

# AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM RESIDÊNCIAS

**Tatiele Martins Amaral**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

[tatiele.martins@ufms.br](mailto:tatiele.martins@ufms.br)

**Prof. Dr. Jamson Justi (Orientador)**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

[jamson.justi@ufms.br](mailto:jamson.justi@ufms.br)

## RESUMO

A implementação da energia fotovoltaica em residências vem se destacando e ganhando cada vez mais visibilidade no país. As placas fotovoltaicas são cada vez mais tecnológicas e eficientes, proporcionando diversos benefícios aos domicílios. Dessa forma este trabalho tem como principal objetivo discutir a viabilidade de implantação de energia fotovoltaica em residências por meio de indicadores financeiros. Ademais, a pesquisa é caracterizada como qualitativa, a qual se discute quais são os tipos de análises necessárias para definir se o projeto de implementação do sistema fotovoltaico é viável ou não. É um estudo caracterizado como bibliográfico. A pesquisa identificou importantes indicadores financeiros capazes de demonstrar a viabilidade da aplicação das placas no domicílio. Que são eles: o VPL, a TIR, o TMA e o Payback de investimento. Além disso, as bandeiras tarifárias também são uma ótima aliada dessa implementação e vale ser levada em conta como fator decisório para execução de um projeto de energia solar.

**Palavras-chave:** Energia fotovoltaica, indicadores financeiros, residências brasileiras.

## ABSTRACT

The implementation of photovoltaic energy in homes has been highlighted and gaining more and more visibility in the country. Photovoltaic panels are increasingly technological and efficient, providing several benefits to households. Therefore, this work's main objective is to discuss the feasibility of implementing photovoltaic energy in homes through financial indicators. Furthermore, the research is characterized as qualitative, which discusses the types of analyzes necessary to define whether the photovoltaic system implementation project is viable or not. It is a study characterized as bibliographic. The research identified important financial indicators capable of demonstrating the feasibility of applying the plates at home. They are: NPV, IRR, TMA and Investment Payback. Furthermore, tariff flags are also a great ally in this implementation and are worth taking into account as a decision-making factor when implementing a solar energy project.

**Keywords:** Photovoltaic energy, financial indicators, Brazilian homes.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil a energia fotovoltaica tem se destacado positivamente, e tem desempenhado um papel crucial na busca pela diversificação da matriz energética do país. A geração de energia hidrelétrica por muito tempo e ainda hoje tem sido a principal fonte de energia do Brasil, mas a sua utilização exclusiva e o crescimento da energia hidrelétrica enfrentam obstáculos devido às restrições ambientais associadas à construção de usinas, e a uma possível crise de escassez de água a ser enfrentada pelo País. A energia fotovoltaica surge como alternativa sustentável e renovável para a diversificação da matriz elétrica brasileira.

A abundante presença de radiação solar no Brasil é um fator decisivo no aproveitamento da energia solar e na implementação da tecnologia fotovoltaica em todo o país. E, por meio da criação da Resolução Normativa da ANEEL nº 1059/2023 coloca em vigência a Lei n. 14.300/2022, a qual permite a viabilidade da microgeração e minigeração de energia residencial. Esta tornou-se uma realidade concreta, possibilitando que indivíduos produzam sua própria energia em seus lares, elevando a autossuficiência energética da população (Aneel, 2023).

Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar, 2023), no Brasil em cerca de um ano em 2022 a energia solar teve um aumento expressivo de 110% em sua potência instalada por diversos tipos de propriedades em todo o território nacional. Além disso, a análise do tempo de retorno financeiro sobre os sistemas fotovoltaicos são de suma importância para que decisões sejam tomadas baseado nos benefícios financeiros futuros. Entender em quanto tempo o retorno financeiro do investimento acontecerá, trará benefícios onde o proprietário poderá avaliar se o período de retorno se adequa ou não às suas expectativas e aos objetivos financeiros.

As placas fotovoltaicas estão cada vez mais tecnológicas. A procura incessante por maior eficiência e menores custos melhoram os módulos solares que fazem parte da rotina de indústrias de energia solar em todo o mundo (Bayod-Rújula; Lorente-Lafuente; Cirez-Oto, 2011). Ademais, no âmbito dos benefícios decorrentes dessa modalidade de geração, torna-se compreensível que a energia solar se alinha harmoniosamente com a redução da exploração dos recursos naturais, promovendo uma diminuição da poluição atmosférica. Em contextos empresariais e residenciais, essa forma de energia revela-se extremamente favorável, respaldada por uma gama de fatores que incluem, exemplificativamente, incentivos governamentais, alicerces da sustentabilidade ambiental, eis que tal é sua primordial vantagem, bem como a instalação descomplicada que lhe é inerente (Gonzaga, 2019).

Portanto, este trabalho tem como principal objetivo discutir a viabilidade de

implantação de energia fotovoltaica em residências por meio de indicadores financeiros.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Benefícios da energia solar**

A utilização da energia solar possui diversos pontos positivos ao ser utilizada. Entende-se que as energias renováveis são aquelas que são possíveis de serem regeneradas, o que as tornam inesgotáveis. Além disso, o impacto ambiental da energia solar é relativamente baixo se comparado aos combustíveis fósseis. A aplicação desse tipo de energia não gera emissões de gases de efeito estufa, nem a componentes que prejudiquem de alguma forma o meio ambiente, o que conseqüentemente auxilia no combate da mudança climática (Cosbey, 2011).

Além disso, compreende-se que a energia solar compactua com a diminuição da exploração dos recursos naturais e é capaz de diminuir a poluição ascendente. Nos ambientes empresariais e residenciais essa fonte de energia se torna favorável por diversos fatores, como por exemplo: incentivos governamentais, sustentabilidade ambiental e a fácil instalação (Costa, 2020).

Outro ponto muito importante a ser levado em conta é que o Brasil é detentor de uma riqueza natural, por ser um país tropical. Na maior parte dos meses há Sol em suas regiões. Esse fator, compactua benéficamente com a produção de energia solar no país.

A energia solar também se destaca ao falar sobre a economia, sua segura forma de gerar energia elétrica e por ser um fornecimento de energia de forma limpa e sustentável. Além de que uma grande vantagem da energia solar reside na sua capacidade de ser utilizada de forma descentralizada, o que promove o crescimento social e econômico em todas as áreas, ao mesmo tempo em que evita despesas e impactos ambientais associados às extensas linhas de transmissão de energia (Shayani, 2006).

### **2.2 Possibilidade de geração de crédito**

O considerável crescimento da energia solar no Brasil e no mundo se deu principalmente aos incentivos sobre a possibilidade de injetar energia excedente na rede, abatendo créditos. Essa permite que o sistema de compensação de energia elétrica aconteça (Aneel, 2023).

A possibilidade de geração de créditos por meio da aplicação das placas fotovoltaicas de energia solar é considerada um dos grandes benefícios de sua utilização. Quando ocorre do sistema produzir mais energia do que o necessário para atender a demanda solicitada, o

excedente é enviado para rede elétrica, contabilizando assim os chamados créditos de energia. Já quando acontece de toda a energia gerada ser consumida, ou quando o consumo é maior do que a produção, o pagamento é realizado apenas sobre a energia consumida na rede, descontando assim os créditos disponíveis (Aneel, 2023).

Quando se fala sobre autoconsumo remoto, a geração de créditos pode ser passada para consumidores de titularidade de uma mesma pessoa física ou jurídica, incluídas matrizes ou filiais nesse contexto, e ter um sistema de microgeração ou minigeração distribuído e instalado em um local diferente das unidades consumidoras que utilizam o excedente de energia e fazem parte da modalidade de participação do SCEE (Sistema de Compensação de Energia Elétrica). Além disso, pode acontecer o acúmulo dos créditos remanescentes com o intuito de diminuir as contas de energia. Esse sistema de compensação é uma forma de incentivo à adoção da energia solar permitindo assim que a população tenha uma significativa redução de suas despesas energéticas de uma ou mais propriedades (Aneel, 2023).

Os créditos de energia contabilizados ao consumidor são em kWh (quilowatt-hora) e seu acúmulo é contabilizado mensalmente.

### **2.3 Consumo de energia nas residências**

O consumo de energia elétrica em residências pode ser alterado por diversos fatores, como a quantidade de pessoas residentes, tempo de permanência da população nas residências ou a taxa de consumo diante da quantidade ou do tempo de uso de um equipamento. No Brasil, devido a sua grande diversidade cultural, econômica e climática a depender da região, os hábitos de consumo são bem diversificados (Epe, 2023).

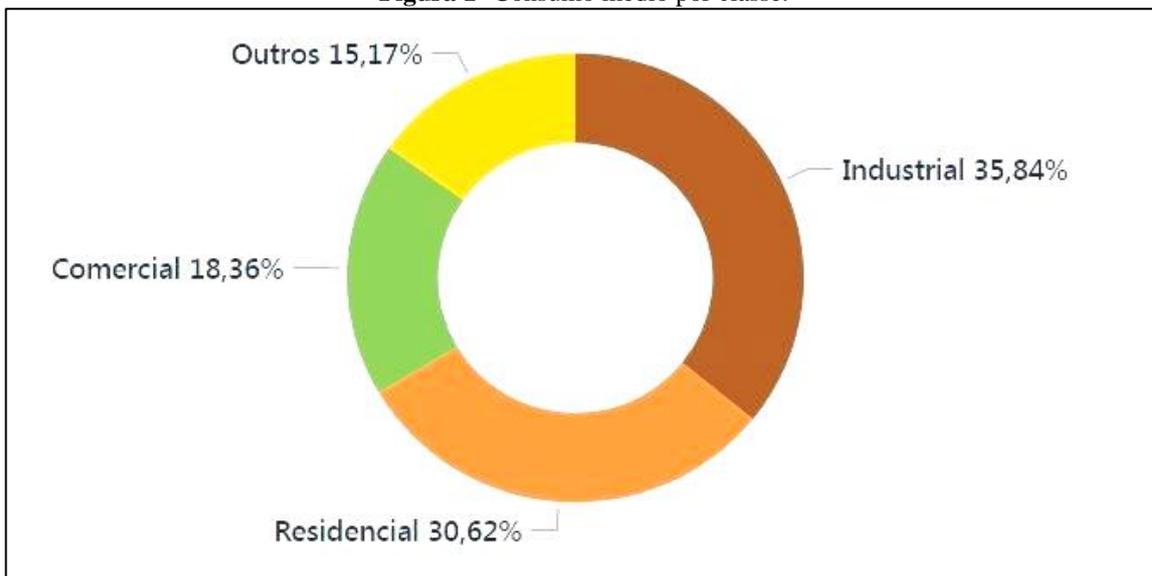
A EPE (Empresa de Pesquisa Energética) disponibiliza arquivos atualizados do consumo tanto mensal quanto anual de energia elétrica no Brasil. A Figura 1 mostra o consumo médio por classe no Brasil no ano de 2023.

O consumo de residências no Brasil teve sua expansão em destaque quando comparado a indústrias e ao comércio em 2023. A classe de consumo residencial teve um aumento de 3,5% de expansão no primeiro trimestre do ano. Esse aumento pode ser explicado quando visto alguns fatores como por exemplo clima seco em algumas regiões, a diminuição de tarifas de energia elétrica e também o aumento da base de consumidores (Epe, 2023).

Dado aumento, alcançou um valor total de 41,3 TWh. Alguns importantes fatores podem ter contribuído para esse aumento, como a adoção de iniciativas voltadas para a diminuição de desperdícios por algumas distribuidoras. Além disso, nesse ano a base de

consumidores residenciais teve um aumento devido a um reenquadramento de clientes de diferentes classes para a classe de residências, além de um fator que deve ser levado em consideração que foi a redução das tarifas de energia elétrica, o que contribui diretamente ou indiretamente para o aumento desse consumo (Epe, 2023).

**Figura 1- Consumo médio por classe.**



**Fonte:** Epe (2023).

O consumo de energia elétrica residencial vem se alterando ao decorrer dos anos devido a fatores diversos. A Figura 2 demonstra o Consumo residencial médio (kWh/mês) onde é possível observar as variações do consumo residencial brasileiro desde o segundo semestre de 2015 até o primeiro trimestre de 2023.

**Figura 2 – Consumo residencial médio (kWh/mês).**



**Fonte:** Epe (2023).

Neste estudo, explora-se o consumo energético em ambientes residenciais, um aspecto essencial na gestão eficiente de recursos energéticos. Antes de analisar em detalhes os padrões de consumo, a figura a seguir representa a potência média de diversos aparelhos utilizados em residências. Esta figura oferece uma visão clara e informativa das demandas energéticas típicas desses aparelhos.

É de suma importância compreender quais variáveis estão relacionadas ao consumo de energia elétrica quando utilizamos dispositivos elétricos, e como essa utilização impacta o valor da conta de energia ao final do período. Resumidamente, as principais variáveis envolvidas são a potência nominal do aparelho e a duração de seu uso ao longo de um período específico, que, no caso da fatura de energia elétrica, corresponde ao período mensal. Essas variáveis determinam se o aparelho terá um impacto maior ou menor no custo total da conta de energia elétrica, uma vez que a energia é mensurada em unidades de quilowatt-hora (kWh) (Furlanetto, 2001).

Para que esse cálculo seja realizado, tem-se a seguinte fórmula:

$$KWh = P \times t$$

Onde:

$P$  = Potência elétrica em Watts (W).

$t$  = tempo de uso em horas (h).

A Tabela 1 apresenta a potência média dos aparelhos residenciais comuns segundo a Companhia Energética de Minas Gerais. Ela detalha a quantidade de energia consumida em watts (W) por cada equipamento durante o seu funcionamento. Entre os exemplos listados estão o chuveiro elétrico, com variações de potência conforme a voltagem, eletrodomésticos como geladeiras, freezers e fogões elétricos, além de itens menores como liquidificadores e televisores. Essas informações são essenciais para ajudar os consumidores a entenderem o impacto dos aparelhos no consumo de energia elétrica em suas residências.

**Tabela 1-** Potência média de aparelhos residenciais.

<b>APARELHO</b>	<b>POTÊNCIA (W)</b>
Aspirador de pó residencial	<b>600</b>
Cafeteira elétrica pequena uso doméstico	<b>600</b>
Chuveiro elétrico 127V	<b>4400</b>
Chuveiro elétrico 220V	<b>6000</b>
Ferro elétrico simples de passar roupa	<b>1000</b>
Fogão comum com acendedor	<b>90</b>
Fogão elétrico de 4 bocas por cada queimador	<b>1500</b>
Forno microondas	<b>750</b>
Freezer vertical pequeno	<b>300</b>
Freezer horizontal médio	<b>400</b>
Geladeira comum	<b>250</b>
Geladeira Duplex	<b>300</b>
Liquidificador doméstico	<b>200</b>
Lâmpada Fluorescente de 40W	<b>40</b>
Máquina de lavar louças	<b>1500</b>
Sanduicheira	<b>640</b>
Secador de cabelos grande	<b>1250</b>
Televisor	<b>200</b>
Torneira elétrica	<b>2000</b>
Ventilador grande	<b>250</b>

**Fonte:** Adaptada de CEMIG Distribuição S.A (2020).

## **2.4 Equipamentos utilizados para geração de energia solar**

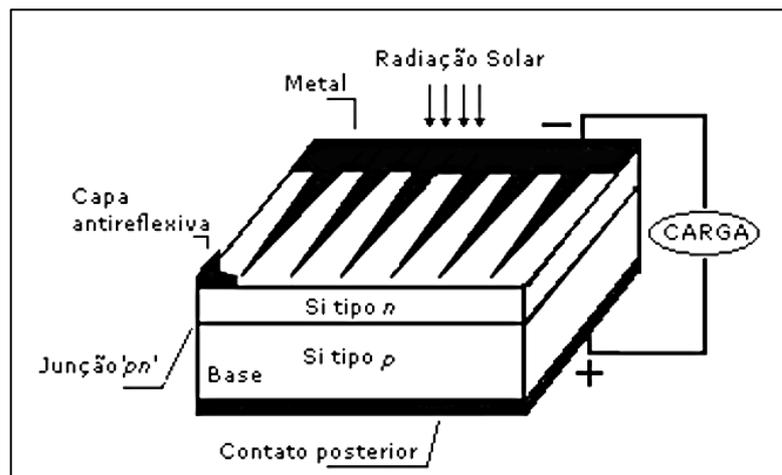
Os sistemas fotovoltaicos possuem diferentes tipos de categorias. Eles podem se caracterizar como isolados, híbridos ou como aqueles que são conectados a redes. Os sistemas isolados se dividem em algumas categorias, como: sistema CC isolado sem armazenamento de energia, sistema CC isolado com armazenamento de energia, sistema CA isolado com armazenamento de energia e o sistema CA isolado sem armazenamento de energia (De Leva, 2004).

Falando brevemente sobre cada um desses tipos de sistemas, o sistema CC isolado sem armazenamento de energia é aquele que toda a energia produzida é consumida automaticamente. Já o sistema CC com armazenamento, é capaz de armazenar a energia produzida e aproveitar esta futuramente quando necessário. Já os sistemas CA possuem basicamente as mesmas características dos CC, porém, nesses é necessário a utilização de um inversor entre o painel e a carga (De Leva, 2004).

São diversos os aparelhos necessários para o funcionamento de um sistema fotovoltaico. O material comumente utilizado nos módulos fotovoltaicos são células de silício, o qual é capaz de transformar os fótons dos raios solares em corrente elétrica contínua. Uma única célula produz níveis de energia muito baixos, por isso a junção de várias células para a criação de painéis é feita, com o intuito de aumentar a quantidade de energia produzida (De Leva, 2004).

A Figura abaixo demonstra como é uma estrutura de uma célula convencional.

**Figura 3**– Estrutura de uma célula de silício convencional.



Fonte: De Leva (2004).

Já os sistemas conectados à rede utilizam inversores de tensão, os quais estão totalmente ligados para que aconteça o condicionamento e sincronismo da saída do arranjo fotovoltaico com a rede de energia elétrica. Existem três tipos de inversores que são conectados à rede elétrica. Sendo eles: Inversor de um estágio, o qual o MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) e o controle de corrente são realizados em apenas um estágio. Há também o inversor de dois estágios, neste um conversor de corrente contínua otimiza o ponto de máxima potência, enquanto um conversor de corrente contínua para corrente alternada regula a quantidade de corrente enviada para a rede elétrica. E por fim, há o inversor de múltiplos estágios. Diversos

conversores de corrente contínua para corrente contínua são responsáveis pelo rastreamento do ponto de máxima potência, enquanto um único conversor de corrente contínua para corrente alternada controla a quantidade de corrente que é inserida na rede elétrica (Carrasco, 2006).

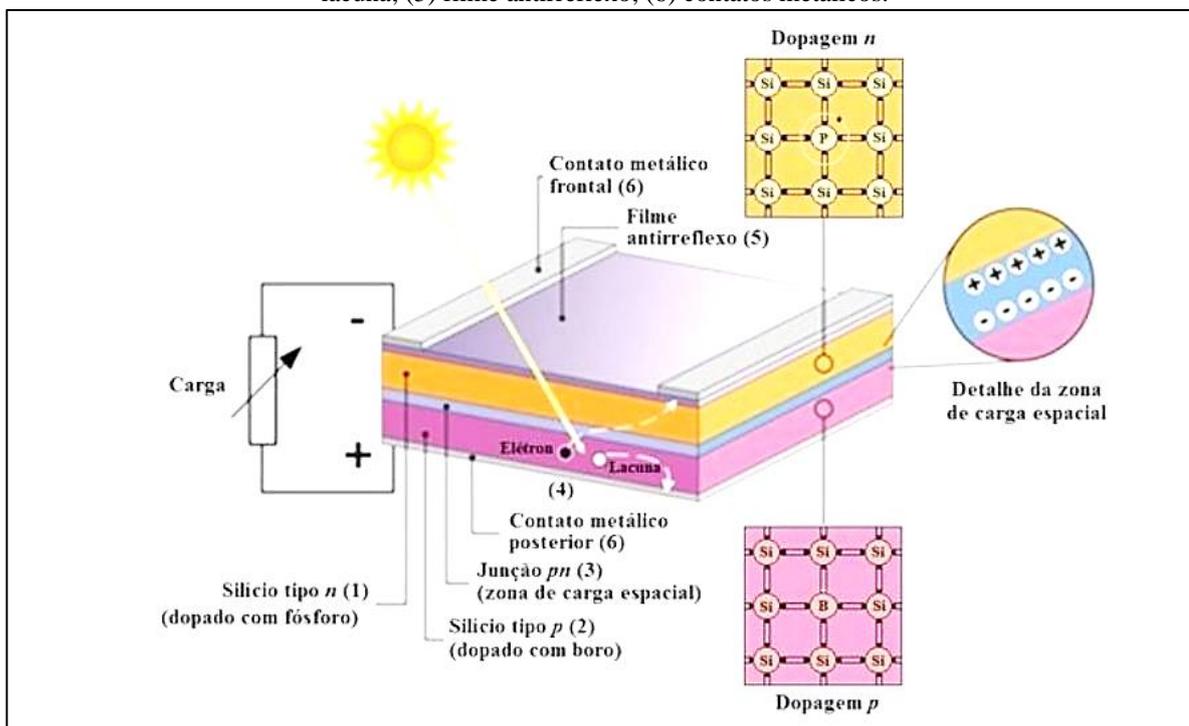
Além dos pontos acima, compreende-se que a distribuição dos módulos fotovoltaicos possuem diferentes configurações. Como por exemplo:

- **Inversores integrados:** Cada painel solar possui um inversor de tamanho reduzido. Esses inversores estão conectados em paralelo na saída de corrente alternada.
- **CC paralelo:** Conjuntos de painéis solares dispostos em linhas ou grupos estão ligados aos conversores que transformam corrente contínua. Todos esses conversores são alimentados por um único canal interno de corrente contínua, que por sua vez fornece energia a um conversor que transforma corrente contínua em corrente alternada.
- **CA paralelo:** Cada conjunto de painéis solares em forma de fileiras ou arranjos está ligado a seus próprios inversores dedicados. As saídas desses inversores individuais são então conectadas internamente em paralelo no lado de corrente alternada.
- **Inversor centralizado:** Painéis solares são conectados uns após os outros para criar uma linha contínua. Essas linhas são então interligadas lado a lado para compor um conjunto, o qual entrega energia ao canal de corrente contínua de um inversor.

O chamado efeito fotovoltaico se dá quando se tem a região a qual o campo elétrico é oposto de zero. Devido a junção 'pn' ser exposta a fótons, tem-se a produção de pares elétron-lacuna. A Figura 4 representa a estrutura física de uma junção pn a uma célula fotovoltaica (Pinho; Galdino, 2014).

O silício utilizado nas placas fotovoltaicas pode ser tanto monocristalino ( $m - Si$ ) quanto policristalino ( $p - Si$ ). No silício policristalino tem-se um único bloco composto por pequenos cristais. A eficiência deste é relativamente menor do que quando comparado às células de silício monocristalino. Já o silício monocristalino utiliza do silício ultrapuro, o qual necessita de um grau de pureza de 99,9999 (Pinho; Galdino, 2014).

**Figura 4-** Estrutura básica de uma célula fotovoltaica de silício destacando: (1) região tipo n; (2) região tipo p, (3) zona de carga espacial, onde se formou a junção pn e o campo elétrico; (4) geração de par elétron-lacuna; (5) filme antirreflexo; (6) contatos metálicos.



**Fonte:** Adaptada de (Moehleck e Zanesco, 2005).

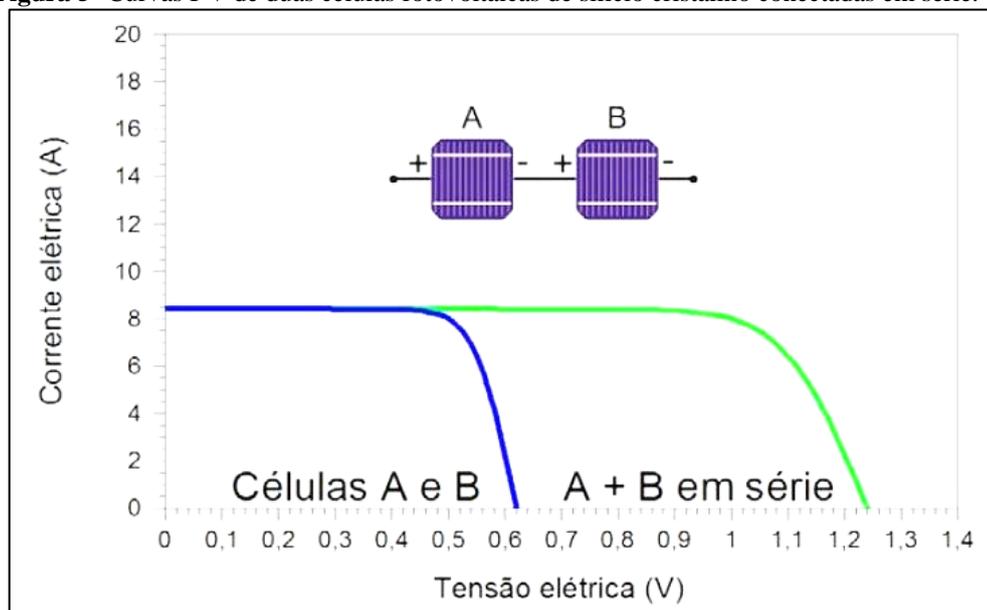
Os dispositivos fotovoltaicos podem ser organizados de duas formas, em paralelo ou em série. Estes dispositivos podem se diferenciar, podendo ser arranjos, células ou módulos. Na associação em série encontra-se o terminal com carga positiva de um dispositivo fotovoltaico o qual é interligado com o terminal de carga negativa do dispositivo subsequente, seguindo esse padrão ao longo da conexão. Já quando conectados em paralelo os terminais são conectados uns aos outros (Pinho; Galdino, 2014). As Figuras 5 e 6 mostram como funcionam as divisões comentadas anteriormente.

Contextualizando sobre os sistemas fotovoltaicos e retomando sobre sua categoria, qualifica-se a divisão dele em sistemas isolados ou conectados à rede. Os sistemas fotovoltaicos isolados necessitam de um processo para armazenamento de energia, podendo ser armazenada por uma bateria por exemplo. Já os sistemas híbridos são os que possuem mais de uma fonte energética para suprir as necessidades da residência. Para a utilização dos sistemas do tipo híbridos constam a necessidade do inversor (Pinho; Galdino, 2014).

Os Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares (SFD) apresentam as cargas e o gerador fotovoltaico como os seus principais componentes. Para que não se tenha falta de energia nos horários do dia que não há Sol, esse tipo de sistema precisa ter um acumulador o qual permita

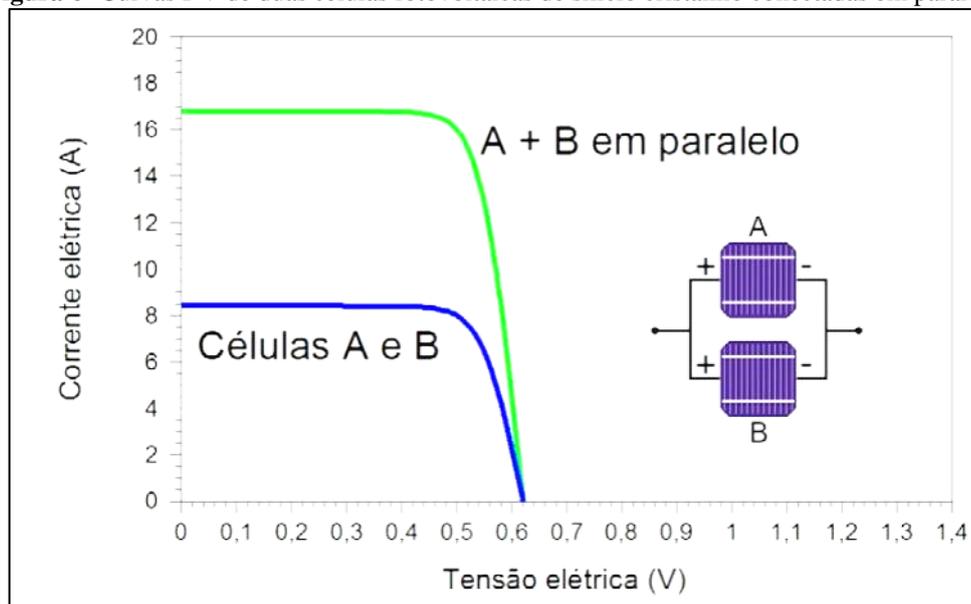
dissociar o horário de consumo do horário da geração (Pinho; Galdino, 2014).

**Figura 5-** Curvas I-V de duas células fotovoltaicas de silício cristalino conectadas em série.



Fonte: Pinho; Galdino (2014).

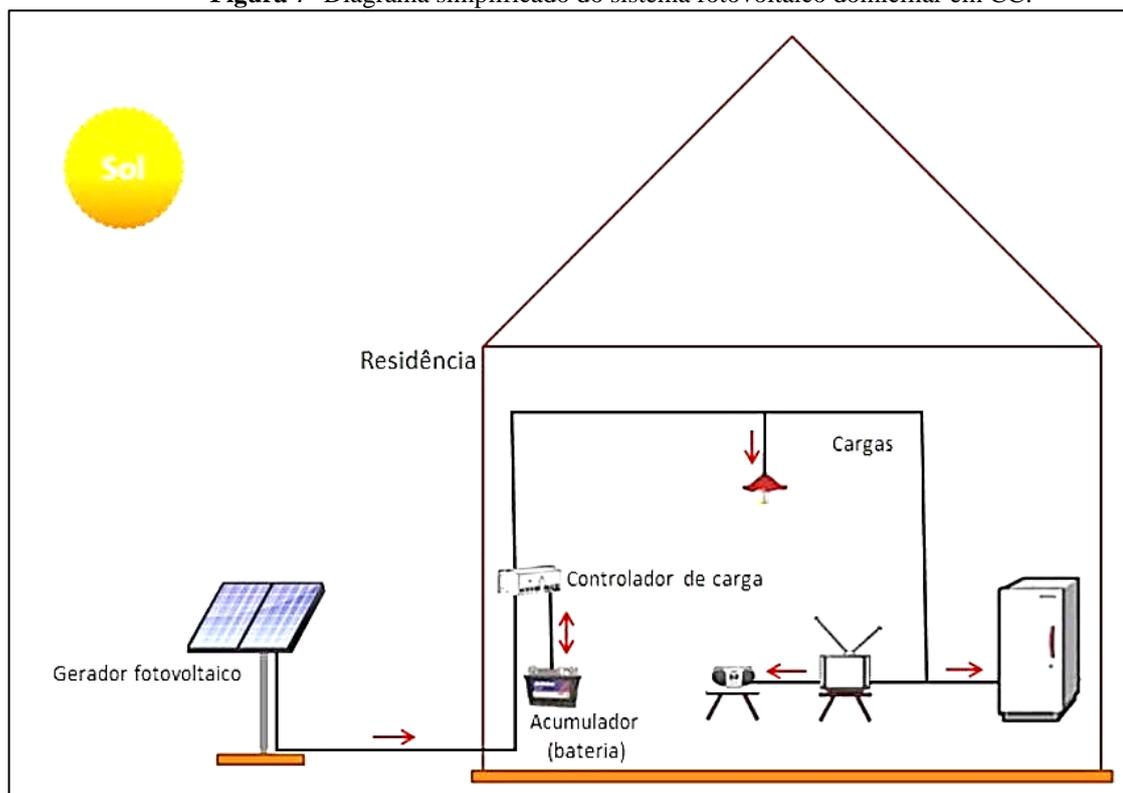
**Figura 6-** Curvas I-V de duas células fotovoltaicas de silício cristalino conectadas em paralelo.



Fonte: Pinho; Galdino (2014).

A Figura 7 demonstra como funciona na prática o sistema fotovoltaico domiciliar, onde nota-se que há um controlador de carga, este é responsável por evitar cargas e descargas excessivas do acumulador.

**Figura 7-** Diagrama simplificado do sistema fotovoltaico domiciliar em CC.



Fonte: Pinho; Galdino (2014).

## 2.5 Análise da Viabilidade através de indicadores financeiros

### 2.5.1 VPL

Este é um dos métodos mais utilizados para avaliar projetos. O conceito desse processo envolve o cálculo da soma de todos os fluxos financeiros resultantes das atividades de um determinado projeto, após aplicar descontos apropriados. A ideia é que quanto maior for o Valor Presente Líquido (VPL), mais atraente será o projeto do ponto de vista financeiro. Contudo, a aplicação deste método pode estar sujeita a algumas limitações. Como por exemplo atraso entre as atividades, avaliação das quantidades e tipos de recursos alocados e a imposição de datas específicas para o início e término das atividades (Szwarcfiter, 2022).

Entende-se, portanto, que o VPL faz com que ocorra uma maximização do problema, o qual apresenta muitas soluções possíveis. Para cada situação há um planejamento com suas próprias atividades e datas estabelecidas. Há critérios definidos para que ocorra a seleção ou rejeição dos projetos por meio do método VPL, como apresentados a seguir (Szwarcfiter, 2022).

Quando o projeto for  $> 0$ , então este é **considerado viável**, pois isso representa que as

receitas estão superando os custos, com a taxa de interesse descontada.

Quando o projeto for  $\leq 0$  é **considerado não viável**, pois nesse caso as receitas não superam os custos (Szwarcfiter, 2022).

O cálculo do valor presente líquido (VPL) em um empreendimento de investimento pode ser conceituado como a totalização algébrica das quantias ajustadas provenientes do fluxo financeiro associado a ele. Em termos alternativos, é a discrepância entre o valor presente das entradas e o valor presente dos gastos (Silva; Fontes, 2005).

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{R_j}{(1+i)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+i)^j}$$

Onde tem-se:

$R_j$  = valor atual das receitas (R\$);

$C_j$  = valor atual dos custos (R\$);

$i$  = taxa de juros (ano);

$j$  = período em que as receitas ou os custos ocorrem (unidade de tempo);

$n$  = número de períodos ou duração do projeto. Número total de períodos ao longo dos quais os fluxos de caixa são calculados.

### 2.5.2 TIR

Taxa Interna de Retorno também conhecida como TIR representa a taxa de desconto que torna o valor presente das receitas futuras igual ao custo inicial do investimento. Em outras palavras, é a taxa que torna o valor atual do projeto zero. A TIR de um projeto de investimento corresponde à taxa que equilibra o valor presente dos fluxos de saída de dinheiro com o valor presente dos fluxos de entrada estimados (Oliveira, 1979).

A literatura contextualiza que a TIR anula o valor líquido (VPL) de um fluxo de investimento seja igual a zero. A TIR por si só não é capaz de demonstrar um valor exato do retorno do investimento, mas, é um critério interessante associado ao fluxo de caixa do projeto (Álvares, 2007).

Para que ocorra o cálculo da TIR é necessário a seguinte fórmula (CURY, 2018):

$$\sum_{t=0}^n \frac{Ft}{(1+i)^t} = 0$$

Onde:

$Ft$  = fluxo de caixa líquido do projeto (R\$);

$i$  = taxa interna de retorno (%);

$t$  = Período (t).

Para que um projeto seja considerado viável, a TIR precisa ser igual ou maior do que aos custos de implementação de um projeto.

TIR maior que a TMA – O Projeto deve ser aceito (considerado viável). TIR igual a TMA – É indiferente aceitar ou rejeitar o projeto, e por fim, quando a TIR for menor que o TMA – O projeto não deve ser aceito (considerado inviável) (Cury, 2018).

### 2.5.3 TMA

Compreende-se que o VPL e a TIR podem ser considerados fluxos de caixa descontados a uma estipulada taxa. Dessa forma, a taxa envolvida no VPL e na TIR é chamada de Taxa Mínima de Atratividade, também conhecida como TMA. Ademais, quando em um projeto a TIR sobressair a TMA, é possível considerar que o projeto deve ser aceito, já que os custos de investimento teriam sido atingidos e também o custo do capital, e ainda haveria a possibilidade da empresa ter um possível remanescente da taxa (Schroeder, 2005).

De acordo com Pilão e Hummel (2003, p. 89) “a taxa que identificamos como TMA representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento, ou o máximo que um tomador de dinheiro se propõe a pagar ao fazer um financiamento”.

Geralmente a taxa mínima de atratividade é baseada em uma taxa de livre risco, a qual é decidida levando em consideração a taxa Selic, já que é a taxa mais básica de juros.

### 2.5.4 Payback de investimento

O Payback de investimento é resumidamente o tempo necessário para que a empresa venha a ter retorno sobre o investimento feito no projeto, o qual, é calculado a partir das entradas de caixa. Mesmo que se tenha várias entradas no fluxo de caixa, a ideia é que as entradas sejam acumuladas até a recuperação total do investimento (Gitman, 2002).

Existem dois tipos de PayBack que podem ser estudados e aplicados ao projeto. O PayBack simples e o PayBack descontado. Porém, o PayBack simples geralmente não é tão

utilizado já que não observa o valor do dinheiro ao longo do tempo. O PayBack simples é facilmente compreendido e calculado, porém apresenta diversas limitações (Bruni e Famá, 2007; Frezatti, 2008; Assaf Neto e Lima, 2009).

Outrossim, o PayBack descontado se refere ao tempo necessário para que o projeto tenha o retorno do investimento levando em consideração os fluxos de caixa líquidos descontados. O qual, pode ser representado pela seguinte equação (Lopes; Nascimento; Santos; Alberto; Leite, 2017):

Ademais, para o cálculo do PayBack são mensuradas também outras variáveis como as conhecidas tarifas de energia. No Brasil, a ANEEL é responsável pela definição dessas tarifas, as quais são medidas em R\$/kWh, também é avaliado o tipo de cliente, este podendo ser do Grupo A ou B e as bandeiras tarifárias (Carvalho, 2020).

Tendo em vista que o Payback é responsável por indicar o tempo necessário de recuperação do investimento feito, compreende-se, portanto, que a análise das tarifas é de extrema importância para verificar a viabilidade do projeto de implementação da energia fotovoltaica. Já que, quanto maior a tarifa, menor o Payback, o que torna mais viável o investimento (Carvalho, 2020).

Para que o cálculo do Payback seja feito considerando a viabilidade da instalação dos Sistemas fotovoltaicos, é possível considerar a seguinte fórmula (Carvalho, 2020):

$$Payback \text{ (meses)} = \frac{\text{Investimento (R\$)}}{\text{Energia (kWh/mês)} \times \text{Valor da tarifa de energia (R\$/kWh)}}$$

O resultado da fórmula acima indica de forma simples a quantidade de tempo que haverá o retorno no investimento na energia solar levando em consideração a quantidade de energia gasta no mês, o valor que será investido e o valor da tarifa de energia atual.

### **2.5.5 Bandeiras tarifárias e indicadores financeiros**

A análise da viabilidade da implementação dos sistemas fotovoltaicos depende diretamente das tarifas e também das bandeiras tarifárias. As bandeiras tarifárias são responsáveis por determinar mensalmente qual será o valor da energia, indicando se custará mais ou menos. Essa determinação ocorre em função do meio de geração, ou seja, se precisar utilizar em determinado mês outras fontes de energias mais caras do que as hidrelétricas, por

exemplo, o custo da energia potencialmente irá aumentar (Energisa, 2021).

As bandeiras, então, se dividem em 4 modalidades, as quais são denominadas: bandeira verde, bandeira amarela, bandeira vermelha (patamar 1) e bandeira vermelha (patamar 2). A bandeira verde representa as condições favoráveis de geração de energia. A bandeira amarela já começa a apresentar acréscimo na tarifa tornando condições menos favoráveis. E as bandeiras vermelhas representam as formas mais custosas de geração, sendo a de patamar 2 a maior tarifa (Energisa, 2021).

Logo abaixo é apresentada uma figura de como as tarifas podem vir a se comportar. No exemplo é demonstrado valores das bandeiras tarifárias de julho/2022 a junho/2023 de acordo com a Enel.

**Figura 8-** Valores das bandeiras tarifárias de julho/2022 a junho/2023.



Fonte: Enel, 2023.

### 3. METODOLOGIA

De acordo com Lakatos e Marconi (2019), essa pesquisa se caracteriza como bibliográfica, com base em textos, como livros, artigos científicos, ensaios críticos, leis e normas brasileiras, etc. No intuito de discutir a implantação de energia fotovoltaica em residências, utilizou-se como métodos de procedimento, os métodos histórico e comparativo.

É considerado neste artigo pesquisas, livros, teses e dissertações publicadas no Scielo, Google Scholar e Periódicos Capes. Foram usadas para a pesquisa palavras-chave como: energia fotovoltaica; energia solar; consumo médio de energia, entre outras. Diversos estudos foram levados em conta, de anos e datas diferentes, apresentando dados desde 1979 a 2023.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As fontes de energias renováveis, assim como a energia solar, vêm se destacando e desempenhando um papel fundamental na matriz energética brasileira. Diversos benefícios podem ser levados em conta com a utilização do sistema fotovoltaico em residências, a sua fácil instalação e o crescente incentivo governamental dessa fonte de energia acabam tornando ainda mais viável a sua implementação.

Ademais, assim como já mencionado no trabalho, a Resolução Normativa da ANEEL nº 1059/2023 coloca em vigência a Lei n. 14.300/2022 a qual, proporciona um grande incentivo para o investimento nesse sistema de energia, já que, é possível realizar o compartilhamento da energia quando se produz mais do que a demanda do domicílio. Observou-se na Figura 1 que o consumo médio por classe no Brasil predominantemente são das indústrias, mas que o consumo médio das residências fica bem próximo do industrial, com apenas 5,22% de diferença segundo os dados de 2023 da EPE. Ainda, o consumo energético brasileiro se caracteriza por relevantes alterações ao decorrer dos anos. Destacando-se o ano de 2021, onde obteve o maior pico de consumo energético segundo a EPE, um dos motivos que pode ter desencadeado essa alta foi a Covid 19 e as questões de isolamento que fizeram parte da vida de toda a população, durante um bom período, fazendo com que houvesse a concentração de pessoas em suas residências e consequentemente um aumento significativo do consumo energético como mostra a Figura 2.

Compreende-se também através do tópico dos equipamentos utilizados para a geração de energia solar, que o sistema das placas pode ser de diferentes tipos. A tecnologia tem cada vez mais desenvolvido placas mais eficientes e potentes, e com modelos diversificados. Esses sistemas podem por exemplo armazenar ou não a energia produzida e procuram sempre a melhor experiência ao morador evitando que situações inesperadas aconteçam e levando o melhor conforto às residências.

Outrossim, contextualizando o foco principal do trabalho em questão, que é a análise da implementação das placas fotovoltaicas nas residências, tem-se que existem indicadores financeiros capazes de demonstrar a viabilidade da aplicação das placas no domicílio. Que são

eles: o VPL, a TIR, o TMA e o Payback de investimento, podendo ser este último considerado um dos principais indicadores para a implementação do SFV (sistema fotovoltaico).

Muitas residências atualmente apresentam a necessidade de aplicação das placas, mas a grande dúvida é se a sua aplicação é economicamente viável. Para tanto, os indicadores supracitados exercem um papel fundamental para essa decisão. O VPL por exemplo é capaz de analisar o valor presente no fluxo monetário que é produzido pelo projeto ao longo de sua duração. O resultado do cálculo da VPL irá ditar se o projeto será viável ou não. Ao apresentar um resultado positivo consequentemente o projeto é viável para implantação, já um resultado igual a zero conclui-se que é indiferente o empreendimento.

A TIR também é considerada um importante indicador financeiro para a análise de viabilidade. Na execução da análise entende-se que uma TIR maior que a TMA resulta positivamente no projeto, indicando que ele será viável financeiramente.

Ademais, o Payback de investimento é capaz de apresentar o tempo necessário de recuperação do investimento feito no projeto, o que resultaria no lucro do negócio após os anos de recuperação. Outro ponto a ser considerado, é que a análise da viabilidade da implantação dos sistemas fotovoltaicos (especialmente o Payback) depende diretamente das tarifas e também das bandeiras tarifárias. Ou seja, um dos pontos chaves da análise da implantação de energia fotovoltaica em residências é que quanto mais a energia subir no Brasil, para quem está produzindo, mais rápido é o Payback de investimento, fazendo com que o projeto tenha um retorno mais rápido.

A implementação de sistemas fotovoltaicos em residências apresenta uma oportunidade estratégica não apenas para reduzir custos e dependência de fontes tradicionais, mas também para contribuir significativamente para a sustentabilidade e diversificação da matriz energética brasileira, alinhada com os objetivos ambientais e econômicos do país. A análise dos indicadores financeiros é essencial para embasar decisões eficazes e garantir o sucesso desses empreendimentos.

Além disso, as análises financeiras detalhadas, incluindo indicadores como VPL, TIR, TMA e Payback de investimento, são cruciais para determinar a viabilidade econômica da implementação de placas fotovoltaicas. Esses indicadores permitem uma avaliação cuidadosa dos retornos financeiros e do período de recuperação do investimento, evidenciando na prática a probabilidade do empreendimento.

Vale ressaltar a importância da análise de cada indicador, lembrando que as bandeiras tarifárias brasileiras são, quando elevadas, uma grande aliada da implementação do sistema

fotovoltaico, tornando o projeto ainda mais vantajoso e propício a ter um retorno mais acelerado.

Para trabalhos futuros que busquem dar andamento a pesquisa, é satisfatória a aplicação na prática em diferentes cenários residenciais dos indicadores financeiros para a aproveitamento das placas fotovoltaicas. Assim, levando a pesquisa a alcançar dados relevantes sobre a aplicabilidade dos indicadores apresentados no trabalho.

Conclui-se, portanto, que a análise da viabilidade econômica da energia solar residencial é multifacetada e depende não apenas dos aspectos técnicos e ambientais, mas também das condições financeiras e regulatórias vigentes. Com o avanço da tecnologia e o contínuo apoio governamental, espera-se um crescimento ainda maior da adoção de sistemas fotovoltaicos nas residências brasileiras, tornando cada vez mais viável a sua aplicação e contribuindo para uma matriz energética mais sustentável e diversificada.

## REFERÊNCIAS

ABSOLAR. Energia Solar cresce 110% em um ano e ultrapassa Itaipu. 2023. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/energia-solar-cresce-110-em-um-ano-e-ultrapassa-itaipu/>>. Acesso em: 15 de junho de 2023.

ÁLVARES, Antonio Carlos Teixeira; BARBIERI, José Carlos; MACHLINE, Claude. **Taxa Interna de Retorno: Um Parâmetro do Projeto e Não Uma Medida de Retorno do Investimento**. 2007.

BAYOD-RÚJULA, A. A.; LORENTE-LAFUENTE, A. M.; CIREZ-OTO, F. **Environmental assessment of grid connected photovoltaic plants with 2-axis tracking versus fixed modules systems**. Energy, Aalborg, v. 36, n. 5, p. 3148-3158, 2011.

BRUNI, A.L.; FAMÁ, R. **As decisões de investimentos**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2007.

CARRASCO, Juan Manuel et al. Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: A survey. **IEEE Transactions on industrial electronics**, v. 53, n. 4, p. 1002-1016, 2006.

CARVALHO, Lia. **O que é Payback TIR e VPL na energia solar?** INSTITUTO SOLAR, 2020. Disponível em <<https://institutosolar.com/viabilidade-financeira-de-sistema-fotovoltaico/>>. Acesso em 10 de mai. 2024.

CEMIG. POTÊNCIA MÉDIA DE APARELHOS RESIDENCIAIS E COMERCIAIS. 2020. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/10/POTENCIA-MEDIA-DE-APARELHOS-RESIDENCIAIS-E-COMERCIAIS.pdf>>. Acesso em 24 de fev de 2024.

COSBEY, A. **Trade, sustainable development and a green economy: Benefits, challenges and risks**. The Transition to a Green Economy: Benefits, Challenges and Risks from a Sustainable Development Perspective, p. 40, 2011.

COSTA, Andrelise Cardoso et al. **Energia solar fotovoltaica uma alternativa viável?**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 9, p. 72637-72656, 2020.

CURY, M. V. Q.; FILHO, J. C. F de A. **Análise de projetos de investimentos**. Rio de Janeiro: IDE, 2018.

DE LEVA, Flávia Fernandes et al. Modelo de um projeto de um sistema fotovoltaico. **ENCONTRO ENERGIA MEIO RURAL**, v. 5, 2004.

ENERGISA. BANDEIRAS TARIFÁRIAS. 2021. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/bandeiras-tarifarias.aspx>>. Acesso em: 05 de mai. 2024.

ENEL. Bandeira Tarifária vigente em Março/2024: verde. 2023. Disponível em: <[https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Para\\_Voce/Bandeira\\_Tarifaria.html](https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Para_Voce/Bandeira_Tarifaria.html)>. Acesso em 24 de abr. 2024.

EPE. BOLETIM TRIMESTRAL DE CONSUMO DE ELETRICIDADE. 1º trimestre de 2023. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-483/topico-680/Boletim%20Trimestral%20de%20Consumo%20de%20Eletricidade%20ANO%20IV%20-%20N%C2%BA13.pdf>>. Acesso em 12 de dez. 2023.

FURLANETTO, Cesar et al. **Uma contribuição à determinação de perfil do consumo de energia elétrica no ambiente residencial**. 2001.

GITMAN, Lawrence J. **Fundamentals of investing**. Pearson Education India, 2002.

GONZAGA, Vanessa. **Vale a pena investir em energia solar?**. SOLAR BRASIL. 2019. Disponível em: <<https://www.solarbrasil.com.br/blog/vale-a-pena-investir-em-energia-solar/>>. Acesso em: 15 out. 2022.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. DE A. Fundamentos da Metodologia Científica. São Paulo: Editora Atlas, 2019.

LOPES JUNIOR, Davidson Batista; NASCIMENTO, Maira Figueiredo; SANTOS, Stephanie Anderson Alves; ALBERTO, Jose Guilherme Chaves; LEITE, Adriano Cordeiro. **Análise do tempo de recuperação do capital investido na expansão de uma empresa do setor matrimonial**. Joinville: Abepro, 2017.

OLIVEIRA, Adary. **Método da taxa interna de retorno: caso de taxas múltiplas**. *Revista de Administração de Empresas*, v. 19, p. 87-90, 1979.

PILÃO, Nivaldo E.; HUMMEL, Paulo Roberto Vampré. Matemática financeira e engenharia econômica. **São Paulo: Thomson**, 2003.

PINHO, J.; GALDINO, M. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos–CRESESB. **São Paulo. SP**, 2014.

RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.059. ANEEL, 2023. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>>. Acesso em 23 de abr. 2024.

SILVA, Márcio Lopes da; FONTES, Alessandro Albino. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra. **Revista Árvore**, v. 29, p. 931-936, 2005.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, MAG de; CAMARGO, IM de T. **Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais**. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (V CBPE). Brasília. 2006. p. 60.

SCHROEDER, Jocimari Tres et al. O custo de capital como taxa mínima de atratividade na avaliação de projetos de investimento. **Revista Gestão Industrial**, v. 1, n. 2, 2005.

SZWARCFITER, Jayme Luiz; SCHMITZ, Eber Assis; DE FREITAS RODRIGUES, Rosiane. **Análise Empírica de Algoritmos para Escalonamento de Projetos com Maximização de Valor Presente Líquido**.