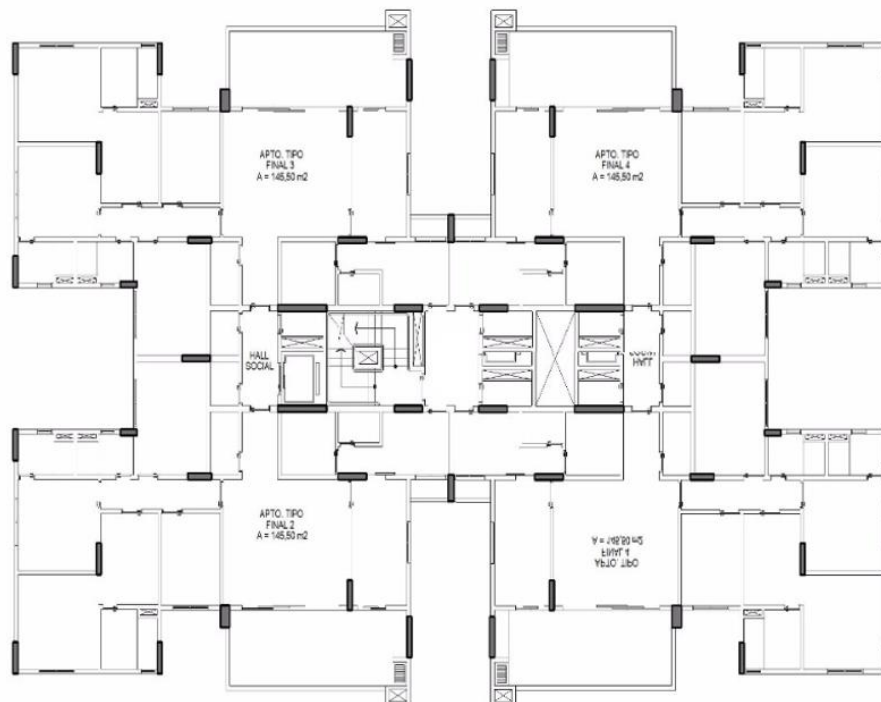
Os dados obtidos mostram a irradiação de acordo com o respectivo ângulo de inclinação, dessa forma pode-se aferir um melhor posicionamento dos módulos

fotovoltaicos, direcionando-os perpendicularmente aos raios solares com intuito de obter maior rendimento possível. Considerando a inclinação dos módulos a 22 graus para o norte, onde é observado uma alta média de irradiação de $5,24 \frac{kWh}{m^2}$ em paridade a uma baixa variação entre os meses, observada no gráfico e com desvio padrão de 1,08. Dentre esses parâmetros, a maior média anual de irradiação na localidade é referente ao mês de agosto $5,65 \frac{kWh}{m^2}$, já a menor média $4,57 \frac{kWh}{m^2}$, é relativa ao mês de junho. Por meio desses dados, é possível estimar a necessidade de geração do edifício frente aos meses do ano, além de poder projetar a utilização dos créditos energéticos em meses mais frios e com menor capacidade de geração fotovoltaica (CRESESB-CEPEL, 2018).

5.3 Análise da área de implantação do sistema.

O local de implantação do sistema de geração fotovoltaica será no telhado do edifício. O telhado do empreendimento é compreendido entre os mais altos do entorno, ou seja, sombras ou outros tipos de interferências externas fixas serão desconsideradas. O layout da cobertura pode ser visto na figura 8 abaixo:

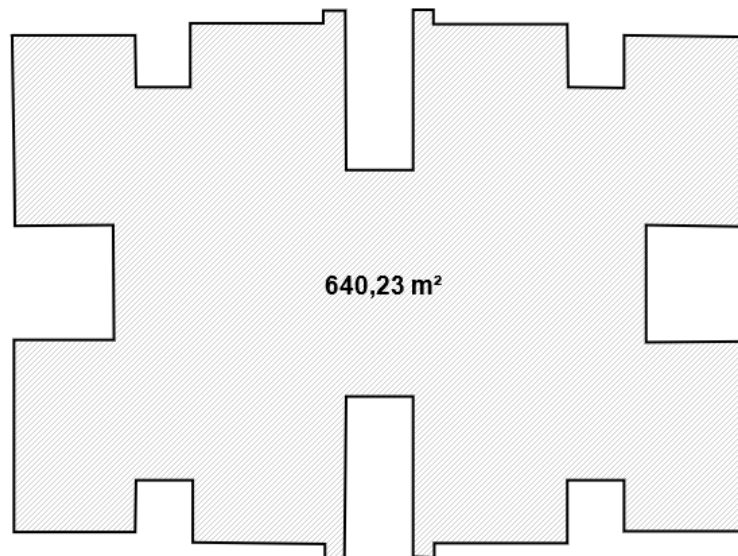
Figura 8 - Projeto do edifício residencial em estudo.



Fonte: Pontual (2022)

A simetria da planta possibilitará uma distribuição dos painéis em 4 setores iguais, todos disponibilizados na mesma direção. A área total do telhado é de 640,23 m² e a área útil para implantação da geração será determinada a partir dos resultados obtidos com os cálculos de necessidade de geração, sendo assim, será concluído o número exato de módulos necessários para cada setor e sua disposição espacial na cobertura do prédio. Abaixo, pode-se ver na figura 9, a distribuição do telhado.

Figura 9 – Área do edifício residencial em estudo.

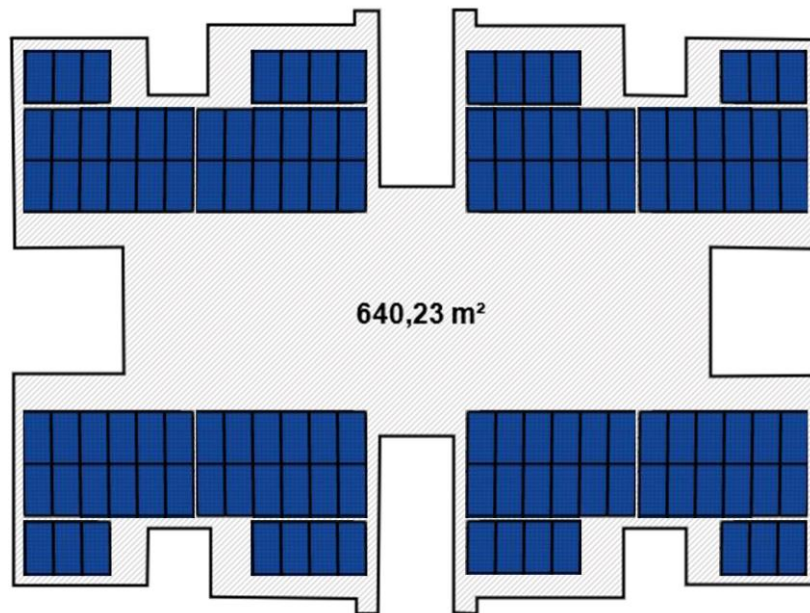


Fonte: Autoria própria (2022).

Ao avaliar a área, chega-se ao valor total de irradiação no telhado do prédio. A partir da análise do consumo total do edifício em um ano, pode-se estimar a necessidade de área de geração e a quantidade de módulos necessários para a implantação do projeto.

Para confecção do estudo, foi realizado um orçamento de um projeto para instalação de geração energia fotovoltaica conectada à rede elétrica com base na necessidade de geração do edifício. A disposição dos painéis foi distribuída simetricamente no telhado do edifício conforme a figura 10.

Figura 10– Disposição dos painéis no edifício residencial em estudo.



Fonte: Cedido pela empresa (2022).

Esse projeto foi comparado com o consumo energético padrão, sem geração fotovoltaica para avaliar o quanto da energia gerada vai abater das contas de luz convencionais.

5.4 Consumo de energia elétrica.

O levantamento energético é comparativo. Em primeira instância, foi feita a coleta de dados do edifício residencial de 20 andares que não contém o sistema de geração fotovoltaica. Em contraste, o projeto de instalação de energia solar orçado apresenta dados médios de geração média para um sistema fotovoltaico. Dessa forma, é possível avaliar a capacidade de geração frente ao consumo no decorrer dos meses do ano, avaliando os meses que gerarão saldo energético e meses que o consumo acabará superando.

A tabela 2 abaixo apresenta dados de consumo e custos de energia elétrica frente aos 12 meses do ano de 2021, de um edifício sem geração de energia:

Tabela 2 - Levantamento de gasto de eletricidade em um edifício residencial sem implantação do sistema de geração fotovoltaica.

Consumo		
Mês de 2021	Custo Total (R\$)	Consumo Total (kWh)
Janeiro	5.435,78	5.653,21
Fevereiro	5.191,36	5.399,01
Março	5.178,28	5.385,41

Abril	4.968,96	5.167,72
Maio	5.089,37	5.292,94
Junho	3.448,82	3.586,77
Julho	4.237,32	4.406,81
Agosto	4.112,32	4.276,81
Setembro	4.359,26	4.533,63
Outubro	4.274,41	4.445,38
Novembro	4.118,32	4.283,05
Dezembro	4.891,98	5.087,66
Total	55.306,17	57.518,41

Fonte: Controle de administração (2021).

De acordo com os dados fornecidos, o consumo total anual da edificação é de 57.518,41 kWh e os gastos no ano de 2021 com energia elétrica foram de R\$55.306,17.

5.5 Implantação do sistema.

A partir de uma pesquisa de mercado com diferentes empresas de energia solar, foi constatado o melhor projeto de instalação fotovoltaica, frente aos custos e capacidade de geração.

O projeto conta com a instalação em rede trifásica de 220V, de:

- 124 painéis solares Jinko de 440 W (monocristalino)
- 02 inversores Growatt 380V de 25kW
- 01 autotransformador de 380/220V de 50 kVA
- Estrutura de laje com serralheria para inclinação dos painéis
- Kit de estrutura solar para telhado, cabeamento solar, *string box*
- Monitoramento online via *wi-fi* da geração de energia por aplicativo
- Projeto de licenciamento junto a concessionária, troca do medidor e Anotação de Responsabilidade Técnica (ART).
- Mão de obra de instalação

O orçamento aprova que, para os painéis, a garantia será de 12 anos contra defeitos de fabricação e 25 anos de até 80% da eficiência. Já para os inversores, a garantia é de 5 anos contra defeitos de fabricação. Sendo assim, a modelagem financeira atende um prazo de 25 anos, imaginando que a partir de então a eficiência do sistema será severamente comprometida.

Outro dado importante para o estudo de viabilidade econômico-financeira é o valor inicial do investimento. O custo do projeto completo é de R\$ 234.850,00 para pagamento à vista, atingindo um valor de R\$ 4,30 para o Watt-pico instalado. Foi apresentado uma simulação de financiamento com carência de dois meses e esse tipo de pagamento foi estipulado dentro do próprio orçamento, aprovando quitação em até 5 anos. A simulação pode ser vista abaixo, na tabela 3:

Tabela 3 - Simulação de financiamento do projeto com carência de 60 dias.

Simulação de financiamento	
12x	22.240,97
24x	11.970,66
36x	8.450,02
48x	6.921,35
60x	5.997,09

Fonte: Cedido pela empresa (2022).

A partir de então, foi realizado simulações de cenários para avaliar diferentes condições de pagamentos do investimento. Além disso, a análise de cenários avalia aspectos otimistas, prováveis e pessimistas a fim de ampliar as margens de erro do investimento e trazer segurança frente a adversidades macroeconômicas, climáticas e de instalação que possam ocorrer no modelo real.

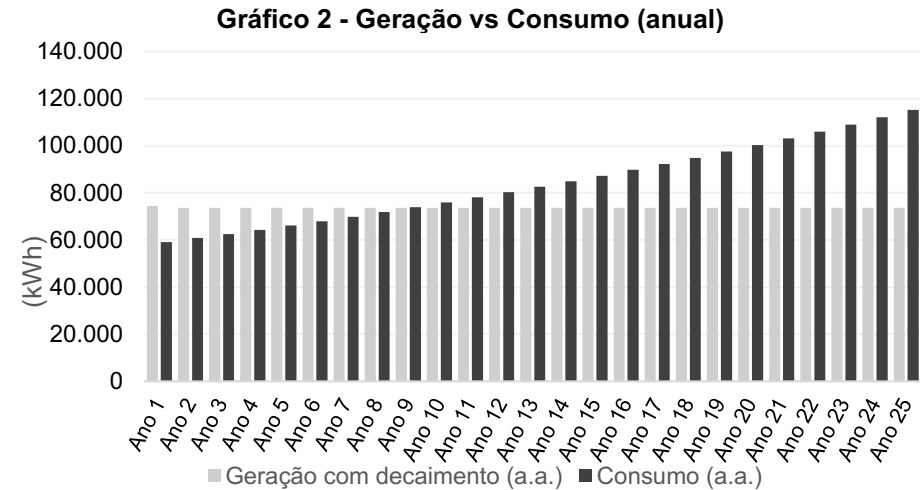
6 RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos através da análise de viabilidade econômico-financeira para a implantação de energia fotovoltaica no edifício residencial em estudo.

6.1 Projeto do sistema de geração fotovoltaica.

Diante do orçamento de projeto de implantação de geração fotovoltaica, elaborado pela empresa de energia solar, para o edifício residencial em estudo, foi levado em consideração a Resolução Normativa nº 482, que foi tornada acessível pela ANEEL em 2012. Para a execução do orçamento, o sistema fotovoltaico sugerido foi o *on-grid* (ligado à rede de energia), compensando os créditos energéticos quando a geração superasse o consumo. Ou seja, quando há mais energia produzida do que consumida, todo o excesso de energia irá compensar os períodos em que a geração é inferior. Quando houver maior consumo do que geração, como por exemplo à noite quando não há incidência de luz solar, esta energia será "emprestada" ao concessionário e devolvida. As baterias não são necessárias neste cenário, porque a rede de energia elétrica funcionará como uma reserva energética.

Foi considerado no orçamento uma potência instalada de 54.560 Watt-pico, frente a um consumo médio mensal de 6.200 kWh referente ao ano de 2021. A geração é variável dependendo de alterações climáticas, mas tem como base uma média de 6.200 kWh. A fim de avaliar a geração frente ao consumo, foi considerado como premissas valores de crescimento do consumo (média do crescimento de consumo mundial nos últimos vinte anos) e de decaimento de geração (depreciação média anual dos equipamentos). O gráfico 2 apresenta uma projeção dos próximos 25 anos.



Fonte: Controle de administração (2021).

Analisando o gráfico 2, resta claro que, com o passar dos anos, o consumo irá superar a geração e a economia com a conta de luz vai diminuir gradativamente.

6.2 Análise de viabilidade.

Foi utilizado os métodos de *Payback*, Valor Presente Líquido - VPL e Taxa Interna de Retorno - TIR para avaliar a viabilidade econômica do projeto. Aplicou-se projeções macroeconômicas de longo prazo (ITAÚ, 2022) na análise de viabilidade, definindo como premissa para o investimento uma Taxa Mínima de Atratividade - TMA de 110% do Certificado de Depósito Interbancário – CDI anual.

6.2.1 Payback

Para analisar o método de *Payback*, é necessário avaliar o fluxo de caixa operacional e determinar o período em que este fluxo recupere o valor investido. Como dito, foi empregado uma Taxa Mínima de Atratividade para descontar o fluxo de caixa operacional do projeto orçado e dessa maneira, pode-se encontrar o *Payback* descontado.

Foi utilizado o software Excel para realizar os cálculos com mais precisão. A fim de simplificar os números apresentados, os cálculos foram feitos sem considerar nenhum financiamento. Sendo assim, somente foi avaliado o pagamento do valor orçado à vista e então, foi analisado os diferentes cenários.

O resultado obtido para o cenário pessimista (mais conservador) foi de 4 anos para o *Payback* simples e 6 anos para o *Payback* descontado, os valores podem ser vistos abaixo na tabela 4.

Tabela 4 - Payback simples e descontado do cenário pessimista.

Anos	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa acumulado	Valor Presente	Valor Presente acumulado
1	-R\$ 189.370	-R\$ 189.370	-R\$ 189.370	-R\$ 189.370
2	R\$ 46.944	-R\$ 142.426	R\$ 41.847	-R\$ 147.522
3	R\$ 47.626	-R\$ 94.800	R\$ 38.934	-R\$ 108.588
4	R\$ 48.022	-R\$ 46.778	R\$ 36.851	-R\$ 71.738
5	R\$ 48.409	R\$ 1.632	R\$ 34.353	-R\$ 37.384
6	R\$ 48.787	R\$ 50.418	R\$ 31.777	-R\$ 5.608
7	R\$ 49.154	R\$ 99.572	R\$ 29.385	R\$ 23.777
8	R\$ 49.509	R\$ 149.082	R\$ 27.165	R\$ 50.942
9	R\$ 49.852	R\$ 198.934	R\$ 25.106	R\$ 76.048
10	R\$ 50.180	R\$ 249.114	R\$ 23.194	R\$ 99.242
11	R\$ 50.493	R\$ 299.607	R\$ 21.421	R\$ 120.663
12	R\$ 50.789	R\$ 350.396	R\$ 19.776	R\$ 140.439
13	R\$ 51.066	R\$ 401.462	R\$ 18.250	R\$ 158.689
14	R\$ 51.323	R\$ 452.785	R\$ 16.834	R\$ 175.524
15	R\$ 51.557	R\$ 504.342	R\$ 15.522	R\$ 191.045
16	R\$ 51.767	R\$ 556.109	R\$ 14.304	R\$ 205.350
17	R\$ 51.951	R\$ 608.059	R\$ 13.175	R\$ 218.525
18	R\$ 52.105	R\$ 660.165	R\$ 12.129	R\$ 230.654
19	R\$ 52.229	R\$ 712.394	R\$ 11.159	R\$ 241.812
20	R\$ 52.319	R\$ 764.713	R\$ 10.259	R\$ 252.072
21	R\$ 52.372	R\$ 817.085	R\$ 9.426	R\$ 261.497
22	R\$ 52.385	R\$ 869.470	R\$ 8.653	R\$ 270.151
23	R\$ 52.356	R\$ 921.826	R\$ 7.938	R\$ 278.089
24	R\$ 52.280	R\$ 974.105	R\$ 7.275	R\$ 285.364
25	R\$ 52.153	R\$ 1.026.258	R\$ 6.661	R\$ 292.025

Fonte: Autoria própria (2022)

Para o cenário provável, o resultado também foi de 4 anos para o *Payback* simples, já para o método descontado, o resultado foi reduzido para 5 anos, fator que melhora o apetite para a realização do investimento. Pode-se observar os valores destacados na tabela 5.

Tabela 5 - Payback simples e descontado do cenário provável.

Anos	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa acumulado	Valor Presente	Valor Presente acumulado
1	-R\$ 188.196	-R\$ 188.196	-R\$ 188.196	-R\$ 188.196

2	R\$ 49.423	-R\$ 138.773	R\$ 44.058	-R\$ 144.138
3	R\$ 51.456	-R\$ 87.316	R\$ 42.065	-R\$ 102.073
4	R\$ 53.255	-R\$ 34.062	R\$ 40.866	-R\$ 61.207
5	R\$ 55.106	R\$ 21.045	R\$ 39.106	-R\$ 22.101
6	R\$ 57.012	R\$ 78.057	R\$ 37.134	R\$ 15.033
7	R\$ 58.974	R\$ 137.032	R\$ 35.256	R\$ 50.289
8	R\$ 60.994	R\$ 198.025	R\$ 33.467	R\$ 83.755
9	R\$ 63.073	R\$ 261.098	R\$ 31.764	R\$ 115.519
10	R\$ 65.213	R\$ 326.311	R\$ 30.143	R\$ 145.662
11	R\$ 67.416	R\$ 393.727	R\$ 28.600	R\$ 174.262
12	R\$ 69.683	R\$ 463.410	R\$ 27.133	R\$ 201.395
13	R\$ 72.017	R\$ 535.427	R\$ 25.737	R\$ 227.132
14	R\$ 74.420	R\$ 609.847	R\$ 24.411	R\$ 251.543
15	R\$ 76.893	R\$ 686.739	R\$ 23.149	R\$ 274.692
16	R\$ 79.438	R\$ 766.177	R\$ 21.950	R\$ 296.642
17	R\$ 82.058	R\$ 848.235	R\$ 20.811	R\$ 317.453
18	R\$ 84.755	R\$ 932.990	R\$ 19.729	R\$ 337.182
19	R\$ 87.531	R\$ 1.020.521	R\$ 18.701	R\$ 355.883
20	R\$ 90.388	R\$ 1.110.909	R\$ 17.724	R\$ 373.607
21	R\$ 93.329	R\$ 1.204.237	R\$ 16.797	R\$ 390.404
22	R\$ 96.356	R\$ 1.300.593	R\$ 15.917	R\$ 406.321
23	R\$ 99.471	R\$ 1.400.065	R\$ 15.081	R\$ 421.402
24	R\$ 102.678	R\$ 1.502.743	R\$ 14.288	R\$ 435.690
25	R\$ 105.979	R\$ 1.608.721	R\$ 13.536	R\$ 449.226

Fonte: Autoria própria (2022)

Por fim o cenário otimista, o qual é apresentado na tabela 6. Nota-se que o *Payback* simples continuou retornando o investimento em 4 anos e o *Payback* descontado em 5 anos. A variação ocorre frente aos meses, retornando o valor do projeto meses antes que os outros cenários.

Tabela 6 - Payback simples e descontado do cenário otimista.

Anos	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa acumulado	Valor Presente	Valor Presente acumulado
1	-R\$ 187.023	-R\$ 187.023	-R\$ 187.023	-R\$ 187.023
2	R\$ 51.937	-R\$ 135.086	R\$ 46.299	-R\$ 140.725
3	R\$ 55.403	-R\$ 79.684	R\$ 45.291	-R\$ 95.434
4	R\$ 58.736	-R\$ 20.948	R\$ 45.072	-R\$ 50.362
5	R\$ 62.237	R\$ 41.289	R\$ 44.166	-R\$ 6.195
6	R\$ 65.914	R\$ 107.203	R\$ 42.932	R\$ 36.737
7	R\$ 69.776	R\$ 176.979	R\$ 41.713	R\$ 78.450
8	R\$ 73.831	R\$ 250.810	R\$ 40.510	R\$ 118.960
9	R\$ 78.091	R\$ 328.901	R\$ 39.327	R\$ 158.287
10	R\$ 82.565	R\$ 411.466	R\$ 38.163	R\$ 196.450
11	R\$ 87.263	R\$ 498.729	R\$ 37.020	R\$ 233.470
12	R\$ 92.197	R\$ 590.925	R\$ 35.899	R\$ 269.369
13	R\$ 97.379	R\$ 688.304	R\$ 34.801	R\$ 304.170
14	R\$ 102.821	R\$ 791.125	R\$ 33.726	R\$ 337.897
15	R\$ 108.536	R\$ 899.660	R\$ 32.676	R\$ 370.572

16	R\$ 114.537	R\$ 1.014.198	R\$ 31.649	R\$ 402.221
17	R\$ 120.840	R\$ 1.135.038	R\$ 30.647	R\$ 432.868
18	R\$ 127.460	R\$ 1.262.498	R\$ 29.669	R\$ 462.537
19	R\$ 134.411	R\$ 1.396.909	R\$ 28.716	R\$ 491.254
20	R\$ 141.711	R\$ 1.538.620	R\$ 27.788	R\$ 519.042
21	R\$ 149.377	R\$ 1.687.996	R\$ 26.884	R\$ 545.926
22	R\$ 157.427	R\$ 1.845.424	R\$ 26.005	R\$ 571.931
23	R\$ 165.881	R\$ 2.011.305	R\$ 25.150	R\$ 597.081
24	R\$ 174.759	R\$ 2.186.064	R\$ 24.319	R\$ 621.400
25	R\$ 184.082	R\$ 2.370.146	R\$ 23.511	R\$ 644.911

Fonte: Autoria própria (2022)

6.2.2 Valor Presente Líquido - VPL

A partir da projeção de longo prazo para a curva CDI e considerando todo período de 25 anos, foi calculado o VPL para cada cenário. Para encontrar os respectivos VPL's, foi utilizado o software Excel para somar o investimento inicial do projeto com as entradas do fluxo de caixa descontado pela TMA.

Pode-se analisar que, em todos os casos o investimento é viável, pois o resultado é positivo. Sendo assim, resta claro que o investimento trará retornos significativos para qualquer condição de pagamento apresentada, tanto à vista no valor de R\$ 234.850,00, quanto no maior dos parcelamentos, o qual totaliza um pagamento de R\$ 359.825 em 5 anos. Na tabela 7 abaixo, pode-se observar o Valor Presente Líquido para os diferentes cenários.

Tabela 7 - Valor Presente Líquido em diferentes cenários e condições de pagamento.

Pagamento	Valor Presente Líquido					
	À vista	Financiado (12x)	Financiado (24x)	Financiado (36x)	Financiado (48x)	Financiado (60x)
Pessimista	R\$ 292.024,63	R\$ 246.287,42	R\$ 232.757,50	R\$ 222.546,56	R\$ 196.526,02	R\$ 172.214,74
Provável	R\$ 449.225,76	R\$ 403.488,54	R\$ 389.958,63	R\$ 379.747,69	R\$ 353.727,14	R\$ 329.415,86
Otimista	R\$ 644.910,99	R\$ 599.173,77	R\$ 585.643,86	R\$ 575.432,92	R\$ 549.412,37	R\$ 525.101,09

Fonte: Autoria própria (2022)

6.2.3 Taxa Interna de Retorno - TIR

A Taxa Interna de Retorno – TIR foi calculada com a ajuda de uma função do Excel que avalia qual a taxa de desconto do investimento que iguala o VPL a 0. Sendo assim, foi simulado diferentes cenários e condições de pagamento para determinar as diferentes TIR's que seria possível alcançar com o projeto.

Os resultados obtidos variam frente ao período que se leva para quitar o valor do projeto além disso, os cenários, que estão atrelados à curva Índice Nacional de Preços do Consumidor Amplo – IPCA e diferentes decaimentos de geração, são relevantes frente ao financiamento. Pode-se observar na tabela 8 que, a condição de pagamento é uma sensibilidade frente ao montante total a ser investido, mas não afeta consideravelmente os retornos, logo que estes não variam linearmente em relação ao prazo de pagamento.

Tabela 8 - Taxa Interna de Retorno

	Cenário x Condição de pagamento (meses)					
	À vista	12x	24x	36x	48x	60x
Pessimista	25,53%	21,11%	21,11%	21,63%	20,70%	19,81%
Provável	29,72%	25,13%	25,65%	26,82%	26,52%	26,32%
Otimista	33,69%	28,89%	29,92%	31,79%	32,17%	32,76%

Fonte: Autoria própria (2022).

7 DISCUSSÃO

Perante o atual mundo globalizado, o qual apresenta uma necessidade de implementar métodos para limitar a emissão de gases com efeito estufa, nomeadamente os causados por fontes de energia fóssil, a utilização de energia elétrica se tornou um *input* essencial para o desenvolvimento econômico de qualquer país. No Brasil, observa-se essa evolução acontecendo ainda de forma discreta frente à matriz elétrica do país. Entretanto, os números seguem crescendo de forma constante e ganhando cada vez mais relevância com os estudos e resultados que estão sendo obtidos.

Além da questão ambiental e sustentável do sistema de implantação fotovoltaica, resultados econômico-financeiros estão atraindo cada vez mais o olhar dos investidores. Basta avaliar os números desta análise de implantação em edifícios residenciais que se chega rapidamente à um investimento viável e com retornos significativos, tanto para o bolso do investidor, quanto para o planeta.

Devido a sua adaptabilidade e simplicidade, a implantação de geração fotovoltaica em edifícios residenciais oferece aos consumidores uma diminuição dos seus próprios custos associados aos preços elevados da eletricidade, bem como um benefício ambiental significativo e de longo prazo.

Espera-se que o estudo dissemine a ideia de implantar o sistema de geração, não só em edifícios residenciais, mas em diversos meios que se há possibilidade hoje em dia. Dessa forma, além de reduzir as despesas com energia elétrica e agregar valor ao imóvel, pode-se encaminhar o planeta para um patamar mais sustentável e de melhor diversificação energética, reduzindo os danos ambientais e sociais causados pela falta de alternativas.

8 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a instalação de um sistema de produção de energia solar num edifício residencial é prática e proporciona o benefício de reduzir a dependência da eletricidade fornecida pelo distribuidor. Tanto nos piores cenários como nos melhores, a energia solar tem demonstrado ser cada vez mais uma solução prática para gerar retorno financeiro, frente a utilização de energia limpa e sustentável.

A análise optou por dimensionar a geração fotovoltaica para atender os primeiros anos de demanda por energia do edifício, tendo em conta a atual legislação brasileira, que estabelece um prazo de 60 (sessenta) meses para a utilização dos créditos de energia elétrica provenientes do excesso de geração de energia solar fotovoltaica. Mesmo com um projeto extremamente conservador, foi visto que a implantação de geração fotovoltaica em um prédio de 20 andares agrega muito valor à edificação e aos que usufruem da energia dele.

O projeto exigiu um investimento de R\$ 234.850,00 com um retorno médio do capital em 5 anos. A taxa de retorno superou a taxa mínima de atratividade em todos os cenários, o que mostra o quanto esse tipo de geração é eficiente e valioso. Os resultados dos valores presentes líquidos, mostraram que o projeto de instalação de energia solar fotovoltaica é uma boa alternativa para a redução de custos e diversificação energética. Apesar de tantos resultados otimistas, o valor inicial do investimento é alto e vale salientar que, mesmo com essa necessidade de capital, o edifício continuará a necessitar de eletricidade da rede principal da Enel porque em certo momento, o decaimento de geração e o aumento do consumo fará com que a produção passe a ser ultrapassada pela demanda energética do edifício.

Considerando o projeto apresentado no orçamento, resta claro que, há a viabilidade para o investimento e mesmo com alto custo inicial, a longa garantia e as diferentes formas de financiamento analisadas tornam mais fácil a implantação de geração fotovoltaica em um edifício residencial. Por fim, como se trata de um investimento de longo prazo, além dos relevantes retornos apresentados e da valorização do imóvel, o sistema trás segurança financeira contra a inflação energética e oscilações severas de cenários macroeconômicos.

REFERÊNCIAS

- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração distribuída ultrapassa 20 mil conexões**. 2018. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 07 mar. 2022.
- BALFOUR, John; SHAW, Michael; NASH, Nicole Bremer. **Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos**. R. Ana Guimarães, 92 - Rocha, Rio de Janeiro - Rj: Ltc, 2016. 272 p. Tradução de: Luiz Claudio de Queiroz Faria.
- BLOOMBERG. Energia solar, eólica e baterias devem atrair \$10 trilhões até 2050. **Bloomberg**. 19 jun. 2019. Disponível em: <https://www.bloomberg.com.br/blog/energia-solar-eolica-e-baterias-devem-atrair-10-trilhoes-ate-2050/>. Acesso em: 09 mar. 2022.
- BLUE SOL. **Célula Fotovoltaica: O guia técnico absolutamente completo**. 2019. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- BRAGA, Renata Pereira. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. 2008. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001103.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2022.
- BRASIL. Governo do Brasil. **Brasil é referência no campo da energia limpa e renovável**: Com 48% de fontes renováveis na matriz energética, o Brasil trabalha para ampliar a produção de energia renovável e sustentável. [Brasília]: [DPE], 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/10/brasil-e-referencia-no-campo-da-energia-limpa-e-renovavel>. Acesso em: 03 mar. 2022.
- CAMARGO, Renata Freitas de. **Tudo que você precisa saber sobre como estruturar um demonstrativo de fluxo de caixa**. 2017. Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/estudo-de-viabilidade-economica-e-financeira-de-projetos/>. Acesso em: 30 maio 2022.
- CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica). Consumo de energia elétrica cresce 4,1% em 2021, aponta CCEE. **CCEE**. 19 jan. 2022. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/perfil-segmentado/comercializacao>. Acesso em: 03 mar. 2022.
- COMETTA, Emilio. **Energia Solar: Utilização e empregos práticos**. Tradução: Norberto de Paula Lima. São Paulo: Hemus Livraria Editora Limitada, 1978.
- CRESESB-CEPEL. **Energia solar: Princípios e aplicações**. [S.l.], 2006. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf. Acesso em: 14 mar. 2022.
- CRESESB-CEPEL. **Potencial Solar: SunData v3.0**. 2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 4 jun. 2022.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica 2021**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 4 abr. 2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro, 2012.

FATOR, Solar. **Conheça o silício: matéria-prima das placas fotovoltaicas e abundante no Brasil**. 2016. Disponível em: <http://fatorsolar.eco.br/conheca-o-silicio-materia-prima-das-placas-fotovoltaicas-e-abundante-no-brasil/>. Acesso em: 12 mai. 2022.

IEA (International Energy Agency). Monthly Electricity Statistics: Overview. **IEA**. 14 jan. 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/monthly-electricity-statistics-overview>. Acesso em: 03 mai. 2022.

IST, Instituto Superior Técnico. **Breve história da energia solar**. Lisboa, 2004. Disponível em: <http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html>. Acesso em: 14 mai. 2022.

ITAÚ (ITAÚ BBA). Projeções: Longo Prazo – Outubro 2022. **ITAÚ**. 07 de outubro de 2022. Disponível em: <https://www.itaubba.com.br/itaubba-pt/analises-economicas/projecoes>. Acesso em: 07 out. 2022.

LIMA, F. R. S. **Viabilidade econômica e financeira de projetos**. Fabiano Roberto Santos de Lima. Volta Redonda, RJ: FERP, 2019. 144 p. 2019.

MATAVELLI, A.C. **Energia solar: geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas**. 2013. 34p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. Lorena: 2013.

NEVES, J. J. C. **Estudo de viabilidade econômica para a implantação de um sistema de geração solar em uma indústria de pequeno porte**. 2021. 56 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecatrônica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

PEREIRA, E. B. et al. Atlas brasileiro de energia solar. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80 p. Disponível em: https://cenariosolar.editorabrasilenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_compressed.pdf

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-cresesb, 2014. 530 f. PORTAL SOLAR. Tipo de Painel Solar Fotovoltaico. 2018. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 22 mai. 2022.

PONTUAL IMÓVEIS. **Apartamento Zurich**. Marília, 2022. Disponível em: <https://www.pontualimoveismarilia.com.br/empreendimento/apartamento-zurich/sp/marilia/21695>. Acesso em: 01 jun. 2022

PORTAL SOLAR. **Como funciona o sistema fotovoltaico com back-up de baterias**. 2018. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-energia-solar.html>. Acesso em: 14 abr. 2022.

PORTAL SOLAR. **Geração distribuída de energia**. 2018. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>. Acesso em: 02 jun. 2022.

PORTAL SOLAR. **História e origem da energia solar**. 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/historia-e-origem-da-energia-solar> Acesso em: 04 abr. 2022.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em: 04 abr. 2022.

RAI - Revista de Administração e Inovação, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 108-125, 2009.
WRIGHT, J. T. C.; SPERS, R. G. O país no futuro: aspectos metodológicos e cenários. In: **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 20, n. 56, p. 13-28, 2006.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1ª ed. Florianópolis: UFSC; LABSOLAR, 2004.

SANTOS, Leon. Startups: Elas dão o ritmo de crescimento na pandemia. **Revista Brasileira de Administração**, São Paulo, n. 140, p. 50- 52, jan-fev.2021.

SEBRAE. **Viabilidade Financeira**. 2019. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/pr/artigos/viabilidade-financeira,4e8ccd18a819d610VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso em: 30 maio 2022.

SENTELHAS, P.C.; ANGELOCCI, L.R. **Radiação Solar: Balanço de Energia**. 2012. Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Aula5_2012.pdf.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2016.

Universidade de São Paulo (USP). **Energia Solar**. 2013. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015. 224 p.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2012.

WRIGHT, J. T. C.; SPERS, R. G. Tecnologias disruptivas de geração distribuída e seus impactos futuros sobre empresas de energia. **Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 108-125, 2009.