

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

FABIANO ZANELA

**VERIFICAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA
SOLAR FOTOVOLTAICO COM BASE EM ANÁLISE NAS
FATURAS DE ENERGIA ELÉTRICA**

CAMPO MOURÃO

2022

FABIANO ZANELA

**VERIFICAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA
SOLAR FOTOVOLTAICO COM BASE EM ANÁLISE NAS
FATURAS DE ENERGIA ELÉTRICA**

**Verification of economic feasibility of a solar photovoltaic system based on
analysis of electricity bills**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Inovações Tecnológicas do Programa de Mestrado em Inovações Tecnológicas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Dr. Eduardo Giometti Bertogna.

**CAMPO MOURÃO
2022**



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

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

FABIANO ZANELA

**VERIFICAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA
SOLAR FOTOVOLTAICO COM BASE EM ANÁLISE NAS
FATURAS DE ENERGIA ELÉTRICA**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre em Inovações Tecnológicas da Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Inovações Tecnológicas.

Data da aprovação: 06/09/2022

Membro 1: Eduardo Giometti Bertogna

Membro 2: Gilson Júnior Schiavon

Membro 3: Leandro Castilho Brolin

Membro 4: Luciano Ferreira

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em https://sistemas2.utfpr.edu.br/dpls/sistema/aluno03/mpCADEDocsAssinar.pcRecuperarDoc?p_hash_documento=36972DADE76DCB522E1CFCC19549D9D030D62FAC

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por me sustentar no período mais difícil da minha vida.

A minha esposa Ariely, que sempre esteve ao meu lado. Tudo ficou mais fácil! Sem o seu apoio não conseguiria ter vencido esse desafio.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Giometti Bertogna, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

E em especial agradecer ao meu pai Aristides Zanela, que infelizmente nos deixou sem que pudesse me ver concluir essa etapa da minha vida.

RESUMO

Atualmente é impossível imaginar a vida sem a presença da energia elétrica. Ela faz parte de praticamente todas as atividades realizadas pelas pessoas, estando presente tanto em atividades corriqueiras do dia a dia como em atividades indispensáveis para a manutenção do desenvolvimento econômico mundial. Sua ausência implicaria em grave retrocesso na evolução da sociedade, trazendo prejuízos sociais e econômicos. Há um aumento da demanda energética no mundo, uma busca por novas fontes de energia, rentáveis e sustentáveis. Com base nisso, a energia solar fotovoltaica é hoje considerada uma fonte de energia alternativa, renovável e sustentável. A partir das Resoluções Normativas 481 e 482 de 2012, a ANEEL regulamentou o sistema de compensação para os micros e minis geradores de energia. A partir dessas regulamentações, desencadeou no Brasil um aumento pela procura na produção de energia solar fotovoltaica, tendo em vista que o país possui uma das tarifas energéticas mais caras do mundo, com altas cargas tributárias. Entretanto, o investimento para instalação de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica é ainda bastante elevado no Brasil, o que gera algumas incertezas quanto ao retorno do capital investido. Diante dessa perspectiva, por meio de um estudo de caso, o objetivo desta pesquisa foi realizar uma análise de verificação de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico na modalidade geração distribuída, com base em dados coletados em um sistema em efetivo funcionamento. Esta verificação analisou a produção de energia solar produzida em 12 meses, e com base nesses dados, foi realizado um estudo de verificação de viabilidade econômica e retorno do capital investido, comparando com o estudo de viabilidade apresentado previamente a implantação do sistema. Através de cálculos demonstrados em um fluxo de caixa, com três projeções diferentes admitindo-se taxas mínimas de atratividade de 8%, 10% e 12%, foi apresentado um tempo de retorno superior ao esperado, considerando o valor do dinheiro no decorrer do tempo. Como resultados, verificou-se a curto, médio e longo prazo os riscos e benefícios relacionados ao investimento, e por meio de cálculos apresentados, uma análise do retorno do investimento.

Palavras-chave: energia solar fotovoltaica; viabilidade econômica; política tarifária.

ABSTRACT

It is currently impossible to imagine life without the presence of electricity. It is part of practically all activities carried out by man, being present both in everyday activities and in essential activities for the maintenance of world economic development. Its absence would imply a serious setback in the evolution of society, bringing social and economic losses. There is an increase in energy demand in the world, a search for new, profitable and sustainable energy sources. Based on this, photovoltaic solar energy, that it is produced from sunlight, is today considered an alternative, clean, renewable and sustainable energy source. Based on these regulations, an increase in demand in the production of photovoltaic solar energy was triggered in Brazil, given that the country has one of the most expensive energy tariffs in the world, with high tax burdens. However, the investment to install a photovoltaic solar energy generation system is still quite high in Brazil, which generates some uncertainties regarding the return on invested capital. was to carry out an analysis to verify the economic viability of a photovoltaic system in the distributed generation modality, based on data collected in a system in effective operation for one year. This verification analyzed the production of solar energy produced in 12 months of operation, and based on these data, a study was carried out to verify the economic feasibility and return on invested capital, comparing with the feasibility study presented before the implementation of the system. As a result, the short, medium and long term risks and benefits related to the investment, installation and maintenance costs were analyzed, and through the calculations presented, an analysis of the return on investment.

Keywords: photovoltaic solar energy; economic viability; tariff policy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fontes de energia e sua classificação.....	20
Figura 2 – Matriz elétrica brasileira.....	25
Figura 3 – Participação de energia renovável na matriz energética brasileira.....	25
Figura 4 – Usuários de energia elétrica no Brasil em 2020.....	26
Figura 5 – Sistemas fotovoltaicos.....	28
Figura 6 – Geradores fotovoltaicos.....	29
Figura 7 – Potencial de geração de energia solar fotovoltaica.....	33
Figura 8 – Projeto / Orçamento.....	40
Figura 9 – Projeto – análise financeira.....	41
Figura 10 – Projeto – expectativa de geração de energia.....	42
Figura 11 – Histórico de produção energética.....	43
Figura 12 – Fórmula do Excel para cálculo do VP.....	56
Figura 13 – Fórmula do Excel para cálculo do VPL.....	58
Figura 14 – Fórmula do Excel para cálculo do TIR.....	58
Figura 15 – Melhores investimentos de 2021 (rentabilidade)	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Investimento total.....	40
Tabela 02 – Histórico de produção energética.....	43
Tabela 03 – Unidade consumidora 01.....	44
Tabela 04 – Unidade consumidora 02.....	45
Tabela 05 – Unidade consumidora 03.....	45
Tabela 06 – Unidade consumidora 04.....	46
Tabela 07 – Unidade consumidora 05.....	46
Tabela 08 – Unidade consumidora 06	49
Tabela 09 – Unidade consumidora 01 / 02 / 03 / 04 / 05 / 06.....	49
Tabela 10 – Degradação anual das placas solares.....	50
Tabela 11 – Fluxo de caixa – cenário 01 – TMA 08%.....	53
Tabela 12 – Fluxo de caixa – cenário 02 – TMA 10%.....	54
Tabela 13 – Fluxo de caixa – cenário 03 – TMA 12%.....	55
Tabela 14 – Fluxo de financiamento junto ao BNDES.....	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Unidade consumidora 01 a 06.....	48
--	----

LISTA DE ABREVIações

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica.
ABEN	Associação Brasileira de Energia Nuclear.
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.
BEM	Balanco Energético Nacional.
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária.
COPEL	Companhia Paranaense de Energia.
IEA	Agência Internacional de Energia.
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo.
INPC	Índice Nacional de Preços ao Consumidor.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética.
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo.
GD	Geração Distribuída.
Kw	Quilowatts.
MMGD	Mercado de Micro e Minigeradoras Distribuída.
MME	Ministério de Minas e Energia.
MW	Megawatt.
NBR	Norma Brasileira.
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energéticos de Estados e Municípios.
PEE	Programa de Eficiência Energética.
REN	Resolução Normativa.
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica.
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica.
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas.
TIR	Taxa Interna de Retorno.
VP	Valor Presente.
VPL	Valor Presente Líquido.
kWh	Quilowatt-hora.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivo geral.....	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	13
1.2	Justificativa	14
1.3	Metodologia da pesquisa	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Energia elétrica	18
2.1.1	Fontes energéticas.....	19
2.1.2	Energia elétrica e desenvolvimento sustentável.....	21
2.1.3	Geração de energia elétrica.....	22
2.1.4	A matriz energética do Brasil e o perfil do consumidor de energia Elétrica.....	23
2.2	Energia solar fotovoltaica	27
2.2.1	Potencial do recurso solar no Brasil	30
2.2.2	Incentivos a inserção da energia solar e a geração distribuída na matriz elétrica brasileira.....	33
2.3	Geração de energia elétrica no Estado do Paraná	35
2.4	Análise da Lei 14.300/2022 – marco legal da geração distribuída	35
3	ESTUDO DE CASO	39
3.1	Análise do projeto de instalação do sistema de geração de energia fotovoltaica	39
3.2	Análise da produção de energia elétrica em 2021	42
3.3	Análise do consumo de energia / valores compensados	44
4	METODOLOGIA	49
4.1	Análise de verificação de viabilidade econômica da implantação de painéis solares fotovoltaicos	49
4.1.1	Análise de degradação de painéis fotovoltaicos.....	49
4.1.2	Ferramentas para análise do retorno do investimento.....	50
4.1.3	Análise do retorno do investimento.....	52
4.1.4	Hipóteses de financiamento do investimento.....	60
4.2	Análise comparativa dos cálculos apresentados com o projeto de investimento	61
4.3	Análise dos resultados	62
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico, houve um aumento na demanda energética no Brasil e no mundo nos últimos anos. Segundo o Plano Decenal de expansão de energia (BRASIL, Ministério de Minas e Energia, 2022), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) prevê que a demanda de energia no Brasil vai crescer 3,6% ao ano até 2029, um acréscimo de 2.900 megawatts médios anualmente.

De acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2022), no Brasil mais de 60% da energia consumida é proveniente do potencial hidráulico, por meio de usinas hidrelétricas e pequenas centrais hidrelétricas. Essa energia é transmitida por meio do sistema de Geração Centralizada, através das linhas e redes de transmissão, onde a energia chega ao consumidor por meio das distribuidoras locais. Por sua vez, pelo sistema de Geração Distribuída, a produção de energia é realizada por meio de geradores de pequeno porte instalados próximos ou no local do consumo.

Ao levar em consideração as fontes de energia que compõe a matriz energética brasileira, vários estudos e pesquisas têm sido realizados para identificar os meios mais econômicos para geração, produção e distribuição de energia. Uma das tecnologias que vem ganhando destaque no cenário mundial é a utilização de painéis solares para captação de energia, para geração de energia solar, e o Brasil é um país com grande potencial para crescimento energético nessa modalidade, tendo em vista o alto índice de radiação solar que incide o território nacional, conforme Figura 07.

Atualmente, a utilização de módulos fotovoltaicos para geração de eletricidade no Brasil se tornou fundamental em virtude da crescente demanda de energia elétrica e como uma alternativa de diversificação energética. Considerada uma fonte limpa e renovável, a energia fotovoltaica vem sendo impulsionada pela minimização dos impactos ambientais e pelo esgotamento das fontes não renováveis de energia, como o petróleo e o gás natural. Aliás, as relações entre a sociedade e o meio ambiente

vem há anos buscando avaliar o conceito de desenvolvimento sustentável apresentando várias abordagens divergentes. Entre os conceitos mais aceitos, se destaca a busca do equilíbrio entre as dimensões ambientais, econômicas e sociais (BELLEN, 2006).

Descobrir esse equilíbrio quando o assunto é geração de energia elétrica é um desafio para a sociedade moderna, pois a exploração intensa e desgovernada dos combustíveis fósseis já causou e continua causando vários danos ao meio ambiente (LODI, 2011).

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2022), em 2022 o Brasil chegou à marca histórica de 14 gigawatts (GW) de capacidade instalada de energia solar fotovoltaica, a mesma potência da usina hidrelétrica binacional de Itaipu. Considerada a mais promissora entre as fontes de energias renováveis no mundo, a fonte solar pode chegar a um terço de toda a energia consumida pelos brasileiros em 2050, segundo previsão da Agência Internacional de Energia (AIE).

Este crescimento se justifica na regulamentação iniciada em 2012, com Resoluções Normativas 481 e 482 da ANEEL, que autorizou os brasileiros a produzirem sua própria energia a partir de fontes renováveis, o que impulsionou o mercado nacional. Surgiu a partir daí a compensação de energia, que possibilitou o consumidor, por meio da produção de energia solar, injetar na rede elétrica a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos, convertendo em créditos para compensação posterior (ANEEL, 2022).

A geração distribuída solar fotovoltaica, solução renovável, embora recente no Brasil, alcançou um espaço significativo na matriz energética do país. Atualmente, o Brasil encontra-se em 16º lugar em capacidade instalada de energia solar fotovoltaica (ABSOLAR, 2022). Entretanto, alguns cenários preocupam a continuidade desse crescimento, como regulamentação jurídica e taxaço tributária.

Outro ponto importante a ser observado está relacionado aos possíveis efeitos negativos no setor elétrico, pela quantidade massiva de energia fotovoltaica produzida e injetada na rede, entre os períodos considerados de ponta e fora de ponta. Isso pode ser caracterizado quando o microgerador vende a concessionária energia mais cara e compra mais barata, ocasionando um desequilíbrio nas contas da distribuidora de energia, fazendo com que na revisão tarifária, ocorra um aumento da tarifa de energia, onerando assim ao consumidor (DANTAS, 2018).

Com base nesse cenário, por meio de um estudo de caso, o objetivo desta pesquisa foi realizar um estudo para verificação da viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica. O projeto de investimento analisado foi instalado com objetivo de suprir a demanda de 06 unidades consumidoras, sendo uma unidade rural e 05 unidades residenciais, do mesmo proprietário. As análises foram realizadas com base nas faturas de energia elétrica do ano de 2021, período esse em que o sistema de geração de energia já estava em pleno funcionamento. Foi analisado o consumo e valores compensados de energia elétrica referente ao período de janeiro de 2021 a dezembro de 2021.

Com a presente pesquisa buscou analisar o retorno do investimento baseado nos valores compensados de energia elétrica. A pesquisa servirá não apenas ao investidor, mas também a outros investidores, como forma de entender o retorno do capital investido com base em uma pesquisa independente, que realizou a análise de retorno do investimento sem objetivo de vender um sistema fotovoltaico.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Realizar uma análise de retorno de investimento de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica conectada à rede, por meio de uma verificação de viabilidade econômica, com base em valores compensados de energia elétrica em 12 meses de efetivo funcionamento do sistema.

1.1.2 Objetivos específicos

- Conceituar a matriz energética brasileira.
- Analisar os custos financeiros para instalação e manutenção de um sistema fotovoltaico.
- Identificar os incentivos governamentais do setor energético fotovoltaico.
- Identificar ameaças e oportunidades do setor de energia fotovoltaico brasileiro.

- Realizar uma análise de degradação das placas solares fotovoltaicas.
- Analisar o projeto de viabilidade econômica apresentado ao investidor.
- Analisar as faturas de energia elétrica das 06 unidades consumidoras pesquisadas, de janeiro a dezembro de 2021, identificando o consumo e compensação de energia elétrica.
- Apurar a viabilidade financeira da implantação de um sistema fotovoltaico, verificando o prazo de retorno do investimento.
- Comparar o projeto de viabilidade apresentado ao investidor com a análise de viabilidade realizada.

1.2 Justificativa

A energia elétrica permeia todos os setores da sociedade, sendo essencial para a vida moderna. Assegurar a continuidade do abastecimento da energia elétrica é uma preocupação de muitos países, pois dela depende sua economia e o bem estar de sua população. Um possível desabastecimento pode acarretar numa série de consequências nas esferas sociais e econômicas.

O desenvolvimento econômico de um país depende diretamente de sua matriz energética. A energia é um dos vetores básicos de infraestrutura necessária para o desenvolvimento humano, seja do ponto de vista global, regional ou mesmo de uma pequena comunidade isolada (REIS, 2012). O avanço da tecnologia é um dos principais impulsionadores do desenvolvimento econômico e social, que transformou a maneira de pensar e agir da sociedade. Praticamente todas as tecnologias funcionam com eletricidade, o que resulta no aumento da demanda de eletricidade rapidamente (IEA, 2020).

Uma das consequências do estilo de vida da sociedade moderna é o aumento na aquisição de bens de consumo, produzidos por meio da energia elétrica, sendo vital sua ininterrupta. O desenvolvimento econômico e os altos padrões de vida são processos complexos que compartilham um denominador comum: a disponibilidade de um abastecimento adequado e confiável de energia (HINRICHS, 2014).

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2020), a demanda global de eletricidade crescerá a uma taxa de 2,1% ao ano até 2024. O Brasil, por sua

vez, não apresenta um cenário diferente. O consumo final de eletricidade apresentou uma progressão de 1,3% entre 2018 e 2019. Entretanto, há uma dicotomia entre a necessidade de produzir energia elétrica a qualquer custo para atender a alta demanda, com a necessidade de gerar uma energia limpa, renovável e de baixo custo.

Sobre o prisma do desenvolvimento sustentável, surge a preocupação em atender as necessidades das gerações presentes sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Essa preocupação não é recente. A discussão global do modelo sustentável de desenvolvimento começou na década de 1970 e continua até os dias atuais, em um cenário cada vez mais amplo e participativo, catalisado pelo processo da globalização. Compreende dimensões políticas, econômicas, sociais, tecnológicas e ambientais (REIS, 2012). Além disso, entender a utilização da energia compreende entender suas consequências para o meio ambiente. Um dos assuntos mais cruciais nessa questão está relacionado com a queima de combustíveis fósseis, mudanças climáticas globais, aumento nos níveis de dióxido de carbono e outros gases estufa na atmosfera (HINRICHS, 2014).

Nesse sentido, as preocupações com a segurança do abastecimento de energia e as consequências ambientais têm estimulado a adoção de políticas governamentais que apoiam um aumento das fontes de energia renováveis (PHILLIPI, 2016). Uma compreensão da sociedade frente a necessidade de utilizar mais fontes de energia renováveis, com menos impacto ao meio ambiente, faz com que novas fontes de energia sejam pesquisadas. Entre essas fontes, se destaca a energia solar.

O sol é uma imensa fonte de energia inesgotável. Dele depende a vida na terra. O aproveitamento da quantidade de energia emitida pelo sol está limitado a praticidade de convertê-lo em uma energia que possa ser utilizada diretamente pelo homem, como na geração de eletricidade (REIS, 2012). A irradiação solar é uma forma de energia limpa e disponível em todo o planeta, com maior ou menor intensidade, dependendo da localização geográfica de cada país. O Brasil possui uma condição muito favorável, com valores de irradiação elevados.

Uma das formas de aproveitar essa irradiação solar é através da geração de energia elétrica por meio de células solares fotovoltaicas, que apresenta várias características, dentre elas, se destaca o baixo impacto ao meio ambiente, não emite poluentes durante sua operação, apresenta baixo índice de manutenção, instalação rápida comparada a outras fontes de energia renováveis, entre outras (URBANETZ, 2010).

Assim, por meio de um estudo de caso, essa pesquisa buscou verificar a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica, analisado com base nas faturas de energia elétrica registradas de janeiro a dezembro de 2021, período em que o sistema de geração de energia já estava em plena atividade. Após essa análise, foi comparado ao projeto de viabilidade apresentado previamente a instalação do sistema energético, levantando os riscos e benefícios do investimento para os próximos 25 anos.

Com isso, foi possível verificar se a projeção de retorno do capital investido apresentado ao investidor correspondeu com os valores compensados de energia elétrica, com base nos valores compensados de energia elétrica de 12 meses de efetiva atividade.

1.3 Metodologia da pesquisa

Com relação aos objetivos da pesquisa, foi utilizado a metodologia descritiva e exploratória. No que se refere a natureza da pesquisa, suas análises são classificadas como quantitativas e qualitativas. Para coleta de dados, a técnica utilizada foi a pesquisa bibliográfica e análise de registros.

A pesquisa exploratória trata-se de tipo de estudo que envolve além do levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tenham domínio do assunto estudado, pesquisas de campo e análise de outros exemplos que estimulem a compreensão do tema (GRAY, 2012).

Por sua vez, pesquisa descritiva tem como finalidade principal a descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou o estabelecimento de relações entre variáveis. São inúmeros os estudos que podem ser classificados sob este título e uma de suas características mais significativas aparece na utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados (GIL, 1999).

A abordagem qualitativa busca uma compreensão mais detalhada sobre um determinado fato, com o objetivo de proporcionar o conhecimento das informações para se explicar o significado e as características do contexto onde se encontra o objeto de estudo (GRAY, 2012).

A pesquisa bibliográfica é elaborada com base em material já publicado e que será necessário para a determinação do potencial fotovoltaico do estado do Paraná (GIL, 2010).

Com base nesse referencial, a presente pesquisa foi apresentada em 4 capítulos, abordando inicialmente a introdução, seus objetivos, justificativa e metodologia.

Em seguida, o Capítulo 02 descreve a revisão bibliográfica, a abordagem principal é a análise das fontes primárias e secundárias de energia e dentre elas apresentado as fontes renováveis e não renováveis, demonstrando as principais características, benefícios e malefícios. Com base nisso, foi apresentado as matrizes energéticas existentes, em especial o cenário energético brasileiro.

No Capítulo 03, referente ao estudo de caso, é apresentado o projeto de viabilidade econômica do sistema de geração de energia fotovoltaica e levantado os valores consumidos e compensados de energia de acordo com as faturas de janeiro a dezembro de 2021.

No Capítulo 04 é realizada a verificação de viabilidade econômica do investimento, por meio dos dados apresentados no capítulo anterior.

Por fim, nas considerações finais, são apresentados os resultados da pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Energia elétrica

A eletricidade é considerada uma das descobertas mais importantes do homem, ganhando destaque em todo o mundo por seu papel de acelerador no desenvolvimento da humanidade, e pela facilitação da vida do homem. A eletricidade passou por diversos processos de descoberta até se chegar a um entendimento pleno como se tem hoje, o que atravessou por estudos, experimentos, curiosidades e muita persistência. O objetivo central sempre foi o desenvolvimento humano, seja na melhoria do conforto domiciliar, que se estendeu para a indústria e comércio, refletindo diretamente o setor econômico e financeiro de uma nação. Novas tecnologias surgiram, foram aperfeiçoadas e ganharam destaque no cenário mundial, e hoje, no modo de vida da sociedade o uso da eletricidade é fator indispensável para seu desenvolvimento e sobrevivência (GOLDEMBERG, 2007).

Nesse cenário, na atualidade, há uma crescente demanda de energia elétrica em todo o mundo, afim de satisfazer a necessidade econômica e social, para suprir a demanda na indústria, no comércio, na agricultura, no transporte, dentre outros setores. Países ricos apresentam desenvolvimento econômico mais elevado, o que reflete no poder energético para suprir a demanda de seus habitantes. Países pobres, por sua vez, sofrem algumas dificuldades para atender a demanda energética de seu povo, devido sua localização geográfica, falta de recursos tecnológicos, pesquisa e recursos financeiros (SILVA, 2003).

A forma de produção de energia, distribuição e utilização está relacionada a diversos fatores, dentre eles, se destaca principalmente, o fator geográfico e ambiental, fatores tecnológicos, sociais e econômicos. Esses fatores são essenciais para a produção de energia suficiente e com qualidade para atender a demanda da sociedade, seja na qualidade de vida, no avanço da medicina, no desenvolvimento de tecnologias inovadoras na indústria, na agricultura, ou simplesmente no desenvolvimento de equipamentos domésticos e comerciais.

Dentro deste contexto, uma preocupação da sociedade moderna é como atender à crescente demanda da energia elétrica. Segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2021), o consumo de energia elétrica no

Brasil em maio de 2021 aumentou 12,4% ante o mesmo período do ano passado, que representa um volume consumido de 62,1 mil megawatts médios. O crescimento no consumo também foi observado nas análises regionais. Amazonas, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo foram os estados que tiveram maior alta no consumo, com percentuais, respectivamente, de 21%, 20%, 16% e 15%. O único estado que apresentou queda no consumo foi o Maranhão, com -1%.

Como visto, de acordo com o modo de vida da sociedade moderna, o uso da eletricidade é fator fundamental para seu desenvolvimento. Desde seu descobrimento, houve uma caminhada na criação, desenvolvimento e aperfeiçoamento de novas formas de geração de energia. Para que um país tenha fontes de geração de energia capazes de suprir sua demanda energética, algumas condições devem ser analisadas, já apresentadas, como características ambientais, recursos naturais, posicionamento geográfico, viabilidade técnica e financeira. Diversificar a matriz energética de um país tem como finalidade garantir a sua população não ficar condicionada nem dependente de apenas uma fonte de geração de energia (NOVAES, 2009).

2.1.1 Fontes energéticas

No Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética elabora e publica anualmente o Balanço Energético Nacional (BEN), mantendo tradição iniciada pelo Ministério de Minas e Energia. O BEN tem por finalidade apresentar a contabilização relativa à oferta e ao consumo de energia no Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, importação e exportação, a distribuição e o uso final da energia. O Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2021, ano base 2020, apresenta as informações consolidadas sobre o quanto e como se usou energia no Brasil em 2020. Utilizado em vários países como instrumento de planejamento e avaliação, classifica as fontes energéticas em primárias e secundárias.

A energia na forma direta como é apresentada pela natureza, é definida como energia primária. Diante deste conceito, as principais fontes de energia primária são as hidrelétricas, o petróleo, o gás natural, o xisto, o carvão mineral, o minério de urânio, os resíduos (vegetais e animais), a lenha, a energia eólica e a energia solar. Entretanto, a maior parte das fontes de energia primária não é consumida diretamente,

sendo necessário ser transformada em outra forma de energia para então poder ser utilizada (EPE, 2012).

A energia secundária, por sua vez, corresponde às fontes de energia derivadas do processamento das fontes de energia primária. Como exemplo, podem ser citados o óleo diesel, óleo combustível, gasolina, gás hidrogênio, gás liquefeito de petróleo (GLP), nafta, querosene, gás proveniente de carvão mineral (gás de coqueria), urânio, eletricidade, carvão vegetal, álcool etílico, entre outros (MOREIRA, 2019).

Outra distinção que se apresenta é entre as fontes renováveis e não renováveis. Durante milhares de anos a matéria orgânica de todos os seres que pereciam se acumulou no subsolo terrestre, formando o que conhecemos como fontes fósseis de energia como petróleo, carvão mineral, gás natural, xisto betuminoso entre outros, o que ocorreu em milhões de anos. O mesmo ocorreu com alguns elementos químicos presentes na crosta terrestre e que podem gerar energia através da fissão de seus núcleos, é o caso do urânio. Estas fontes de energia são consideradas fontes não renováveis, uma vez que a reposição das fontes de energia fóssil e nuclear requer um horizonte de tempo geológico. Já as fontes renováveis de energia são repostas de maneira imediata pela natureza, como é o caso dos potenciais hidráulicos, eólicos, a solar, o calor do fundo da terra (geotermal), a energia das marés e das ondas, e a biomassa (GOLDEMBERG, 2007). A Figura 1 apresenta essa classificação apresentada:

Figura 1 – Fontes de energia e sua classificação

Fontes		Energia Primária	Energia Secundária	
Não Renováveis	Fósseis	Carvão mineral	Termoeletricidade, calor, combustível para transporte	
		Petróleo e derivados		
		Gás natural		
Nuclear	Materiais físeis	Termoeletricidade, calor		
Renováveis	"Tradicionais"	Biomassa primitiva: lenha de desmatamento	Calor	
	"Convencionais"	Potenciais hidráulicos de médio e grande porte	Hidroeletricidade	
		Potenciais hidráulicos de pequeno porte		
	"Novas"	Biomassa "moderna": lenha replantada, culturas energéticas (cana-de-açúcar, óleos vegetais)	Biocombustíveis (etanol, biodiesel), termoeletricidade, calor	
		Outros	Energia solar	Calor, eletricidade fotovoltaica
			Geotermal	Calor e eletricidade
			Eólica	Eletricidade
Maremotriz e das ondas				

Fonte: GOLDEMBERG (2007, p. 62).

Nesse cenário, a finitude das fontes de energia fósseis é uma preocupação de muitos países, bem como, o impacto ambiental na geração dessa energia. Isso tem resultado no aumento da procura mundial pelas fontes de energia renováveis e no desenvolvimento de novas tecnologias energéticas.

2.1.2 Energia elétrica e desenvolvimento sustentável

O termo desenvolvimento sustentável significa o conjunto das atividades humanas que são realizadas, projetadas e desenvolvidas em favor do meio ambiente, de modo que seus efeitos não prejudiquem nem esgotem os recursos naturais para as gerações futuras (AURÉLIO, 2021). Procura atender as necessidades e aspirações do presente sem comprometer a possibilidade de atendê-las no futuro. No passado, falar de preocupação com as gerações futuras, para a política neoliberal, a qual tem a característica de pensar tudo em curto prazo e no ganho imediato, só fazia sentido quando o que se queria preservar, de fato, era o crescimento econômico e a expansão mercadológica (AZEVEDO, 2008). Essa realidade não se aplica mais na atualidade.

Nesse sentido, com a necessidade da sociedade moderna em sustentar o desenvolvimento econômico e social, muitos países têm desenvolvido estratégias de desenvolvimento baseada na sustentabilidade, que incluem dimensões políticas, econômicas, sociais, tecnológicas e ambientais, com objetivo de procurar soluções para o desenvolvimento das populações mundiais (REIS, 2012).

A questão energética tem um valor relevante no contexto ambiental e na busca pelo desenvolvimento sustentável. O suprimento eficiente e confiável de energia é considerado uma das condições básicas para o desenvolvimento econômico, juntamente com outros setores de infraestrutura, como água, saneamento, transporte e telecomunicação (REIS, 2019).

Além disso, há um desafio em alinhar o setor energético com o desenvolvimento sustentável, bem como, o aproveitamento dos recursos naturais nacionais com políticas públicas que valorizam o meio ambiente. São questões desafiadoras aos governantes atualmente, realizar um planejamento e execução de políticas públicas que utiliza os recursos naturais existentes sem prejudicar o meio ambiente e evitar problemas ecológicos irreversíveis (SILVA, 2010).

A atual matriz energética mundial possui uma dependência dos combustíveis fósseis, cuja queima contribui para aumentar rapidamente a concentração de gases

estufa na atmosfera. Devido a isso, nos últimos anos, a questão energética ocupou posição de destaque na agenda ambiental global e em negociações em convenções do clima, principalmente por causa das mudanças climáticas (REIS, 2019).

O conceito de desenvolvimento sustentável é proveniente de um processo de avaliação e reavaliação das relações entre a sociedade e o meio ambiente. Em busca de um equilíbrio entre as dimensões sociais, econômicas e ambientais, surgiu várias abordagens para conceituar esse tema. O desenvolvimento sustentável hoje é entendido pela sociedade sendo aquele que atende as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. O que se destaca é um novo critério normativo, onde a ordem econômica passa a ser reconstruída pela sustentabilidade ecológica, uma relação direta entre meio ambiente e o crescimento econômico (ABES, 2022).

2.1.3 Geração de energia elétrica

A geração de energia elétrica é o processo de geração de eletricidade a partir de fontes de energia primária, aquelas oriundas da natureza, que embora presentes livremente, precisam serem produzidas. Existem muitas fontes energéticas que podem ser utilizadas nessa produção, e o Brasil possui uma diversidade em sua matriz energética. A produção de eletricidade ocorre por meio de geradores nas chamadas usinas de energia, sendo o primeiro passo para que o fornecimento de energia alcance o consumidor final. Após a geração, outra fase é a transmissão e a distribuição (HINRICHS, 2010).

Importante observar, quando se refere a produção de energia elétrica, a distinção entre a geração centralizada e a geração distribuída de energia. A geração centralizada consiste na utilização de grandes fontes geradoras para se produzir energia elétrica que chega ao consumidor final por meio de complexos sistemas de transmissão e distribuição. No Brasil, predomina o uso de grandes usinas hidrelétricas e termelétricas (MOREIRA, 2019).

As usinas hidroelétricas, predominantes no Brasil, apresentam como princípio de funcionamento o aproveitamento da energia potencial da água acumulada nos reservatórios para movimentar uma turbina. Esta, por sua vez, produz energia mecânica de rotação em um eixo no qual está ligado o gerador que origina a energia elétrica. Para realizar a conexão da energia gerada nas linhas de transmissão, que

habitualmente apresentam tensões mais elevadas, é comum haver uma subestação junto à usina, que permite a elevação da tensão para que seja feita a conexão (BARROS, 2014). Todavia, a implantação de hidrelétricas pode gerar impactos ambientais na hidrologia, clima, erosão e assoreamento, sismologia, flora, fauna e alteração da paisagem. Na hidrologia impacta com a alteração do fluxo de corrente, alteração de vazão, alargamento do leito, aumento da profundidade, elevação do nível do lençol freático, mudança de lótico para lântico e geração de pântanos (LEITE, 2005).

As usinas termoelétricas, por sua vez, utilizam predominantemente como combustível o gás natural, a biomassa, o carvão, derivados de petróleo e materiais fissionáveis, no caso das usinas termonucleares. Essas usinas utilizam um combustível para gerar calor, que aquece a água, produz vapor, e é injetado em uma turbina que movimenta o gerador (BARROS, 2014). De igual forma as usinas hidrelétricas, essas também geram impactam ao meio ambiente. A geração de energia elétrica pelas centrais termoelétricas é a segunda maior produtora dos gases efeito estufa e, portanto, de grande influência no aquecimento global, perdendo apenas para o setor do transporte (REIS, 2003).

A geração distribuída (GD), por sua vez, é caracterizada por uma fonte de geração de energia elétrica que se conecta diretamente à rede de distribuição ou está situada no próprio consumidor. Comparada a convencional, tem a vantagem de economizar em transmissão, reduzindo as perdas neste processo, o que resulta em uma melhora na estabilidade na energia elétrica (INEE, 2022). Trata-se de um modelo de produção de energia elétrica por meio de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes de energia renovável, como placas solares, por exemplo.

2.1.4 A matriz energética do Brasil e o perfil do consumidor de energia elétrica

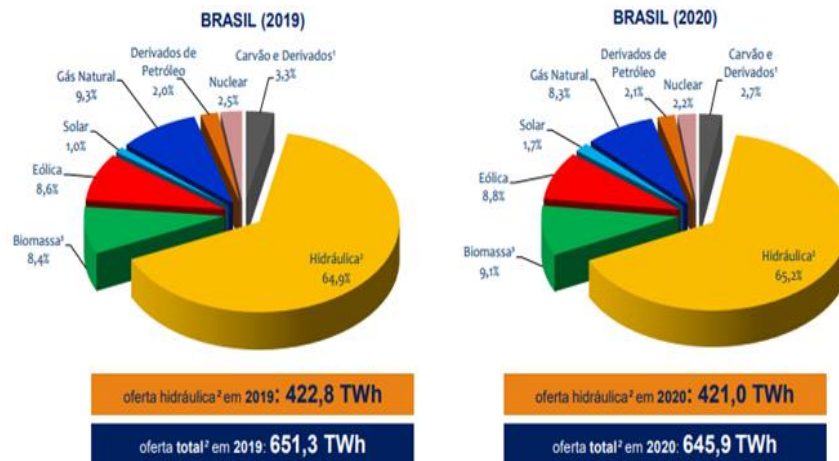
O sistema elétrico brasileiro apresenta-se como um sistema essencialmente hidrotérmico de grande porte com forte predominância de usinas hidroelétricas e com múltiplos proprietários, formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Enquanto as termoelétricas e as hidroelétricas são consideradas fontes firmes capazes de garantir o atendimento da demanda de carga típica do sistema, fontes renováveis como a eólica e a solar

fotovoltaica são consideradas fontes intermitentes de energia devido à variabilidade temporal elevada associada às condições meteorológicas (BEN, 2021).

A partir da década de 70, em virtude do crescimento econômico, o Brasil precisou investir em sua matriz energética para suprir a demanda interna. Nesse período, o setor industrial impulsionou fortemente o consumo de energia, que resultou nesse investimento. Já se percebia nessa época a relação entre o nível de consumo energético de um país e o seu desenvolvimento econômico e social. No mundo moderno, a melhoria das condições de vida da população está relacionada ao acesso direto à energia elétrica. O consumo de energia elétrica per capita é tomado como índice de desenvolvimento de um país. Dessa forma, é contraditório pensar em uma nação desenvolvida sem acesso à energia (PINTO, 2018). Nesse sentido, o desenvolvimento econômico e os altos padrões de vida são processos complexos que compartilham de um denominador comum: a disponibilidade de um abastecimento adequado e confiável de energia (HINRICHS, 2010).

A matriz energética é o panorama de distribuição real de aproveitamento dos recursos energéticos dentro de um país, de uma região ou do mundo (MOREIRA, 2019). Ela corresponde ao mapeamento de todas as fontes energéticas que contribuem para o fornecimento total de energia do local estudado, com seu respectivo percentual de contribuição. Considerando o estudo do âmbito nacional, a matriz energética brasileira representa o mapeamento de todas as fontes que fornecem energia no País, com o respectivo percentual de contribuição de cada fonte. Portanto, o conhecimento da matriz norteia a adoção de decisões quando se realiza o gerenciamento energético de uma instalação (BARROS, 2020).

A Empresa de Pesquisa Energética (BEN, 2021), retrata por meio da Figura 2 como é composta a matriz elétrica brasileira na atualidade.

Figura 2 – Matriz elétrica brasileira

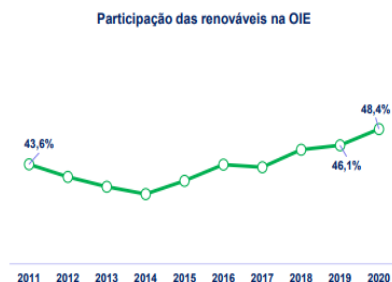
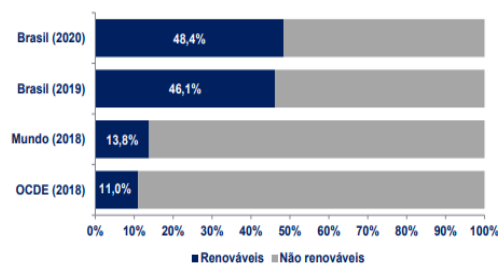
Fonte: BEN (2021, p. 40).

Em termos de matriz energética, no Brasil as hidrelétricas representam 65,2% do recurso energético disponível. Dado o elevado índice, nota-se a dependência do país quanto a esta fonte de energia. Com relação a oferta interna de energia, 2020 atingiu 287,6 Mtep, registrando uma queda de 2,2% em relação ao ano anterior. O aumento das fontes eólica e solar na geração de energia elétrica, bem como, com o avanço da oferta de biomassa da cana e biodiesel, contribuíram para que a matriz energética brasileira se mantivesse em um patamar renovável nunca antes observado (BEN, 2021). Dessa forma, a participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira pode ser observada de acordo com a Figura 3.

Figura 3 – Participação de energia renovável na matriz energética brasileira

BEN 2021 | Participação de renováveis na matriz energética¹

- ✓ Aumento da oferta da biomassa da cana e biodiesel;
- ✓ Redução da oferta das fontes não renováveis, com destaque para o recuo de petróleo e derivados (-5,6%).

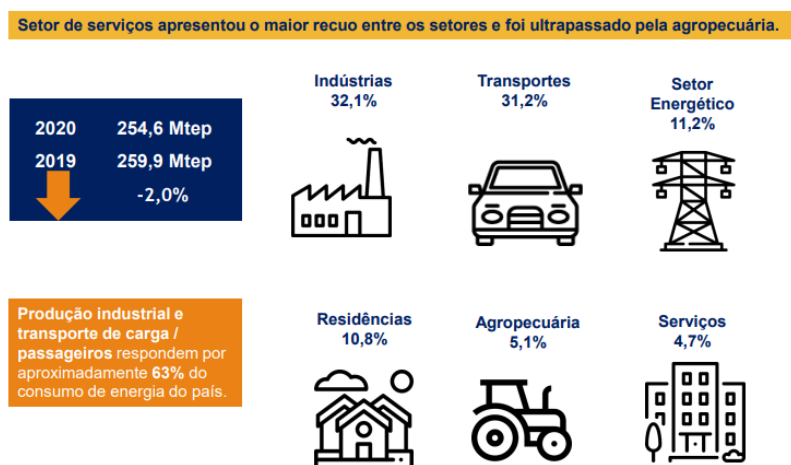


Fonte: BEN (2021, p. 14).

Quanto à estrutura de consumo de energia elétrica na matriz elétrica nacional, continua sendo maior a parcela industrial com 32,1%, seguida da parcela transportes com 11,2% e 10,8% da parcela residencial, com destaque para o setor agropecuário que ultrapassou o setor de serviços, conforme pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Usuários de energia elétrica no Brasil em 2020

BEN 2021 | Quem usou a energia no Brasil - 2020



Fonte: BEN (2021, p. 25).

Os dados da Empresa de Pesquisa Energética, publicados anualmente pelo Balanço Energético Nacional (BEN), aponta que, em 2020, o Brasil continua se destacando como um país com alto percentual de fontes renováveis de energia em sua oferta interna, demonstrando sua preocupação quanto a sua independência internacional.

Com relação aos aspectos de impactos ambientais e emissões de gases de efeito estufa, a participação das hidroelétricas na matriz elétrica brasileira torna o sistema elétrico brasileiro singular comparado a outros países. Todavia, assim como todas as fontes renováveis de energia, a hidroeletricidade está sujeita à influência de fatores climáticos de modo que os níveis de reservatório de água em períodos de seca podem atingir valores críticos sob o ponto de vista de segurança energética. Se houver escassez de água, põe em risco o sistema energético do país. Nos períodos de menor incidência de chuvas, o uso dessa água para geração de energia impacta criticamente no uso desse recurso para outros fins, tais como agricultura ou abastecimento (BEN, 2021).

2.2 Energia solar fotovoltaica

Nos últimos anos, o uso de combustíveis fósseis e o desmatamento das florestas têm aumentado os níveis do efeito estufa do planeta, que em consequência, produz vários efeitos potencialmente negativos. Os combustíveis fósseis têm sido a principal fonte de energia, a qual vem sendo esgotado a uma taxa crescente, o que põe em risco o atendimento às necessidades de energia no futuro. Em virtude disso, a utilização de fontes de energias limpas e renováveis resolveria esse problema, o que tem demandado um aumento no desenvolvimento de tecnologias que utilizem essas fontes de energias (PINTO, 2018).

A energia solar é uma das fontes de energia renováveis e inesgotáveis. Proveniente das radiações eletromagnéticas emitidas pelo sol, na forma de calor e luz, futuramente representará uma parcela considerável da matriz energética mundial (MOREIRA, 2019). Na atualidade, a tecnologia fotovoltaica, que transforma energia solar em elétrica, vem apresentando rápido crescimento, devido ao seu baixo impacto ambiental, a flexibilidade de utilização e a facilidade de construção e de operação. Por um tempo, a oferta de energia fotovoltaica teve como principal obstáculo o alto custo, entretanto, nos últimos anos houve uma expressiva expansão da utilização dessa tecnologia em todo o mundo, devido a intensas pesquisas, a incentivos governamentais e pela demanda crescente por fontes limpas (VIAN, 2021). Devido a isso, essa fonte de energia é hoje uma alternativa competitiva no fornecimento de energia para os mais variados setores da economia, seja para atender a demanda na indústria, em residências, no comércio, agricultura e transporte.

Com a queda acentuada dos preços dos geradores solares fotovoltaicos nos últimos anos, sua adoção por todo o território brasileiro é crescente e atingiu crescimento exponencial a partir do final de 2016. Gerar eletricidade solar é cada vez mais competitivo com os preços e tarifas de energia elétrica convencionais e cada vez mais as distribuidoras de energia vêm reconhecendo a tecnologia solar fotovoltaica muito mais como uma oportunidade do que como um risco (BEN, 2021).

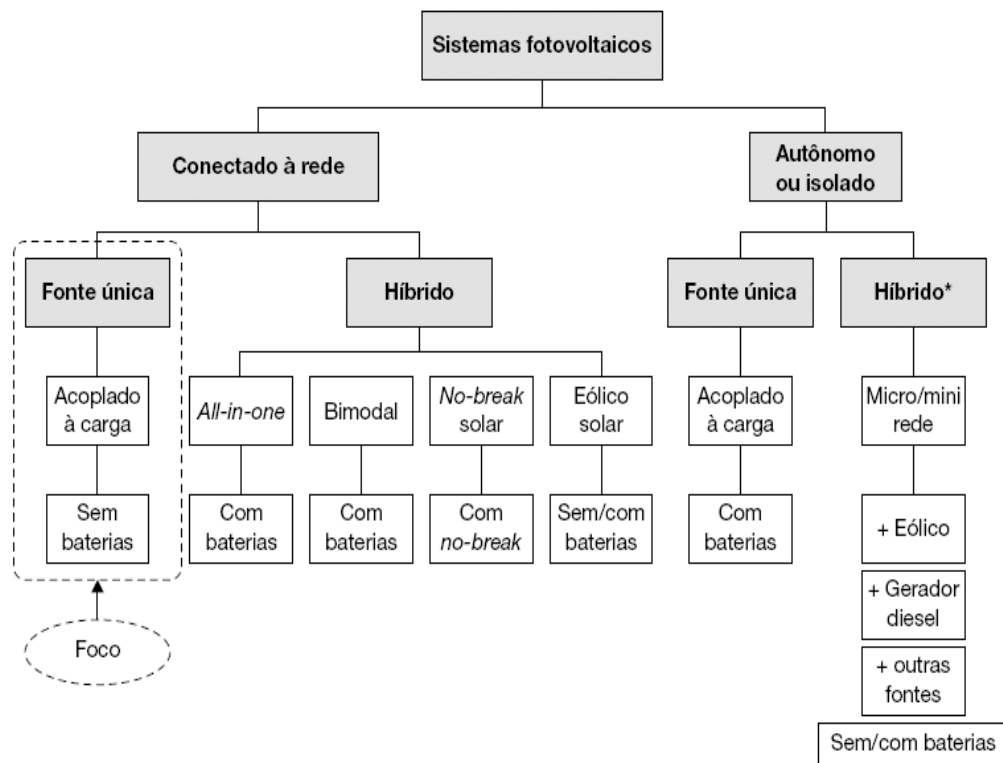
A energia fotovoltaica no Brasil tem despertado grande interesse, não só pelos aspectos já mencionados, mas também em virtude das características geográficas, climáticas e facilidade de encontrar terrenos para abrigar as instalações geradoras de energia, de modo que não haja prejuízo ambiental (VIAN, 2021). O Brasil é considerado um país propício à geração de energia solar, tendo em vista a incidência

de raios solares em seu território bem como, suas reservas de quartzo para produção do silício, que é a matéria prima da produção de células fotovoltaicas.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados tecnicamente quanto a sua topologia e configuração, conforme Figura 5.

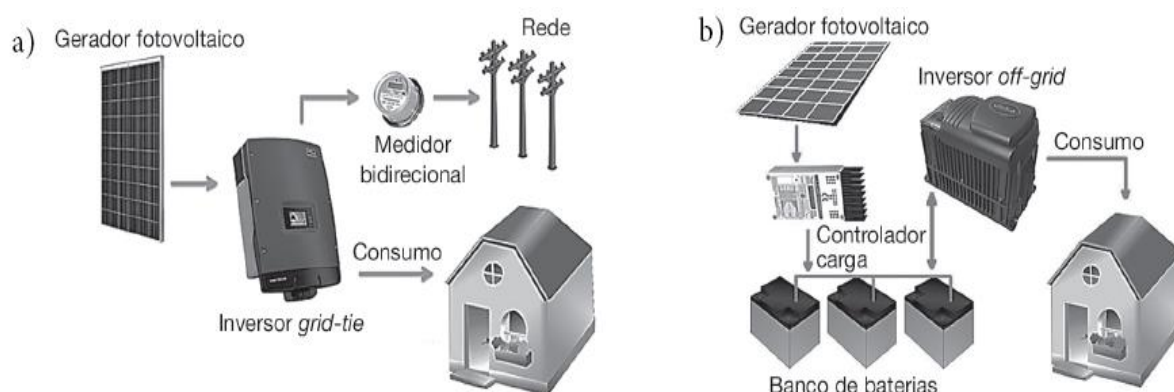
Há dois critérios para essa classificação: o primeiro relativo à condição de conexão no ponto de saída do gerador, e outro relacionado com a quantidade de fontes e o grau de integração dos sistemas. Assim, dentro do primeiro critério, tem-se dois tipos de configuração conforme sua condição de conexão: o sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFCR), também conhecido como *grid-tied* ou *on-grid*, e o sistema isolado, também conhecido como autônomo, isolado ou *stand-alone* (SFA), mostrado na Figura 6.

Figura 5 – Sistemas fotovoltaicos



Fonte: MOREIRA (2021, p. 277).

Figura 6 – Geradores fotovoltaicos



Fonte: MOREIRA (2021, p. 278).

De acordo com a ABNT NBR 11704:2008, entende-se como conexão à rede, a interligação do sistema fotovoltaico com o sistema público de fornecimento de energia local. Regulamentado no Brasil em 2012, sistema fotovoltaico permite ao consumidor usufruir do regime de compensação de energia elétrica, conforme Resolução Normativa Aneel no 482/2012. Ou seja, é cobrada do consumidor somente a parcela equivalente à diferença entre a energia elétrica consumida e a gerada, e, portanto, não necessitando mais do banco de baterias.

Por sua vez, o sistema fotovoltaico autônomo necessita de um elemento para acumular a energia gerada durante o período de insolação do dia para posterior consumo durante a noite. O mais frequente é o uso de baterias para acumular essa energia gerada. Trata-se de um sistema muito utilizado em locais remotos sem disponibilidade de energia elétrica (MOREIRA, 2021).

Conforme mencionado, os sistemas fotovoltaicos são definidos de acordo com a Norma Brasileira NBR 11704:2008. Esta norma define equipamentos e a classificação dos sistemas fotovoltaicos (ABNT, 2008). Quanto aos equipamentos utilizados em sistemas fotovoltaicos, os mesmos são definidos da seguinte maneira:

- Controlador de carga: equipamento eletrônico destinado a controlar e monitorar a carga e/ou descarga do banco de baterias, podendo ter seguidor de potência máxima integrada;
- Inversor: equipamento eletrônico destinado a converter tensão contínua, oriunda do gerador fotovoltaico ou do banco de baterias, em tensão alternada, podendo ter seguidor de potência máxima integrada;

- Seguidor de potência máxima: dispositivo de controle que permite ao sistema funcionar próximo do ponto de potência máxima do gerador fotovoltaico, sob diferentes condições de irradiação, temperatura e carga.

Quanto à interligação com o sistema público de fornecimento de energia elétrica, os sistemas podem ser classificados como:

- Sistemas isolados: são aqueles que não possuem qualquer conexão com o sistema público de fornecimento de energia elétrica;

- Sistemas conectados à rede elétrica: são aqueles efetivamente conectados ao sistema público de fornecimento de energia elétrica. Quanto à configuração, os sistemas podem ser classificados como:

- Sistemas puros: são aqueles que utilizam gerador fotovoltaico como único gerador de energia elétrica;

- Sistemas híbridos: são aqueles que resultam da associação do gerador fotovoltaico com outros tipos de geradores de energia elétrica.

Os painéis solares são os principais componentes do sistema fotovoltaico de geração de energia. São formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente em série. Esse conjunto de painéis são os responsáveis pelo processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica.

2.2.1 Potencial do recurso solar no Brasil

Em 2007 foi lançado no Brasil o Atlas Brasileiro de Energia Solar (ABES), pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), com objetivo de divulgar o levantamento de uma base de dados solares confiáveis e de alta qualidade, cobrindo todo o território nacional e em alta resolução. Com o intuito de contribuir com o planejamento do setor elétrico brasileiro, o Atlas Brasileiro de Energia Solar disponibiliza uma base de dados pública com informações cientificamente embasadas sobre o potencial e a variabilidade espacial e temporal do recurso energético solar no território brasileiro.

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE, 2017), a energia solar é temporalmente intermitente e apresenta uma variabilidade espacial elevada em razão de sua forte relação com condições meteorológicas locais, como cobertura

de nuvens, concentração de gases atmosféricos, sistemas sinóticos entre outros, e fatores astronômicos associados aos movimentos orbital e de rotação da Terra. Conhecer o potencial do recurso solar que incide a superfície da terra, sua variabilidade, é essencial para se ter uma maior eficiência do uso dessa fonte de energia. A avaliação do potencial de recursos de energia solar numa região envolve basicamente três componentes: a distribuição espacial, sua variabilidade temporal e as incertezas associadas às duas primeiras componentes. As três componentes são essenciais para elaboração de cenários de aplicação e para estudos preliminares de viabilidade de aproveitamento do recurso solar.

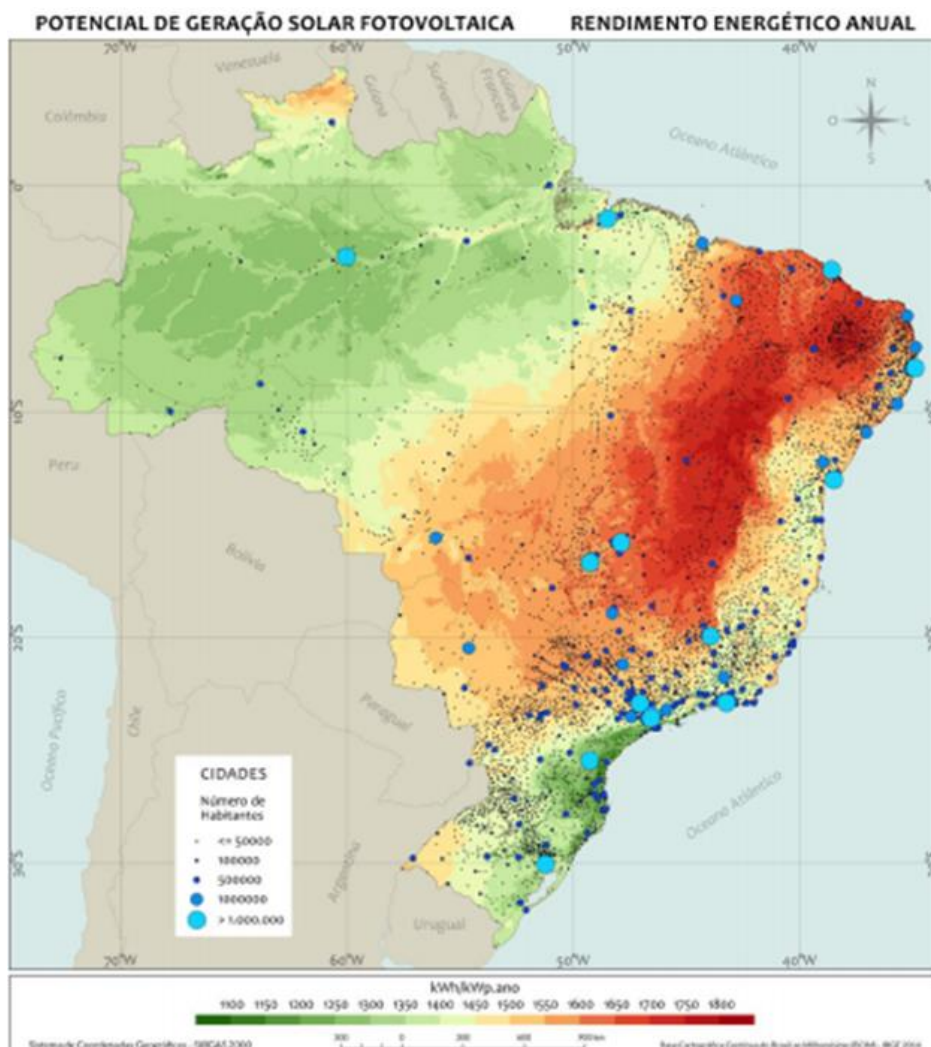
O Brasil por ser um país localizado em sua maior parte na região intertropical, tem grande potencial de energia solar durante todo o ano. É importante ressaltar que mesmo as regiões com menores índices de radiação apresentam grande potencial de aproveitamento energético. Existe uma infinidade de pequenos aproveitamentos da energia solar no Brasil, mas isso ainda é pouco significativo diante do grande potencial existente (PINTO, 2018).

Somente parte da radiação solar atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios pela atmosfera. Mesmo assim, estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial. As nuvens, os gases, as partículas atmosféricas e a superfície da Terra refletem cerca de 30% da radiação incidente no topo da atmosfera. Os 70% restantes são absorvidos, produzindo o aquecimento do sistema e causando a evaporação de água (PINTO, 2018).

A disponibilidade do recurso energético solar está associada as condições de tempo e clima de uma região do país. Os sistemas meteorológicos provocam alterações na nebulosidade e nas concentrações dos gases e aerossóis, que afeta os processos radiativos e atenuam a radiação solar ao longo de seu percurso na atmosfera. Devido a extensão territorial do Brasil, o relevo e a dinâmica das massas de ar, seu clima é diversificado em consequência desses fatores. Pontos mais elevados tendem a ser mais frios, além de criarem condições propícias para a formação de nebulosidade e através da condensação por levantamento nas encostas. A dinâmica atmosférica é de suma importância porque atua diretamente tanto na temperatura quanto na precipitação, provocando as diferenças climáticas regionais. (INPE, 2017).

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Elétrica (INPE, 2017), a geração fotovoltaica de energia elétrica tem um grande potencial no Brasil, como indica o mapa da Figura 7. No local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, por exemplo. O mapa mostra o rendimento energético anual máximo (medido em kWh de energia elétrica gerada por ano para cada kWp de potência fotovoltaica instalada) em todo o território nacional, tanto para usinas de grande porte centralizadas e instaladas em solo, como para a geração fotovoltaica distribuída integrada em telhados e coberturas de edificações. A taxa de desempenho médio anual de 80% foi adotada para simplificar a análise e representa o desempenho de um gerador solar fotovoltaico bem projetado e instalado com equipamentos de boa qualidade e etiquetados pelo INMETRO.

Figura 7 – Potencial de geração de energia solar fotovoltaica



Fonte: INPE (2017, p. 36).

2.2.2 Incentivos à inserção da energia solar e à geração distribuída na matriz elétrica brasileira

Em 1994, por meio do Programa de Desenvolvimento Energéticos de Estados e Municípios (PRODEEM), instituído pelo Governo Federal, no âmbito da Secretaria de Energia do Ministério de Minas e Energia – MME, teve início a utilização de sistemas fotovoltaicos para a geração de energia elétrica no Brasil. A finalidade era atender comunidades isoladas, sem acesso a eletricidade, para bombeamento de água, iluminação pública e sistemas energéticos coletivos.

Por meio do Convênio nº 101, de 1997, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), isentou do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) as operações que envolvia equipamentos destinados à geração de energia elétrica por células fotovoltaicas. Entretanto, alguns equipamentos utilizados pela geração solar, como inversores e medidores, não receberam esse benefício.

A partir de 2012 a agência reguladora ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) estabeleceu as regras e a regulamentação para a assim chamada micro e minigeração. Com a Resolução Normativa 482/2012, o Brasil adotou o mecanismo de compensação de energia, em que um telhado solar pode ser conectado na rede elétrica pública através da Unidade Consumidora e injetar o excedente na rede elétrica como se ela fosse uma bateria de capacidade infinita, acumulando créditos a serem compensados em kWh (INPE, 2017).

Também a partir de 1º de março de 2016, com a REN 687/2015, a ANEEL revisou a regulamentação e estendeu a abrangência dos telhados solares para os conceitos de condomínio, consórcio, cooperativa e também autoconsumo remoto. Com isso, quem mora em apartamento e não tem um telhado para “solarizar” pode agora gerar eletricidade solar em outro local (por exemplo numa chácara ou casa de praia de sua propriedade) e utilizar os créditos de energia gerados em seu apartamento na cidade, desde que dentro da área de concessão da distribuidora (INPE, 2017).

O Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) realizou dois convênios (101/97 e 16/2015) importantes para a energia solar fotovoltaica no Brasil, isentando do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) as operações envolvendo alguns equipamentos utilizados para a geração de energia

elétrica (solar e eólica) e isentando os estados a cobrarem ICMS sobre a energia injetada na rede, PL 5829/2019.

Além disso, observa-se também, incentivos por meio de condições diferenciadas de financiamento, por meio do BNDES, do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC) e recursos da Caixa Econômica Federal.

2.3 Geração de energia elétrica no Estado do Paraná

A Copel – Companhia Paranaense de Energia, foi criada em 26 de outubro de 1954, com controle acionário do Estado do Paraná, abriu seu capital ao mercado de ações em abril de 1994 (BM&FBovespa) e tornou-se em julho de 1997 a primeira do setor elétrico brasileiro listada na Bolsa de Valores de Nova Iorque. Sua marca também está presente, desde junho de 2002, na Comunidade Econômica Européia, com seu ingresso na Latibex – o braço latino americano da Bolsa de Valores de Madri. A partir do dia 7 de maio de 2008, as ações da Copel passaram a integrar oficialmente o Nível 1 de Governança Corporativa da Bolsa de Valores Mercadorias e Futuros – BM&FBovespa (COPEL, 2021).

A Companhia atende diretamente a 4.515.938 unidades consumidoras em 394 municípios e 1.113 localidades (distritos, vilas e povoados) paranaenses. Nesse universo incluem-se 3,6 milhões de lares, 78 mil indústrias, 384 mil estabelecimentos comerciais e 356 mil propriedades rurais. O quadro de pessoal é integrado por 8.453 empregados (COPEL, 2021).

Sua estrutura compreende a operação de:

- Parque gerador próprio composto por 30 usinas próprias e 11 participações, cuja potência instalada totaliza 5.675 MW – 93% proveniente de fontes renováveis como hídrica e eólica – e que responde pela produção de algo como 4% de toda eletricidade gerada no Brasil.
- Sistema de transmissão formado por mais de 4 mil km de linhas e 45 subestações automatizadas.
- Sistema de distribuição com 195 mil km de linhas – a terceira maior do País – e 362 subestações automatizadas.

- Sistema óptico de telecomunicações com 30 mil km de fibras, atendendo a 49 mil clientes nas 399 cidades do Paraná e em duas de Santa Catarina (COPEL, 2021).

2.4 Análise da Lei 14.300/2022 – marco legal da geração distribuída

Para compreender o contexto da Lei do marco legal da geração distribuída, faz necessária a análise de outros dispositivos legais que antecederam este dispositivo. Importante observar primeiramente a Resolução Normativa – REN nº 482, publicada em 2012, que teve como objetivo reduzir as barreiras para a conexão de micro e mini geração distribuída e incentivar o desenvolvimento do mercado brasileiro, principalmente da geração fotovoltaica, que é o tipo de fonte mais utilizada nesse tipo de mercado. Como forma de estímulo, a referida Resolução criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, que permitiu que a energia excedente gerada por uma unidade consumidora seja injetada na rede da distribuidora e posteriormente utilizada para abater o seu consumo mensal. Caso essa energia injetada seja superior à energia consumida, o consumidor recebe um crédito em energia (kWh) a ser utilizado para abater o consumo dos meses subsequentes (ANEEL, 2022).

De acordo com a Resolução analisada, o modelo implementado estabelecia que a energia injetada seja utilizada para abater integralmente a energia consumida (considerando todas as componentes tarifárias), de modo que a energia injetada na rede pelo gerador é valorada pela tarifa de energia elétrica estabelecida para os consumidores (ANEEL, 2022).

Em 2015 foi promulgada a Resolução Normativa nº 687, aprimorando as regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída, com a elevação da potência limite de 1 MW para 5 MW (ou 3 MW para fontes hídricas) e a criação dos modelos de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras e geração compartilhada, sendo mantido modelo originalmente estabelecido para o Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

A problemática encontrava-se na discussão sobre a valoração da energia injetada na rede, que podia não refletir o real impacto da geração distribuída para a sociedade. As distribuidoras alegavam que o Sistema de Compensação não possibilita a adequada remuneração pelo uso da rede de distribuição. Por sua vez,

empresas revendedoras de sistemas fotovoltaicos e consumidores, alegavam que o modelo de compensação de energia deveria permanecer. Essa discussão foi fomentada pela ausência de quantificação dos custos e benefícios da geração distribuída de pequeno porte no Brasil, o que gerou questionamentos sobre um possível desalinhamento da forma de compensação vigente em relação à atual realidade da micro e minigeração distribuída (ANEEL, 2022). O modelo de compensação poderia estar ocasionando a transferência de custos ou benefícios aos consumidores que não possuem geração distribuída e que dependem exclusivamente da energia fornecida pela distribuidora.

Para a ANEEL, a revisão da REN nº 482/2012 visou criar um ambiente em que a micro e minigeração possam se desenvolver de forma sustentável, reduzindo eventuais transferências de custos aos demais usuários das redes de distribuição. Ou seja, era preciso minimizar impactos tarifários advindos da geração distribuída e, ao mesmo tempo, manter reduzidas as barreiras para a implantação desse tipo de empreendimento.

Assim, surgiu a necessidade da criação de uma lei federal para regulamentar o setor energético, de assegurar o mercado de micro e minigeradoras distribuída (MMGD) de energia. Surgiu então o Projeto de Lei 5.829 de 2019 para criação de um Marco Legal da geração distribuída no Brasil.

Publicado no Diário Oficial da União no dia 07 de janeiro de 2022, a Lei 14.300 regulamentou o marco legal para micro e minigeradores de energia no Brasil, dando maior segurança jurídica às unidades consumidoras já beneficiadas pela própria geração de energia elétrica. Esta lei introduziu regras mais detalhadas aplicadas ao mercado de geração distribuída, atualmente regulamentado pela Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL.

Para uma melhor compreensão, a microgeração distribuída, de acordo com a Lei 14.300/22, conceitua central geradora de energia elétrica, com potência instalada, em corrente alternada, menor ou igual a 75 kW (setenta e cinco quilowatts) e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras. Por sua vez, minigeração distribuída é caracterizada pela central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada que não se classifica como microgeração distribuída e que possua potência instalada, em corrente alternada,

maior que 75 kW (setenta e cinco quilowatts), menor ou igual a 5 MW (cinco megawatts) para as fontes despacháveis e menor ou igual a 3 MW (três megawatts) para as fontes não despacháveis, conforme regulamentação da Aneel, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras.

Um dos temas mais discutidos na lei em análise é sobre a cobrança de tarifas de uso dos sistemas de distribuição dos micros e minigeradores, e que põe em dúvida a viabilidade financeira do investimento. As unidades consumidoras que já produzem sua própria energia hoje, participantes do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), continuarão por mais 25 anos com os benefícios concedidos atualmente pela ANEEL. Essa garantia se estende também as unidades consumidoras que protocolarem a solicitação de acesso na distribuidora em até 12 meses contados da data da publicação da lei. Ou seja, para eles as regras atualmente vigentes pela REN 482 seguirão aplicáveis até o final de 2045. De acordo com o Art. 26, parágrafo primeiro, o faturamento destas unidades se dará pela incidência das componentes tarifárias somente na diferença positiva entre a energia consumida e a soma da energia injetada no mês.

Assim, até 2045, micro e minigeradores existentes pagarão os componentes da tarifa somente sobre a diferença, entre o consumido e o gerado e injetado na rede de distribuição, exatamente como já ocorre hoje.

A partir de 12 meses, há uma transição de 7 a 9 anos no pagamento de encargos de distribuição, que serão relativos à remuneração dos ativos do serviço de distribuição, da depreciação dos equipamentos da rede e do custo da operação e manutenção do serviço.

De acordo com o art. 66, parágrafos 1 ao 3, A Lei 14.300/2022 criou o Programa de Energia Renovável Social (PERS), com o objetivo de financiar a instalação de geração fotovoltaica e outras fontes renováveis para consumidores de baixa renda, com recursos provenientes do Programa de Eficiência Energética (PEE).

3 ESTUDO DE CASO

Diversas empresas atualmente buscam maximizar seus lucros com a redução das despesas e minimização dos impactos ambientais. Investir em energia solar fotovoltaica tem sido nos últimos anos uma das maneiras de se atingir esses objetivos, tendo em vista os altos custos energéticos aliado a busca de sustentabilidade. Todavia, ao realizar um grande investimento nessa área, faz-se necessário um grande planejamento financeiro afim de analisar sua viabilidade econômica.

Com base nisso, a presente pesquisa realizou uma análise de verificação de viabilidade econômica de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede, com base na produção de energia produzida pelo sistema em efetivo funcionamento, analisando os valores consumidos e compensados de energia elétrica, com base nas faturas de energia elétrica no período de janeiro a dezembro de 2021.

Diferentemente de outras análises de viabilidade, realizada previamente ao investimento, esta teve por objetivo verificar se a viabilidade apresentada ao consumidor corresponde a viabilidade analisada por meio da produção de energia, consumo e compensação, referente a um ano de efetivo funcionamento do sistema solar fotovoltaico.

O presente estudo de caso foi realizado em um sistema solar fotovoltaico conectado à rede, de uma propriedade rural localizada na cidade de Campo Mourão – PR. O projeto de investimento apresentado buscou suprir a demanda do proprietário em 06 unidades consumidoras, sendo uma unidade rural e 05 unidades residenciais.

Em 2019 iniciou-se os estudos do projeto para implantação de placas solares fotovoltaica. No início de 2020 o sistema foi implantado, entrando em efetividade na metade do ano. Os valores analisados no presente estudo de caso foram calculados referente ao período de janeiro de 2021 a dezembro de 2021.

3.1 Análise do projeto de instalação do sistema de geração de energia fotovoltaica

Previamente a instalação do sistema de geração de energia fotovoltaica, objeto da presente análise, foi apresentado ao investidor um projeto de viabilidade econômica, em que foi analisado o consumo médio de energia mensal das

propriedades, a expectativa de geração de energia, e o orçamento do investimento, conforme Figura 8. Com base nisso, o parecer do projeto foi favorável economicamente.

De acordo com o orçamento apresentado, para suprir a demanda energética do consumidor, foi necessário instalar 348 placas solares na propriedade, em uma área de 730,8 m², com um custo de R\$ 391.324,66, conforme Figura 8.

Figura 8 – Projeto – orçamento

Equipamentos			
	Potência Total		
	125,28 kWp		
Inversor Solar		Quantidade	
3FRONIUS 25KW e 1 27KW		4	
Módulos Fotovoltaicos		Quantidade	
CANADIAN 360w		348	
Item		Quantidade	
StringBox		1	
Transformador para	102 kWp	1	
Disjuntor		1	
Área necessária:	730,8 m ²	Peso aprox. por m²:	10,6 Kg/m ²
Total do Investimento R\$ 391.324,66			

Fonte: SOLAR ADVANCE (2020, p. 3).

Importante destacar que o valor apresentado de R\$ 391.324,66 se refere apenas ao sistema de geração de energia elétrica demonstrado, ficando de fora outros valores necessários para instalação do sistema, que resultará no investimento total, de acordo com a Tabela 01.

Tabela 01 – Investimento total

Investimento total	
Sistema fotovoltaico	R\$ 391.324,66
Materiais civis	R\$ 8.000,00
Mão de obra para instalação	R\$ 5.000,00
Total	R\$ 412.324,66

Fonte: Autoria própria (2022).

Dessa forma, o valor total do investimento foi de R\$ 412.324,66.

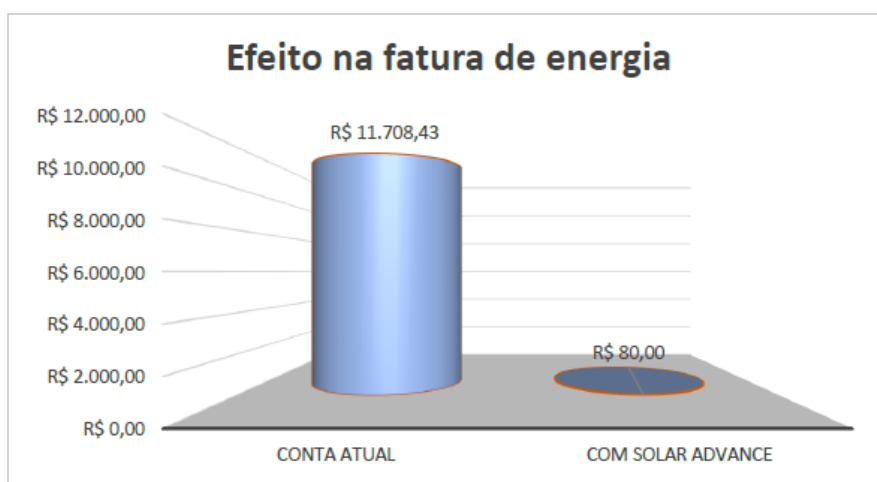
Com relação a potência projetada, foi analisada com base no histórico de consumo de energia das propriedades, sendo apresentado o estudo financeiro de acordo com a Figura 09.

Figura 09 – Projeto – análise financeira

Análise Financeira

Garantia de Geração: 25 anos

Perda de Eficiência: 0,8% a.a.




Retorno do investimento:

2 anos

Redução na fatura:

99%

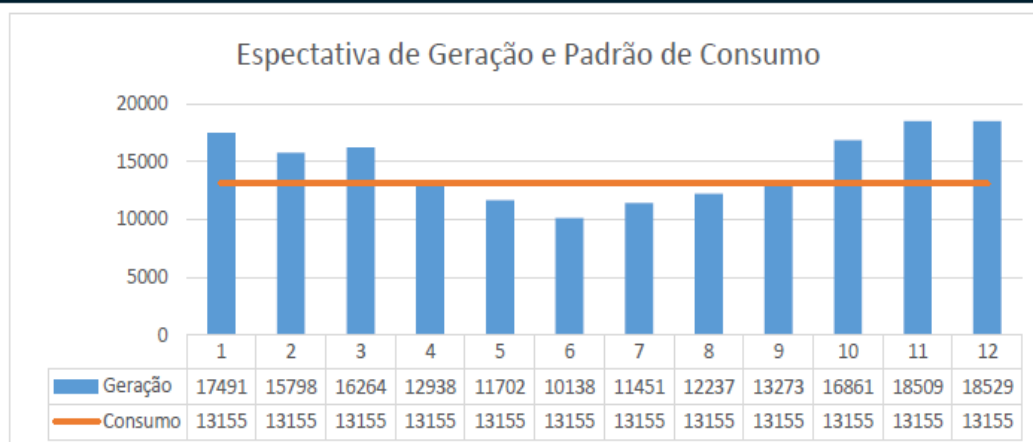
 A economia financeira estimada mensalmente é calculada levando-se em conta somente a energia consumida em kWh, quaisquer outras taxas, multas, tarifas, a exemplo da iluminação pública, não estão contemplados neste gráfico, visto que não podem ser reduzidas com a geração fotovoltaica de energia elétrica.

Fonte: SOLAR ADVANCE (2020, p. 3).

Por fim, para embasar a viabilidade do projeto, foi apresentado ao investidor uma expectativa de geração de energia, de acordo com a Figura 10.


Figura 10 – Projeto – expectativa de geração de energia


Dados da Geração



Consumo Médio Mensal: 13155 kWh **Economia Mensal:** R\$ 11.628,43

Geração Média Mensal: 14536 kWh **Porcentagem Suprida:** 110%

 A estimativa de geração média apresentada foi calculada em um cenário ideal. Por se tratar de uma fonte intermitente e sensível à fatores externos, a geração pode sofrer variações positivas ou negativas em decorrência das características físicas do telhado, sombreamento e/ou posicionamento dos módulos. A estimativa de geração média apresentada foi calculada em um cenário ideal.

 Por se tratar de uma fonte intermitente e sensível à fatores externos, a geração pode sofrer variações positivas ou negativas em decorrência das características físicas do telhado, sombreamento e/ou posicionamento dos módulos.

Fonte: SOLAR ADVANCE (2020, p. 4).

Com base no projeto demonstrado, em 2020 o investidor realizou a instalação do sistema fotovoltaico apresentado, iniciando a produção de energia a partir de setembro do mesmo ano.

3.2 Análise da produção de energia em 2021

Após 16 meses de efetivo funcionamento do sistema de geração de energia solar fotovoltaica, foi possível realizar o presente estudo, com base nos valores produzidos e compensados de energia elétrica, de acordo com as faturas apresentadas pela COPEL, no período de janeiro a dezembro de 2021.

Tabela 02 – Histórico de produção energética

MÊS	ENERGIA MENSAL PRODUZIDA - kWh	MWh
Janeiro / 2021	11450	11,45
Fevereiro / 2021	11560	11,56
Março / 2021	10630	10,63
Abril / 2021	4163,19	4,16
Maio / 2021	11870	11,87
junho / 2021	9790	9,79
Julho / 2021	12370	12,37
Agosto / 2021	12440	12,44
Setembro / 2021	13210	13,21
Outubro / 2021	3332,29	3,33
Novembro / 2021	9500	9,5
Dezembro / 2021	14150	14,15
TOTAL ANUAL	124465,48	124,46
MÉDIA	10372,12	10,37

Fonte: Autoria própria (2022).

A seguir, segue o histórico de produção de energia elétrica de janeiro a dezembro de 2021, com base na medição do sistema Solar Web que gere toda a produção de energia do sistema instalado.

Na Figura 11 é possível observar o gráfico do sistema fotovoltaico Solar Web, referente aos valores apresentados.

Figura 11 – Histórico de produção energética anual

Fonte: www.solarweb.com.br (2021).

De acordo com as Figuras 9 e 10, é possível verificar a produção de energia do Sistema Fotovoltaico em meses individualmente, totalizando 124.465 kWh anual, o que representa uma média mês de 10.372 kWh. Importante observar que nos meses de abril e outubro houve uma queda brusca na produção de energia, justificado pela manutenção das placas solares. Para uma análise concreta do sistema, foi mantido os meses conforme produção, para demonstrar uma análise de acordo com a realidade do período. Com relação a manutenção do sistema fotovoltaico, foi levantado um valor médio anual de R\$ 3.600,00 referente ao ano de 2021, valores esses relacionados a limpeza e pequenos reparos civis nas instalações.

3.3 Análise do consumo de energia / valores compensados na geração

De posse de todas as faturas de energia elétrica das 06 unidades consumidoras em estudo, foi possível identificar o valor de energia consumido de cada unidade, bem como, o valor em Reais (R\$) compensado na geração de energia na fatura de energia. Logo, foi possível identificar o valor consumido, compensado e pago em cada mês individualmente, das 06 unidades consumidoras, nos 12 meses do ano de 2021, conforme apresentado nas tabelas a seguir.

Tabela 03 – Unidade consumidora 01 – Grupo B

Meses/2021	Consumo faturado (kWh)	Valor compensado na geração (R\$)*	Valor pago (R\$)
Janeiro / 2021	3365	R\$ 707,62	R\$ 1.087,62
Fevereiro / 2021	3293	R\$ 971,69	R\$ 742,31
Março / 2021	100	R\$ 0,00	R\$ 1,43
Abril / 2021	3030	R\$ 847,19	R\$ 626,68
Mai / 2021	2935	R\$ 868,04	R\$ 614,48
Junho / 2021	1668	R\$ 765,77	R\$ 49,88
Julho / 2021	2763	R\$ 1.166,28	R\$ 500,92
Agosto / 2021	2666	R\$ 1.129,12	R\$ 520,54
Setembro / 2021	3871	R\$ 447,30	R\$ 4.164,51
Outubro / 2021	2702	R\$ 1.041,65	R\$ 817,26
Novembro / 2021	2716	R\$ 1.079,49	R\$ 797,75
Dezembro / 2021	3351	R\$ 254,19	R\$ 4.392,54
TOTAL (Ano 2021)	32460	R\$ 9.278,34	R\$ 14.315,92

* Compensação do consumo Micro/Mini geração. Subsídio Tarifário Líquido.

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 04 – Unidade consumidora 02 – Grupo B

Meses/2021	Consumo faturado (kWh)	Valor compensado na geração (R\$)*	Valor pago (R\$)
Janeiro / 2021	3474	R\$ 1.639,51	R\$ 15,26
Fevereiro / 2021	3048	R\$ 1.466,84	R\$ 0,00
Março / 2021	2649	R\$ 1.209,46	R\$ 0,00
Abril / 2021	2593	R\$ 1.171,30	R\$ 0,00
Mai / 2021	3199	R\$ 1.432,80	R\$ 0,00
Junho / 2021	1776	R\$ 841,07	R\$ 0,00
Julho / 2021	3039	R\$ 1.361,14	R\$ 0,00
Agosto / 2021	3006	R\$ 1.745,91	R\$ 19,92
Setembro / 2021	2592	R\$ 1.513,08	R\$ 18,88
Outubro / 2021	3034	R\$ 1.905,77	R\$ 20,38
Novembro / 2021	2985	R\$ 1.874,71	R\$ 20,75
Dezembro / 2021	3968	R\$ 2.497,69	R\$ 20,98
TOTAL (Ano 2021)	35363	R\$ 18.659,28	R\$ 116,17

* Compensação do consumo Micro/Mini geração. Subsídio Tarifário Líquido.

Autoria própria (2022).

Tabela 05 – Unidade consumidora 03 – Grupo B

Meses/2021	Consumo faturado (kWh)	Valor compensado na geração (R\$)*	Valor pago (R\$)
Janeiro / 2021	885	R\$ 438,39	R\$ 241,45
Fevereiro / 2021	879	R\$ 409,89	R\$ 270,66
Março / 2021	1010	R\$ 478,83	R\$ 273,15
Abril / 2021	1433	R\$ 701,40	R\$ 301,72
Mai / 2021	1100	R\$ 535,30	R\$ 268,27
Junho / 2021	1132	R\$ 578,59	R\$ 275,25
Julho / 2021	1302	R\$ 730,76	R\$ 319,94
Agosto / 2021	1339	R\$ 809,94	R\$ 339,65
Setembro / 2021	1156	R\$ 703,57	R\$ 303,54
Outubro / 2021	965	R\$ 609,16	R\$ 278,34
Novembro / 2021	1194	R\$ 766,66	R\$ 350,89
Dezembro / 2021	1147	R\$ 733,73	R\$ 330,72
TOTAL (Ano 2021)	13542	R\$ 7.496,22	R\$ 3.553,58

* Compensação do consumo Micro/Mini geração. Subsídio Tarifário Líquido.

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 06 – Unidade consumidora 04 – Grupo B

Meses/2021	Consumo faturado (kWh)	Valor compensado na geração (R\$)*	Valor pago (R\$)
Janeiro / 2021	1547	R\$ 318,99	R\$ 318,99
Fevereiro / 2021	1252	R\$ 606,18	R\$ 283,92
Março / 2021	1623	R\$ 801,32	R\$ 321,48
Abril / 2021	1361	R\$ 663,51	R\$ 294,34
Maiio / 2021	1280	R\$ 631,75	R\$ 286,71
Junho / 2021	1547	R\$ 811,29	R\$ 317,77
Julho / 2021	2075	R\$ 1.200,73	R\$ 386,76
Agosto / 2021	2009	R\$ 1.247,95	R\$ 394,16
Setembro / 2021	1975	R\$ 1.249,27	R\$ 393,84
Outubro / 2021	1763	R\$ 1.165,43	R\$ 376,02
Novembro / 2021	2204	R\$ 1.147,47	R\$ 426,71
Dezembro / 2021	1663	R\$ 1.095,35	R\$ 367,75
TOTAL (Ano 2021)	20299	R\$ 10.939,24	R\$ 4.168,45

* Compensação do consumo Micro/Mini geração. Subsídio Tarifário Líquido.

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 07 – Unidade consumidora 05 – Grupo B

Meses/2021	Consumo faturado (kWh)	Valor compensado na geração (R\$)*	Valor pago (R\$)
Janeiro / 2021	455	R\$ 198,19	R\$ 177,95
Fevereiro / 2021	263	R\$ 85,76	R\$ 124,26
Março / 2021	377	R\$ 145,74	R\$ 164,65
Abril / 2021	452	R\$ 185,19	R\$ 172,04
Maiio / 2021	482	R\$ 204,46	R\$ 175,79
Junho / 2021	421	R\$ 179,95	R\$ 173,24
Julho / 2021	403	R\$ 184,18	R\$ 179,50
Agosto / 2021	472	R\$ 243,17	R\$ 195,55
Setembro / 2021	481	R\$ 253,54	R\$ 199,97
Outubro / 2021	425	R\$ 227,75	R\$ 199,37
Novembro / 2021	508	R\$ 285,92	R\$ 210,58
Dezembro / 2021	514	R\$ 290,11	R\$ 211,92
TOTAL (Ano 2021)	5253	R\$ 2.483,96	R\$ 2.184,82

* Compensação do consumo Micro/Mini geração. Subsídio Tarifário Líquido.

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 08 – Unidade consumidora 06 – Grupo B

Meses/2021	Consumo faturado (kWh)	Valor compensado na geração (R\$)*	Valor pago (R\$)
Janeiro / 2021	719	R\$ 423,96	R\$ 167,11
Fevereiro / 2021	645	R\$ 477,35	R\$ 0,00
Março / 2021	867	R\$ 833,56	R\$ 1.355,97
Abril / 2021	17255	R\$ 3.959,18	R\$ 5.534,71
Mai / 2021	1978	R\$ 863,79	R\$ 1.076,61
Junho / 2021	1692	R\$ 821,18	R\$ 416,77
Julho / 2021	1517	R\$ 796,06	R\$ 255,44
Agosto / 2021	1223	R\$ 731,85	R\$ 6.480,06
Setembro / 2021	4727	R\$ 2.485,87	R\$ 1.809,40
Outubro / 2021	5294	R\$ 4.417,41	R\$ 1.250,87
Novembro / 2021	5566	R\$ 905,06	R\$ 3.749,80
Dezembro / 2021	1813	R\$ 1.623,42	R\$ 492,15
TOTAL (Ano 2021)	43296	R\$ 18.338,69	R\$ 22.588,89

* Compensação do consumo Micro/Mini geração. Subsídio Tarifário Líquido.

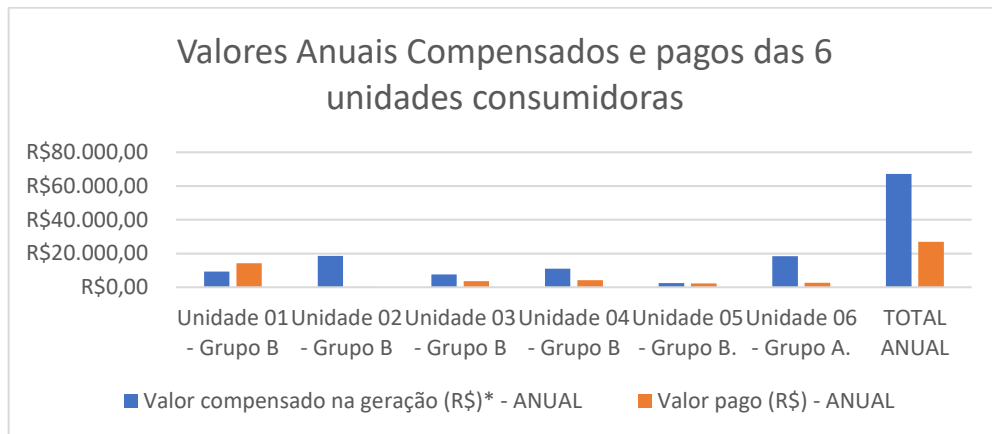
Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 09 – Unidade consumidoras 01 a 06

Unidades	Consumo faturado (kWh) - ANUAL	Valor compensado na geração (R\$)* - ANUAL	Valor pago (R\$) - ANUAL
Unidade 01 - Grupo B	32460	R\$ 9.278,34	R\$ 14.315,92
Unidade 02 - Grupo B	35363	R\$ 18.659,28	R\$ 116,17
Unidade 03 - Grupo B	13542	R\$ 7.496,22	R\$ 3.553,58
Unidade 04 - Grupo B	20299	R\$ 10.939,24	R\$ 4.168,45
Unidade 05 - Grupo B.	5253	R\$ 2.483,96	R\$ 2.184,82
Unidade 06 - Grupo A.	43296	R\$ 18.338,69	R\$ 2.588,89
TOTAL	150213	R\$ 67.195,73	R\$ 26.927,83

Fonte: Autoria própria (2022).

O Gráfico 01 demonstra os valores consumidos e pagos de energia elétrica em 2021.

Gráfico 01 – Unidade consumidoras 01 a 06

Fonte: Autoria própria (2022).

Diante desse levantamento, foi possível conhecer os valores anuais produzidos de energia elétrica, os valores consumidos bem como os valores compensados na geração. Com essas informações, foi possível realizar uma verificação da viabilidade econômica do investimento, apresentado no capítulo 04.

4 METODOLOGIA

4.1 Análise de verificação de viabilidade econômica da implantação de painéis solares fotovoltaicos

4.1.1 Análise de degradação de painéis fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos de silício cristalino têm geralmente uma garantia de defeitos de fabricação de 3 a 5 anos, e garantia de rendimento mínimo de 25 anos. A qualidade de um módulo também é assegurada pelo período de validade da garantia. As garantias dos fabricantes são normalmente válidas por períodos entre 10 a 25 anos (PINHO, 2014). Isso não significa que após esse período os módulos fotovoltaicos param de produzir, mas apenas que a capacidade de geração de energia diminui em um nível considerável. De igual forma, não significa que esse declínio em sua capacidade produtiva ocorrerá após o prazo de 25 anos, pelo contrário. A partir do momento em que os módulos fotovoltaicos são instalados e entram em funcionamento, já inicia uma perda gradativa (anualmente) em sua capacidade produtiva.

A taxa de degradação representa o declínio da geração que os módulos sofrem ao longo do tempo. Essa taxa varia de acordo com o modelo e fabricante. De acordo com a fabricante, durante o primeiro ano, a potência real de saída do módulo solar não é inferior a 97,5% da potência rotulada. A partir do segundo ano, o declínio real de energia anual ocorre em média em 0,8% ao ano; no final do vigésimo quinto ano, a saída de energia real não deverá ser inferior a 80% da potência (CANADIAN SOLAR, 2020).

De acordo com o exposto, observa-se uma redução de 2,5% na performance no primeiro ano de produção, a partir de então, a redução é de 0,8% ao ano. Dessa forma, o módulo ao final de 25 anos estará operando em média com 80% de sua capacidade nominal. Para um melhor entendimento dessa degradação, do que realmente representa na prática, segue ilustração da redução da geração ao longo de 25 anos dos módulos solares da fabricante Canadian Solar, em que foi utilizada na propriedade rural do presente estudo de caso, conforme pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10 – Degradação anual das placas solares

Ano	Performance	Potência	Ano	Performance	Potência
0	100%	360 W	13	90,08%	324,29
1	99,20%	357,12	14	89,36%	321,7
2	98,41%	354,28	15	88,65%	319,14
3	97,62%	351,43	16	87,94%	316,58
4	96,84%	348,62	17	87,24%	314,06
5	96,06%	345,82	18	86,54%	311,54
6	95,29%	343,04	19	85,85%	309,06
7	94,53%	340,31	20	85,16%	306,58
8	93,78%	337,61	21	84,48%	304,13
9	93,03%	334,91	22	83,80%	301,68
10	92,28%	332,21	23	83,13%	299,27
11	91,54%	329,54	24	82,47%	296,89
12	90,81%	326,92	25	81,81%	294,52

Fonte: Autoria própria (2022).

Nota-se que ao fim de sua vida útil, de 25 anos, o módulo estará operando com 81,81% de sua capacidade nominal. Assim, a garantia de performance, oferecida pelos fabricantes, permite uma estimativa de retorno do investimento de maneira segura de que um valor mínimo de geração de energia pode ser esperado pelo sistema fotovoltaico.

Além dos fatores tecnológicos, há outros fatores que ocasionam a redução do desempenho de um sistema solar fotovoltaico, elementos esses inevitáveis, tais como umidade, exposição aos raios ultravioleta, sujeira, variação excessiva de temperatura - calor e frio (CANADIAN SOLAR, 2021).

4.1.2 Ferramentas para análise do retorno do investimento

Qualquer projeto de investimento deve ser analisado por profissionais que avaliam a sua viabilidade econômica, pois embora a realização de determinado investimento financeiro possa parecer atraente a curto prazo, pode financeiramente ser uma péssima escolha ao investidor a longo prazo. Entre as ferramentas utilizadas para análise, foi aplicado o *Payback*, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) como método de mensuração.

O *payback* pode ser entendido como uma maneira de verificar quando um investimento se pagará e trará ganhos efetivos. Consiste em somar os valores dos benefícios obtidos pela operação do projeto. O período *payback* é o tempo necessário

para que esses benefícios totalizem o valor do investimento feito (FILHO, 2007). Há dois tipos de *payback*, o chamado simples e o descontado. O primeiro é considerado o valor do que foi investido sem considerar o valor do dinheiro no tempo. Por sua vez, no *payback* descontado é analisado o valor do dinheiro no decorrer do prazo do investimento (tempo). Por meio desta ferramenta, é possível identificar o tempo necessário para recuperar o investimento realizado, considerando o valor do dinheiro no tempo e utilizando uma taxa de desconto para analisar quando o valor investido será recuperado. Essa taxa é denominada taxa mínima de atratividade, definida pelo próprio investidor como parâmetro de remuneração de seu capital investido (LEMES, 2002).

O Valor Presente Líquido (VPL) tem basicamente o objetivo de medir o lucro. Pode ser compreendido como a diferença entre o valor presente do projeto e o custo do projeto na data atual. Quando o valor for positivo significa que o projeto vale mais do que custa, ou seja, é lucrativo. Por sua vez, quando for negativo significa que o projeto custa mais do que vale, se for implantado trará prejuízos (FILHO, 2007).

O Valor Presente Líquido (VPL) é um dos métodos mais tradicionais e eficientes na avaliação de projetos de investimentos. Por meio dele, é determinado o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial (ROSS, 2020). Os ganhos de um projeto podem ser apresentados tanto por entradas de caixa quanto por economia obtida em função do investimento, por isso é avaliado os custos e os benefícios ao investir em um projeto. Assim, o VPL é um método simples, útil e muito utilizado para as tomadas de decisões (GITMAN, 2001). Utilizar o VPL para a tomada de decisões facilita o alcance do principal objetivo do administrador financeiro, que é de maximizar a riqueza do proprietário (LEMES, 2002).

Outra ferramenta utilizada para analisar a viabilidade de um projeto é a Taxa Interna de Retorno (TIR). Quando utilizada como taxa de desconto, resulta em Valor Presente Líquido (VPL) igual a zero. Quando isso ocorre, encontra-se o ponto de equilíbrio econômico do projeto e desse modo não haverá criação ou destruição de valor (ROSS, 2000). Ou seja, representa o valor de desconto no fluxo de caixa que faz com que o Valor Presente Líquido seja igual a zero.

Para avaliar um investimento por meio do cálculo da taxa interna de retorno, é necessário conhecer o desembolso de capital e os fluxos de caixa líquidos gerados

com o investimento. A TIR representará a rentabilidade do projeto expressa em termos de taxa de juros (ASSAF NETO, 2003).

Para realização da análise de retorno do investimento, ainda foi necessário definir a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), compreendida como uma taxa de juros que representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento, ou o máximo que uma pessoa se propõe a pagar quando faz um financiamento. A taxa de juros auferida no novo projeto deve ser no mínimo a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes, seguras e de baixo risco (ASSAF NETO, 2003). Para realização da presente pesquisa, foram utilizados como índice de referência a taxa Selic, o IPCA e o INPC.

Atualmente o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) considera o IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) e o INPC (Índice Nacional de Preços ao Consumidor) para avaliar o aumento dos preços e serviços no país, e seu impacto no consumo pessoal dos brasileiros. São responsáveis pela medição da inflação de uma série de produtos vendidos no comércio e no varejo. O IPCA é responsável por avaliar o custo médio de vida de famílias que recebem de 1 a 40 salários mínimos, enquanto que o INPC abrange uma parcela menor da população, avaliando consumidores que recebem de 1 a 5 salários mínimos. A taxa Selic, por sua vez, é a taxa básica de juros da econômica, estipulada pelo Copom, o Comitê de Política Monetária do Banco Central a cada 45 dias, podendo sofrer alterações.

Para realização dos cálculos que embasaram a análise de viabilidade do investimento, foi realizado o fluxo do caixa, entendido como o conjunto de entradas e saídas de capital ao longo do tempo, sendo que as entradas de caixa ou créditos são valores positivos de capital e as saídas ou débitos são valores negativos do capital (ASSAF NETO, 2003). Assim, o fluxo de caixa é utilizado para tomada de decisão, onde é possível calcular a rentabilidade, a lucratividade, o ponto de equilíbrio e o prazo de retorno do investimento, com o objetivo de verificar por meio de análises as possibilidades de sucesso do investimento (SEBRAE, 2022).

4.1.3 Análise do retorno do investimento

Com base no que foi apresentado no capítulo 03, analisando o consumo energético e o valor compensado na geração de energia de todas as unidades consumidoras do presente estudo de caso, foi possível realizar uma tabela detalhando

ano a ano, para se conhecer o fluxo de caixa do investimento. Para isso, algumas considerações foram necessárias para essa análise:

- Valor total do investimento: R\$ 412.324,66 (Tabela 01).
- Economia anual com a compensação na geração de energia: R\$ 67.193,73 (Tabela 09).
- Taxa de degradação da potência: 0,8% ao ano Tabela 10.
- Manutenção anual do sistema fotovoltaico: R\$ 3.600.00, com atualização anual de 5%.
- Prazo de validade do sistema fotovoltaico: 25 anos.
- Taxa mínima de atratividade utilizada: Cenário 01: 08% ao ano; Cenário 02: 10% ao ano; Cenário 03: 12% ao ano.
- Cálculos do VPL, TIR e VP calculados por meio de planilha do Excel.

Com base nisso, segue a análise em forma de fluxo de caixa detalhado ano a ano, realizada com base em três cenários, utilizando a Taxa Mínima de Atratividade nas porcentagens de 08%, 10% e 12%, conforme Planilhas 11, 12 e 13:

Tabela 11 – Fluxo de caixa – cenário 01 – TMA 08%

Ano	Eficiência	Valor compensado de energia elétrica (anual)	Manutenção dos Equipamentos	Fluxo de Caixa Acumulado (Total de Economia anual)	Fluxo de Caixa Acumulado	Fluxo de Caixa Descontado (Valor Presente)	Fluxo de Caixa Descontado Acumulado
0			5%	-R\$ 412.324,66	-R\$ 412.324,66	-R\$ 412.324,66	-R\$ 412.324,66
1	100,00%	R\$ 67.193,73	R\$ 3.600,00	R\$ 63.593,73	-R\$ 348.730,93	R\$ 58.883,08	-R\$ 353.441,58
2	99,20%	R\$ 66.656,18	R\$ 3.780,00	R\$ 62.876,18	-R\$ 285.854,75	R\$ 53.906,19	-R\$ 299.535,39
3	98,40%	R\$ 66.118,63	R\$ 3.969,00	R\$ 62.149,63	-R\$ 223.705,12	R\$ 49.336,38	-R\$ 250.199,01
4	97,60%	R\$ 65.581,08	R\$ 4.167,45	R\$ 61.413,63	-R\$ 162.291,49	R\$ 45.140,85	-R\$ 205.058,16
5	96,80%	R\$ 65.043,53	R\$ 4.375,82	R\$ 60.667,71	-R\$ 101.623,78	R\$ 41.289,42	-R\$ 163.768,73
6	96,00%	R\$ 64.505,98	R\$ 4.594,61	R\$ 59.911,37	-R\$ 41.712,42	R\$ 37.754,32	-R\$ 126.014,41
7	95,20%	R\$ 63.968,43	R\$ 4.824,34	R\$ 59.144,09	R\$ 17.431,67	R\$ 34.510,01	-R\$ 91.504,40
8	94,40%	R\$ 63.430,88	R\$ 5.065,56	R\$ 58.365,32	R\$ 75.796,99	R\$ 31.532,97	-R\$ 59.971,44
9	93,60%	R\$ 62.893,33	R\$ 5.318,84	R\$ 57.574,49	R\$ 133.371,48	R\$ 28.801,58	-R\$ 31.169,86
10	92,80%	R\$ 62.355,78	R\$ 5.584,78	R\$ 56.771,00	R\$ 190.142,48	R\$ 26.295,96	-R\$ 4.873,90
11	92,00%	R\$ 61.818,23	R\$ 5.864,02	R\$ 55.954,21	R\$ 246.096,69	R\$ 23.997,80	R\$ 19.123,90
12	91,20%	R\$ 61.280,68	R\$ 6.157,22	R\$ 55.123,46	R\$ 301.220,14	R\$ 21.890,28	R\$ 41.014,18
13	90,40%	R\$ 60.743,13	R\$ 6.465,08	R\$ 54.278,05	R\$ 355.498,19	R\$ 19.957,93	R\$ 60.972,11
14	89,60%	R\$ 60.205,58	R\$ 6.788,34	R\$ 53.417,24	R\$ 408.915,43	R\$ 18.186,49	R\$ 79.158,60
15	88,80%	R\$ 59.668,03	R\$ 7.127,75	R\$ 52.540,28	R\$ 461.455,71	R\$ 16.562,89	R\$ 95.721,48
16	88,00%	R\$ 59.130,48	R\$ 7.484,14	R\$ 51.646,34	R\$ 513.102,05	R\$ 15.075,07	R\$ 110.796,56
17	87,20%	R\$ 58.592,93	R\$ 7.858,35	R\$ 50.734,58	R\$ 563.836,63	R\$ 13.711,98	R\$ 124.508,54
18	86,40%	R\$ 58.055,38	R\$ 8.251,27	R\$ 49.804,11	R\$ 613.640,75	R\$ 12.463,43	R\$ 136.971,97
19	85,60%	R\$ 57.517,83	R\$ 8.663,83	R\$ 48.854,00	R\$ 662.494,75	R\$ 11.320,06	R\$ 148.292,03
20	84,80%	R\$ 56.980,28	R\$ 9.097,02	R\$ 47.883,26	R\$ 710.378,01	R\$ 10.273,27	R\$ 158.565,30
21	84,00%	R\$ 56.442,73	R\$ 9.551,87	R\$ 46.890,86	R\$ 757.268,86	R\$ 9.315,14	R\$ 167.880,44
22	83,20%	R\$ 55.905,18	R\$ 10.029,47	R\$ 45.875,71	R\$ 803.144,58	R\$ 8.438,40	R\$ 176.318,84
23	82,40%	R\$ 55.367,63	R\$ 10.530,94	R\$ 44.836,69	R\$ 847.981,27	R\$ 7.636,37	R\$ 183.955,22
24	81,60%	R\$ 54.830,08	R\$ 11.057,49	R\$ 43.772,59	R\$ 891.753,86	R\$ 6.902,91	R\$ 190.858,12
25	80,80%	R\$ 54.292,53	R\$ 11.610,36	R\$ 42.682,17	R\$ 934.436,03	R\$ 6.232,36	R\$ 197.090,49
TMA		8,00%			Soma Fluxo de caixa descontado	R\$ 609.415,15	
Investimento		R\$ 412.324,66			VPL do projeto	R\$ 197.090,49	
					TIR	13,66%	
					Pay back simples	6,20	
					Pay back descontado	10,02	

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 12 – Fluxo de caixa – cenário 02 – TMA 10%

Ano	Eficiência	Valor compensado de energia elétrica (anual)	Manutenção dos Equipamentos	Fluxo de Caixa Acumulado (Total de Economia anual)	Fluxo de Caixa Acumulado	Fluxo de Caixa Descontado (Valor Presente)	Fluxo de Caixa Descontado Acumulado
0			5%	-R\$ 412.324,66	-R\$ 412.324,66	-R\$ 412.324,66	-R\$ 412.324,66
1	100,00%	R\$ 67.193,73	R\$ 3.600,00	R\$ 63.593,73	-R\$ 348.730,93	R\$ 57.812,48	-R\$ 354.512,18
2	99,20%	R\$ 66.656,18	R\$ 3.780,00	R\$ 62.876,18	-R\$ 285.854,75	R\$ 51.963,79	-R\$ 302.548,39
3	98,40%	R\$ 66.118,63	R\$ 3.969,00	R\$ 62.149,63	-R\$ 223.705,12	R\$ 46.693,94	-R\$ 255.854,46
4	97,60%	R\$ 65.581,08	R\$ 4.167,45	R\$ 61.413,63	-R\$ 162.291,49	R\$ 41.946,34	-R\$ 213.908,12
5	96,80%	R\$ 65.043,53	R\$ 4.375,82	R\$ 60.667,71	-R\$ 101.623,78	R\$ 37.669,87	-R\$ 176.238,25
6	96,00%	R\$ 64.505,98	R\$ 4.594,61	R\$ 59.911,37	-R\$ 41.712,42	R\$ 33.818,40	-R\$ 142.419,84
7	95,20%	R\$ 63.968,43	R\$ 4.824,34	R\$ 59.144,09	R\$ 17.431,67	R\$ 30.350,27	-R\$ 112.069,58
8	94,40%	R\$ 63.430,88	R\$ 5.065,56	R\$ 58.365,32	R\$ 75.796,99	R\$ 27.227,85	-R\$ 84.841,72
9	93,60%	R\$ 62.893,33	R\$ 5.318,84	R\$ 57.574,49	R\$ 133.371,48	R\$ 24.417,20	-R\$ 60.424,52
10	92,80%	R\$ 62.355,78	R\$ 5.584,78	R\$ 56.771,00	R\$ 190.142,48	R\$ 21.887,68	-R\$ 38.536,84
11	92,00%	R\$ 61.818,23	R\$ 5.864,02	R\$ 55.954,21	R\$ 246.096,69	R\$ 19.611,61	-R\$ 18.925,23
12	91,20%	R\$ 61.280,68	R\$ 6.157,22	R\$ 55.123,46	R\$ 301.220,14	R\$ 17.564,03	-R\$ 1.361,20
13	90,40%	R\$ 60.743,13	R\$ 6.465,08	R\$ 54.278,05	R\$ 355.498,19	R\$ 15.722,42	R\$ 14.361,22
14	89,60%	R\$ 60.205,58	R\$ 6.788,34	R\$ 53.417,24	R\$ 408.915,43	R\$ 14.066,43	R\$ 28.427,65
15	88,80%	R\$ 59.668,03	R\$ 7.127,75	R\$ 52.540,28	R\$ 461.455,71	R\$ 12.577,72	R\$ 41.005,37
16	88,00%	R\$ 59.130,48	R\$ 7.484,14	R\$ 51.646,34	R\$ 513.102,05	R\$ 11.239,75	R\$ 52.245,12
17	87,20%	R\$ 58.592,93	R\$ 7.858,35	R\$ 50.734,58	R\$ 563.836,63	R\$ 10.037,57	R\$ 62.282,69
18	86,40%	R\$ 58.055,38	R\$ 8.251,27	R\$ 49.804,11	R\$ 613.640,75	R\$ 8.957,71	R\$ 71.240,39
19	85,60%	R\$ 57.517,83	R\$ 8.663,83	R\$ 48.854,00	R\$ 662.494,75	R\$ 7.988,02	R\$ 79.228,41
20	84,80%	R\$ 56.980,28	R\$ 9.097,02	R\$ 47.883,26	R\$ 710.378,01	R\$ 7.117,54	R\$ 86.345,95
21	84,00%	R\$ 56.442,73	R\$ 9.551,87	R\$ 46.890,86	R\$ 757.268,86	R\$ 6.336,39	R\$ 92.682,34
22	83,20%	R\$ 55.905,18	R\$ 10.029,47	R\$ 45.875,71	R\$ 803.144,58	R\$ 5.635,65	R\$ 98.317,99
23	82,40%	R\$ 55.367,63	R\$ 10.530,94	R\$ 44.836,69	R\$ 847.981,27	R\$ 5.007,28	R\$ 103.325,27
24	81,60%	R\$ 54.830,08	R\$ 11.057,49	R\$ 43.772,59	R\$ 891.753,86	R\$ 4.444,04	R\$ 107.769,31
25	80,80%	R\$ 54.292,53	R\$ 11.610,36	R\$ 42.682,17	R\$ 934.436,03	R\$ 3.939,39	R\$ 111.708,70
TMA		10,00%			Soma Fluxo de caixa descontado	R\$ 524.033,36	
Investimento		R\$ 412.324,66			VPL do projeto	R\$ 111.708,70	
					TIR	13,66%	
					Pay back simples	6,20	
					Pay back descontado	12,09	

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 13 – Fluxo de caixa – cenário 03 – TMA 12%

Ano	Eficiência	Valor compensado de energia elétrica (anual)	Manutenção dos Equipamentos	Fluxo de Caixa Acumulado (Total de Economia anual)	Fluxo de Caixa Acumulado	Fluxo de Caixa Descontado (Valor Presente)	Fluxo de Caixa Descontado Acumulado
0			5%	-R\$ 412.324,66	-R\$ 412.324,66	-R\$ 412.324,66	-R\$ 412.324,66
1	100,00%	R\$ 67.193,73	R\$ 3.600,00	R\$ 63.593,73	-R\$ 348.730,93	R\$ 56.780,12	-R\$ 355.544,54
2	99,20%	R\$ 66.656,18	R\$ 3.780,00	R\$ 62.876,18	-R\$ 285.854,75	R\$ 50.124,51	-R\$ 305.420,04
3	98,40%	R\$ 66.118,63	R\$ 3.969,00	R\$ 62.149,63	-R\$ 223.705,12	R\$ 44.236,88	-R\$ 261.183,16
4	97,60%	R\$ 65.581,08	R\$ 4.167,45	R\$ 61.413,63	-R\$ 162.291,49	R\$ 39.029,47	-R\$ 222.153,69
5	96,80%	R\$ 65.043,53	R\$ 4.375,82	R\$ 60.667,71	-R\$ 101.623,78	R\$ 34.424,49	-R\$ 187.729,20
6	96,00%	R\$ 64.505,98	R\$ 4.594,61	R\$ 59.911,37	-R\$ 41.712,42	R\$ 30.352,96	-R\$ 157.376,24
7	95,20%	R\$ 63.968,43	R\$ 4.824,34	R\$ 59.144,09	R\$ 17.431,67	R\$ 26.753,78	-R\$ 130.622,46
8	94,40%	R\$ 63.430,88	R\$ 5.065,56	R\$ 58.365,32	R\$ 75.796,99	R\$ 23.572,77	-R\$ 107.049,68
9	93,60%	R\$ 62.893,33	R\$ 5.318,84	R\$ 57.574,49	R\$ 133.371,48	R\$ 20.761,94	-R\$ 86.287,75
10	92,80%	R\$ 62.355,78	R\$ 5.584,78	R\$ 56.771,00	R\$ 190.142,48	R\$ 18.278,74	-R\$ 68.009,00
11	92,00%	R\$ 61.818,23	R\$ 5.864,02	R\$ 55.954,21	R\$ 246.096,69	R\$ 16.085,50	-R\$ 51.923,51
12	91,20%	R\$ 61.280,68	R\$ 6.157,22	R\$ 55.123,46	R\$ 301.220,14	R\$ 14.148,82	-R\$ 37.774,69
13	90,40%	R\$ 60.743,13	R\$ 6.465,08	R\$ 54.278,05	R\$ 355.498,19	R\$ 12.439,13	-R\$ 25.335,56
14	89,60%	R\$ 60.205,58	R\$ 6.788,34	R\$ 53.417,24	R\$ 408.915,43	R\$ 10.930,23	-R\$ 14.405,33
15	88,80%	R\$ 59.668,03	R\$ 7.127,75	R\$ 52.540,28	R\$ 461.455,71	R\$ 9.598,91	-R\$ 4.806,42
16	88,00%	R\$ 59.130,48	R\$ 7.484,14	R\$ 51.646,34	R\$ 513.102,05	R\$ 8.424,64	R\$ 3.618,22
17	87,20%	R\$ 58.592,93	R\$ 7.858,35	R\$ 50.734,58	R\$ 563.836,63	R\$ 7.389,20	R\$ 11.007,42
18	86,40%	R\$ 58.055,38	R\$ 8.251,27	R\$ 49.804,11	R\$ 613.640,75	R\$ 6.476,51	R\$ 17.483,93
19	85,60%	R\$ 57.517,83	R\$ 8.663,83	R\$ 48.854,00	R\$ 662.494,75	R\$ 5.672,28	R\$ 23.156,21
20	84,80%	R\$ 56.980,28	R\$ 9.097,02	R\$ 47.883,26	R\$ 710.378,01	R\$ 4.963,90	R\$ 28.120,11
21	84,00%	R\$ 56.442,73	R\$ 9.551,87	R\$ 46.890,86	R\$ 757.268,86	R\$ 4.340,20	R\$ 32.460,31
22	83,20%	R\$ 55.905,18	R\$ 10.029,47	R\$ 45.875,71	R\$ 803.144,58	R\$ 3.791,28	R\$ 36.251,59
23	82,40%	R\$ 55.367,63	R\$ 10.530,94	R\$ 44.836,69	R\$ 847.981,27	R\$ 3.308,41	R\$ 39.560,00
24	81,60%	R\$ 54.830,08	R\$ 11.057,49	R\$ 43.772,59	R\$ 891.753,86	R\$ 2.883,83	R\$ 42.443,83
25	80,80%	R\$ 54.292,53	R\$ 11.610,36	R\$ 42.682,17	R\$ 934.436,03	R\$ 2.510,71	R\$ 44.954,54
TMA		12,00%			Soma Fluxo de caixa descontado	R\$ 457.279,20	
Investimento		R\$ 412.324,66			VPL do projeto	R\$ 44.954,54	
					TIR	13,66%	
					Pay back simples	6,20	
					Pay back descontado	15,10	

Fonte: Autoria própria (2022).

Com base na análise demonstrada nas Planilhas 11, 12 e 13, foi possível apresentar os cálculos dos indicadores *payback* simples e descontado, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno), utilizados para realizar a verificação de viabilidade econômica do investimento em estudo.

Inicialmente considerou-se o período para análise de 25 anos, período esse de geração de energia elétrica considerado como seu tempo de vida útil definido pelo fabricante. Assim, conforme especificações técnicas do sistema fotovoltaico, a eficiência das placas solares na geração de energia elétrica diminui 0,8% ao ano, isso devido sua degradação anual, conforme já explanado anteriormente. Isso faz com que após 25 anos de efetivo funcionamento, o sistema de geração de energia esteja

operando com uma performance de 80,80% de sua capacidade inicial, o que refletirá no valor compensando de energia elétrica.

Utilizou-se o valor de R\$ 67.193,73 como importância compensada de energia elétrica, sendo considerado como economia anual. Esse valor foi obtido somando-se os valores compensados de energia elétrica mensalmente nas seis unidades consumidoras em análise, pelo período de 12 meses. Para isso, foi analisado 72 faturas de energia elétrica.

Foram incluídas as despesas de manutenção anual dos equipamentos fotovoltaicos na importância de R\$ 3.600,00, com correção anual de 5%.

O investimento total foi de R\$ 412.324,66, conforme projeto analisado e descrito na Planilha 01.

Com base nesses valores, foi possível realizar o fluxo de caixa do investimento, demonstrando o fluxo de caixa acumulado, o fluxo de caixa descontado, e o fluxo de caixa descontado acumulado.

Para cálculo do fluxo de caixa acumulado, utilizou-se inicialmente o valor total do investimento, ou seja, R\$ 412.324,66, subtraindo anualmente o total da econômica, que representou o valor monetário compensado de energia elétrica.

Para calcular o Valor Presente da coluna do fluxo de caixa descontado, utilizou-se a ferramenta do Excel, conforme observa-se na Figura 12.

Figura 12 – Fórmula do Excel para cálculo do VP

Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Descontado (Valor Presente)	Fluxo de Caixa Descontado Acumulado
412,66	-R\$ 412.324,66	-R\$ 412.324,66
30,93	R\$ 57.812,48	-R\$ 354.512,18
74,75	R\$ 52.112,55	-R\$ 302.399,63
56,12	R\$ 46.971,17	-R\$ 255.428,46
75,04	R\$ 42.333,91	-R\$ 213.094,55
34,54	R\$ 38.454,60	-R\$ 174.639,95

=VP(C34;A8;;-E8;)
 ONDE:
 C34: 10% (TMA).
 A8: 1 (ano).
 E8: 63.593,73 (Economia no 1º ano).

Fonte: Autoria própria (2022).

Os valores do fluxo de caixa descontado foram atualizados para o valor presente (VP), levando-se em consideração uma taxa de juros para correção do dinheiro no tempo denominada Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Aqui foi considerado três cenários, sendo realizado o mesmo fluxo de caixa com a TMA de 8% (cenário 01), 10% (cenário 02) e 12% (cenário 03). Com isso, foi possível trazer uma

série de valores futuros para o valor presente, tendo em vista que o valor do dinheiro se altera com o tempo por causa das condições do mercado. Essa análise se aproxima com a realidade, pois um valor monetário hoje não será o mesmo há alguns anos, sendo necessário uma atualização para acompanhar as demais atualizações econômicas.

Nesse sentido, igualmente como calculado o fluxo de caixa acumulado, o fluxo de caixa descontado foi calculado diminuindo anualmente o valor total do investimento com o valor economizado de energia elétrica, representado pelo fluxo de caixa descontado. Esse cálculo foi realizado nos três cenários apresentados, sendo que apenas os valores referentes ao fluxo de caixa descontado houve alteração pois sofreu a incidência da atualização da TMA.

Com o fluxo de caixa totalmente calculado, foi possível analisar o tempo de retorno do capital investido, identificado como *payback* simples e descontado, conforme fluxo de caixa acumulado e descontado respectivamente.

Ao analisar o tempo de retorno do investimento, por meio do *payback* simples, nota-se que o tempo de retorno do investimento se dará após 6 anos do investimento, especificamente após 6,20 anos. Esse prazo se repetirá nos três cenários apresentados, tendo em vista que o total da econômica anual em que foi subtraído ano a ano do valor total do investimento, não ter sofreu atualização para o valor presente. Logo, os três cenários são iguais.

Por sua vez, quando se traz o valor da economia anual para o presente, e calcula-se o fluxo de caixa descontado, chamado de *payback* descontado, observa-se que o tempo do retorno do mesmo investimento teve uma grande diferença da análise anterior, e para apresentação do fluxo de caixa descontado acumulado, foram realizados três cenários diferentes, cada uma com uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) diferente.

No cenário 01, em que a TMA admitida foi de 8% ao ano, o tempo de retorno do capital investido se observou no 10,02 ano. Quando a TMA foi alterada para 10%, esse prazo aumentou para 12,09 anos, apresentado no cenário 02. Por sua vez, quando a TMA admitida foi de 12%, o tempo de retorno do capital se estendeu para 15,10 anos. Com isso, foi demonstrado que quanto menor a TMA esperada, menor o tempo de retorno do investimento. E proporcionalmente, quanto maior a TMA, maior o tempo de retorno do investimento.

Para calcular o Valor Presente Líquido (VPL), utilizou-se a ferramenta do Excel, conforme observa-se na Figura 13.

Figura 13 – Fórmula do Excel para cálculo do VPL

R\$ 965.561,06	R\$ 5.201,16	R\$ 123.849,25	
R\$ 1.016.253,59	R\$ 4.678,72	R\$ 128.527,97	
Soma Fluxo de caixa descontado	R\$ 540.852,63		
VPL do projeto	R\$ 128.527,97		
TIR	12%		
Taxa de lucratividade	0,76		
Pay back simples	6,20		
Pay back descontado	11,30		

=VPL(C34;E8:E32)-C35

ONDE:
 C34: 10% (TMA).
 E8:E32: Soma dos valores do fluxo de caixa descontado acumulado.
 C35: 412.324,66 (valor do investimento).

Fonte: Autoria própria (2022).

Com isso, foi possível identificar o VPL (Valor Presente Líquido) do investido, apresentar diferentes valores de acordo com os três cenários. No cenário 01, com a TMA de 8%, o VPL apresentou valor de R\$ 197.090,49. Quando a TMA é alterada para 10%, conforme cenário 2, o VPL diminuiu para R\$ 111.708,70. Por fim, no cenário 03 o VPL foi de R\$ 44.954,54, com a TMA foi de 12%. Assim, foi possível analisar a valorização do capital investido e compensado da energia elétrica ao longo do tempo, calculando-se dessa maneira o ganho real do investimento. Ou seja, por meio do cálculo do VPL, foi possível trazer ao valor presente um valor futuro, representando a diferença entre os recebimentos (nesse caso o valor economizado) e o valor investido.

Para calcular do TIR (Taxa Interna de Retorno), utilizou-se a ferramenta do Excel, conforme observa-se na Figura 14.

Figura 14 – Fórmula do Excel para cálculo do TIR

10,00%			Soma Fluxo de caixa descontado	R\$ 540.852,63
2.324,66			VPL do projeto	R\$ 128.527,97
			TIR	12%
			Taxa de lucratividade	0,76
			Pay back simples	6,20
			Pay back descontado	11,30

=TIR(F7:F32)

ONDE:
 F7:F32: Soma dos valores do fluxo de caixa acumulado.

Fonte: Autoria própria (2022).

Outro indicador apresentado considerado indispensável na análise de investimentos é o cálculo da TIR (Taxa Interna de Retorno), considerado como métrica para analisar o percentual de retorno financeiro de um projeto, que juntamente com o VPL, serve como análise financeira de viabilidade. De acordo com os cálculos apresentados, a TIR do presente investimento resultou em 13,66% ao ano. Ou seja, esse valor corresponde a porcentagem de retorno do investimento anualmente, levando em consideração o valor investido e os valores gerados de economia, no prazo estimado na análise.

Com base nisso, é possível realizar algumas considerações, entre elas, comparar com outros investimentos, afim de analisar a viabilidade econômica.

Figura 15 – Melhores investimentos de renda fixa em 2021 (rentabilidade)

Investimento	Desempenho em dezembro	Desempenho em 2021
Tesouro Selic 2025	0,71%	4,49%
Fundos de renda fixa - duração baixa - grau de investimento	0,54%	3,64%
Fundos de renda fixa - duração alta - grau de investimento	0,69%	2,83%
Poupança	0,44%	2,48%
Tesouro IPCA+ 2024	0,73%	2,13%
Tesouro prefixado 2023	0,94%	-2,79%
Tesouro IPCA+ com juros semestrais 2035	0,43%	-5,66%
Tesouro prefixado 2025	3,57%	-7,84%
Tesouro IPCA+ com juros semestrais 2045	-1,22%	-7,88%
Tesouro IPCA+ com juros semestrais 2050	-1,28%	-9,87%
Tesouro IPCA+ 2035	-0,12%	-10,63%
Tesouro IPCA+ 2045	-1,06%	-25,47%

Fonte: INFOMONEY (2021, p. 34).

Analisando os indicadores apresentados na Figura 15, observa-se a rentabilidade em renda fixa dos melhores investimentos em 2021, e com isso, supor outra hipótese de investimento.

4.1.4 Hipóteses de Financiamento do investimento

Outra análise realizada foi verificar uma hipótese de financiamento do capital investido, por meio de uma linha de crédito específico para financiamento do sistema de energia solar fotovoltaica, conforme demonstrado na Tabela 14.

Tabela 14 – Fluxo de financiamento junto ao BNDES

	Valor do empréstimo	Financiamento	Prazo	Taxa de juros
	R\$ 412.324,66	100%	8 anos	6,50%
Fluxo do Financiamento				
	Capital	Incidência de juros	Parcela Capital	
1	R\$ 412.324,66	R\$ 26.801,10	R\$ 51.540,58	R\$ 78.341,68
2	R\$ 360.784,08	R\$ 23.450,97	R\$ 51.540,58	R\$ 74.991,55
3	R\$ 309.243,50	R\$ 20.100,83	R\$ 51.540,58	R\$ 71.641,41
4	R\$ 257.702,92	R\$ 16.750,69	R\$ 51.540,58	R\$ 68.291,27
5	R\$ 206.162,34	R\$ 13.400,55	R\$ 51.540,58	R\$ 64.941,13
6	R\$ 154.621,76	R\$ 10.050,41	R\$ 51.540,58	R\$ 61.590,99
7	R\$ 103.081,18	R\$ 6.700,28	R\$ 51.540,58	R\$ 58.240,86
8	R\$ 51.540,58	R\$ 3.350,14	R\$ 51.540,58	R\$ 54.890,72
	TOTAL	R\$ 120.604,97	R\$ 412.324,64	R\$ 532.929,61

Aquisição de equipamentos para geração de energia fotovoltaica.
PRONANP – BNDES.

Fonte: Autoria própria (2022).

O financiamento acima, disponível nas principais instituições financeiras do país e com recursos do BNDES, pode ser contratado com o prazo máximo de 8 anos, sendo 1 ano de carência e com a incidência da taxa de juros de 6,5% ao ano. Ao compararmos o fluxo de caixa das planilhas 11, 12 e 13 com o fluxo do financiamento da planilha 14, observa-se que os valores economizados anualmente são bem próximos às parcelas do financiamento. Logo, para verificação de viabilidade e análise do retorno do capital investido, o valor pago em juros deve ser levado em consideração. Trata-se apenas de um referencial, devendo ser analisado em conjunto com outros indicadores.

4.2 Análise comparativa dos cálculos apresentados com o projeto de investimento

Com base em todas análises demonstradas, foi possível realizar uma comparação com o projeto de investimento.

Inicialmente, ao analisar a Figura 08 - Projeto de Investimento, observou-se um orçamento com previsão de retorno do capital investido para 2 anos, em que realizaram a análise com base na economia financeira estimada mensalmente e calculada levando-se em consideração somente a energia consumida. Foi considerado a média de consumo anual com a capacidade de produção de energia do sistema fotovoltaico, de acordo com a Figura 10, em que foi demonstrado uma expectativa de geração de energia.

Entretanto, ao calcular o valor do investimento, não foi considerado valores adicionais como mão de obra para instalação do sistema fotovoltaico e materiais civis, o que representou uma diferença de R\$ 13.000,00 ao valor do projeto, totalizando a importância de R\$ 412.324,66, devidamente demonstrado na Tabela 01.

Com relação ao retorno do capital investido, não foi levado em consideração o valor gasto com manutenção das placas solares fotovoltaicas, que representou um valor de R\$ 3.600,00 em 2021, valor esse considerado como análise. Para realização do cálculo de viabilidade, foi ainda aplicado uma correção de 5% ao ano.

Ao analisar as faturas de energia elétrica das 06 unidades consumidoras em 2021, constatou que a energia injetada na rede gerou créditos ao consumidor compensados no consumo, o que gerou uma economia anual de R\$ 67.195,73. Com base nesse valor, foi possível realizar os cálculos financeiros de retorno do capital investido, considerando o valor da economia anual como receita frente ao valor total investido de R\$ 412.324,66.

Como base nesse valor, foi realizado o cálculo do tempo de retorno do investimento, utilizando-se as ferramentas financeiras do *payback* simples e descontado,

Ao comparar com o projeto de investimento apresentado, nota-se que os valores compensados foram analisados sem correção monetária anual nem atualização para o tempo presente, de acordo com a análise do fluxo de caixa descontado acumulado, demonstrado nos cenários 01, 02 e 03 (Tabela 11, 12 e 13). Assim, nota-se que para realização do projeto de investimento, utilizou-se apenas o

fluxo de caixa acumulado (*payback* simples), uma vez que não foi observado atualizações dos valores economizados anualmente. Assim, no projeto de investimento o retorno do capital investido foi projetado para 2 anos. Entretanto, realizando a mesma análise por meio do *payback* simples, esse prazo se estendeu para 6,2 anos.

Importante observar que os parâmetros utilizados para realização desses cálculos foram diferentes entre o projeto de investimento (apresentado ao investidor previamente a instalação do sistema fotovoltaico) e a análise apresentada na presente pesquisa. Enquanto que no primeiro foi utilizado como parâmetro de cálculo os valores consumidos de energia elétrica e o potencial de geração de energia solar fotovoltaica, aqui utilizou-se os valores reais compensados de energia elétricas obtidos diretamente das faturas, considerados como economia para o investidor.

Logo, observa-se que houve uma diferença significativa entre a expectativa de tempo de retorno do investimento projetado com a realidade analisada nas faturas de energia elétrica.

4.3 Análise dos resultados

De acordo com as análises realizadas por meio dos cálculos dos indicadores *payback* simples e descontado, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno), foi possível realizar algumas considerações sobre a viabilidade econômica do investimento, analisado com base nos valores compensados de energia elétrica através da geração fotovoltaica, descrito no capítulo 03.

O termo *payback* significa retorno, e para análise de viabilidade de investimentos, é utilizado para identificar qual o tempo de retorno do capital investido. Enquanto o *payback* simples não considera o valor do dinheiro no tempo, o *payback* descontado é um indicador que traz os valores descontados para o presente por meio de uma taxa de juros fixada pelo investidor, o que significa que esta análise se assemelha mais a realidade financeira para fins de cálculo de viabilidade econômica. Por isso, para calcular o *payback* descontado, foi considerado três cenários diferentes, onde a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) foi calculada nas porcentagens de 8%, 10% e 12%, conforme cenário 01, 02 e 03 respectivamente (Tabela 11, 12 e 13).

Dessa maneira, de acordo com as análises realizadas, se considerar o valor investido e o valor gerado de economia de acordo com o *payback* simples, o retorno do investimento se dará a partir do sexto ano. Ou seja, o valor investido será recuperado a partir de 6,2 anos, passando a gerar receita ao investidor. Por sua vez, com base no *payback* descontado, o retorno do investimento será visto apenas a partir de 10,02 anos, quando a TMA esperada foi de 8% ao ano (cenário 01). Por sua vez, quando aumenta-se a TMA para 10%, o *payback* também aumenta para 12,09 anos (cenário 02). Por fim, considerando uma TMA de 12%, o tempo de retorno do capital investido se dará em 15,10 anos (cenário 03).

Dessa forma, observa-se que a análise do *payback* descontado representa uma maior proximidade com a realidade financeira, sendo preferível analisar o presente projeto baseado nesse cálculo.

Todavia, outros indicadores foram analisados para se obter um panorama mais confiável quanto a análise de viabilidade econômica. Além da formação do fluxo de investimentos, em que foi demonstrado o tempo de retorno do capital investido na forma simples e descontado, foi possível calcular o Valor Presente Líquido (VPL) do investimento nos três cenários apresentados. Assim, com base no prazo de 25 anos considerado como tempo de vida útil do sistema fotovoltaico de geração de energia, o VPL do investimento no cenário 01 foi de R\$ 197.090,49, no cenário 02 de R\$ 111.708,70, e no cenário 03 o valor de R\$ 44.954,54. Uma vez que o VPL foi positivo em todas as três situações demonstradas, demonstra que o investimento é viável.

Com essa análise, foi possível realizar o cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR) do investimento, que representou o valor de 13,66 %. Sabe-se que quanto maior a TMA (Taxa Mínima de Atratividade) menor a TIR (Taxa Interna de Retorno). Logo, ao considerar os três cenários apresentados, observa-se que investimento é viável, mesmo que os percentuais apresentados sejam muito próximos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo analisar o retorno do investimento de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica conectado à rede, por meio de uma verificação de viabilidade econômica, utilizando os valores compensados de energia elétrica com a geração de energia. A pesquisa conferiu a projeção de tempo de retorno do capital investido apresentado no projeto, que se baseou na média de consumo passado de energia, com os valores compensados nas faturas de energia de 12 meses, período em que o sistema fotovoltaico já estava produzindo energia e injetando na rede elétrica. Esses valores compensados representaram a economia obtida com a geração de energia elétrica através do sistema.

A motivação para realização da pesquisa foi devido ao crescente aumento da oferta de aquisição de placas solares fotovoltaicas para geração de energia elétrica, incentivado pelo Governo Federal por meio de legislação específica, em que estimulou a iniciativa privada a investir na geração distribuída fotovoltaica. Nos últimos anos, o país tem alcançado patamares crescentes de geração distribuída de energia elétrica, mesmo sendo considerado um investimento de valor expressivo financeiramente.

Não há dúvidas quanto a viabilidade econômica de um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica, uma vez que já possui inúmeras pesquisas comprovando sua efetividade. Entretanto, o que buscou com a presente análise foi conferir se o que realmente está sendo produzido de energia elétrica, injetado na rede e retornado ao investidor em forma de compensação em sua fatura de energia elétrica, está similar a projeção realizada previamente.

Aqui evidencia o diferencial da presente pesquisa. Os cálculos para análise tiveram parâmetros diferentes. Enquanto que o projeto de viabilidade econômica foi realizado com base no consumo energético do consumidor, em que foi analisado as faturas de energia elétrica passadas, aqui analisou as faturas de energia elétrica após o início da produção de energia solar fotovoltaica. Tomou-se como base os valores compensados de energia elétrica, em que representou ao investidor economia a cada fatura.

Esta pesquisa baseou-se na análise das faturas de energia elétrica de 06 unidades consumidoras de um só proprietário, em um período de 12 meses. Foi analisado 72 faturas de energia elétrica, verificado o valor compensado de energia elétrica, representado em valores monetários, que abateu no valor que o consumidor

iria pagar de energia. Logo, os valores compensados foram analisados como econômica, sendo utilizados como análise nas ferramentas para cálculo de viabilidade econômica demonstrado na pesquisa.

Sabe-se que o sistema de compensação de créditos é um incentivo valioso e indiscutível para o setor energético, uma vez que beneficia diretamente o consumidor por meio da redução de sua fatura de energia elétrica, e contribui para a matriz elétrica Brasileira, por se tratar de uma fonte de energia renovável, limpa e sustentável. E quando se fala em sustentabilidade, tem-se analisado questões econômicas, sociais e ambientais de forma equilibrada, afim de preservar o planeta para as gerações futuras. Busca-se a diminuição de fontes energéticas não renováveis como nuclear e combustíveis fósseis. Assim, há um aumento na participação da matriz energética brasileira de fontes renováveis, como a energia solar, tendo em vista inúmeros benefícios já apresentados. No Estado do Paraná, especificamente, grande parte da energia elétrica gerada provém das hidroelétricas. Entretanto, essa exploração centralizada é posta em risco em períodos de secas, onde a falta de chuva afeta os reservatórios e põe em risco a malha elétrica do estado assim como do país. Assim, é indiscutível a importância da diversificação da matriz elétrica bem como da importância em que sistemas fotovoltaicos trazem a população.

O alto custo das placas solares fotovoltaicas e de instalação do sistema representa um grande obstáculo a grande parte dos consumidores. Há hoje incentivos financeiros para financiamento, através de instituições financeiras, em que é possível parcelar a aquisição de um sistema fotovoltaico. Tendo em vista a incidência de juros na contratação, isso torna o investimento um pouco mais oneroso, e influencia diretamente na viabilidade econômica do investimento e no tempo estimado de retorno do capital investido. Logo, tudo isso deve ser levado em consideração na tomada de decisão do investimento.

A Lei 14.300 promulgada em 2022 trouxe uma maior segurança jurídica a quem já possui o sistema de geração de energia fotovoltaica bem como aqueles que tem intenção de adquiri-la. Conhecida como marco legal da geração distribuída, fixou regras de compensação para os próximos anos. Dessa forma, o que antes aparecia como uma desvantagem devido a insegurança jurídica, hoje traz uma vantagem indiscutível, principalmente no que se refere a cobrança de tarifas de uso dos sistemas de distribuição dos micros e minigeradores. De acordo com a Lei 14.300/2022, as unidades consumidoras que já produzem sua própria energia hoje, participantes do

Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), continuarão por mais 25 anos com os benefícios concedidos atualmente pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Essa garantia se estende também as unidades consumidoras que protocolarem a solicitação de acesso na distribuidora em até 12 meses contados da data da publicação da lei. Ou seja, para eles as regras atualmente vigentes pela REN 482 seguirão aplicáveis até o final de 2045. Antes da promulgação desta lei esse assunto era tratado como insegurança e colocava em risco a viabilidade econômica de um investimento.

Os componentes de um sistema fotovoltaico possuem uma alta durabilidade e baixos gastos com manutenção, o que representa fatores positivos a aquisição, que tranquiliza o investidor quanto a eventuais gastos futuros que podem onerar a viabilidade do investimento. Além disso, há uma tendência do mercado de tornar os equipamentos mais baratos, tendo em vista a melhora da tecnologia e aumento da concorrência no fornecimento de peças e equipamentos, devido ao crescente aumento do número de consumidores.

No que tange a análise de viabilidade apresentada, foi demonstrado que os valores apresentados no projeto de investimento, baseado no histórico de consumo do investidor, diferenciou consideravelmente da análise realizada na presente pesquisa, realizada com base nos valores compensados de energia analisando as faturas de energia elétrica de 12 meses de produção de energia / compensação de energia. Assim, ao analisar as projeções de fluxo de caixa, conclui-se que o investimento se mostrou positivo, estimado pelo *payback* descontado, levando em consideração os três cenários analisados, com uma taxa mínima de atratividade fixada em 8%, 10% e 12% ao ano. O estudo apresentou uma taxa interna de retorno (TIR) de 13,66%, que comparada com as taxas mínima de atratividade consideradas, representou uma porcentagem acima do mínimo estabelecido.

Em virtude das análises terem sido projetadas a um prazo de 25 anos, baseadas no tempo útil do sistema fotovoltaico, as projeções de tempo de retorno ficam vinculadas a eventuais variações econômicas, que podem afetar diretamente na validade das projeções. Isso é observado na análise do fluxo de caixa descontado do investimento, tendo em vista a incidência da Taxa Mínima de Atratividade fixada pelo investidor com base no cenário econômico nacional. Nesta pesquisa, foi apresentado três cenários diferentes, levando em consideração eventuais instabilidades econômicas futuras.

Logo, com base na produção de energia elétrica em um ano de funcionamento do sistema fotovoltaico, baseado nos valores compensados nas faturas de energia elétrica desse período, comparando com o projeto de investimento apresentado previamente a instalação do sistema fotovoltaico, conclui-se que mesmo sendo viável o investimento, o tempo de retorno do capital investido se diferenciou substancialmente em ambas análises, fator esse fundamental na tomada de decisão quanto ao investimento. Isso pode ser explicado pelos cálculos inadequados apresentados no projeto de investimento, em que não levou em consideração a perda de eficiência na geração de energia das placas solares, que representou uma redução de 20% após os 25 anos analisados. Também não levou em consideração a manutenção dos equipamentos, que embora seja um valor baixo comparado com o valor total do investimento, ainda assim representa um custo que deve ser considerado na análise.

Ao considerar que o objetivo da pesquisa foi verificar a viabilidade econômica de um sistema solar fotovoltaico baseado nos valores compensados de energia elétrica, comparando com a análise de viabilidade apresentada baseada nos valores consumidos de energia elétrica, foi demonstrado que em ambas análises o investimento é viável. Todavia, ficou evidente a diferença no tempo de retorno do investimento, tendo em vista que a análise mais próxima a realidade foi baseada no fluxo de caixa descontado, em que foi aplicando uma taxa mínima de atratividade, levando em consideração o valor do dinheiro investido no tempo. Nos três cenários analisados, o retorno do capital investido se verá com 10,02 anos, 12,09 anos e 15,10 anos. A partir desse período passará a gerar renda ao investidor.

REFERÊNCIAS

ABES. Disponível em: <https://abes-dn.org.br>. Acesso em: 22 mar. 2022.

ANEEL. **Matriz de energia elétrica do Brasil**. 2021. Disponível em www.aneel.gov.br. Acesso em: 10 fev. 2022.

ANEEL. **Geração distribuída**. Disponível em www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida. Acesso em: 10 fev. 2022.

ABSOLAR. Disponível em: www.absolar.org.br/noticia/brasil-chega-aos-14-gw-de-energia-solar-e-deve-dobrar-a-marca-este-ano. Acesso em: 10 mar. 2022.

ASSAF NETO, A. **Finanças corporativas e valor**. São Paulo: Atlas, 2003.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano decenal de expansão de energia 2029**. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>. Acesso em: 12 set. 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2021**. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Disponível em: www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben. Acesso em: 10 dez. 2021.

BARROS, B. F. **Gerenciamento de energia**: ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica. 3. ed. São Paulo: Érica, 2020.

BARROS, B. F. **Geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.

BELLEN, H. M. V. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

CCEE. Disponível em: <https://www.ccee.org.br>. Acesso em: 03 out. 2021.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no sistema elétrico**. Rio de Janeiro: IPEA, 2018.

DIAS, R. **Marketing ambiental**: ética, responsabilidade social e competitividade nos negócios. São Paulo: Atlas, 2007.

EDUARDO, C.; MOREIRA, S. Fontes alternativas de energia renovável, que possibilitam a prevenção do meio ambiente. **Revista de Divulgação do Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense**, v. 1, p. 398-402, 2010. Disponível em: <https://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/1853>. Acesso em: 03 mai. 2022.

FILHO, N. S.; KOPITTKKE, B. H. **Análise de investimentos**. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. **Energia e meio ambiente**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GITMAN, L. J. **Princípios da administração financeira**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

GRAY, D. E. **Pesquisa no mundo real**. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2012.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, n. 72, p. 6-15, 2007. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13564>. Acesso em: 10 abr. 2022.

HOLLANDA, J. B. **O potencial da geração distribuída**. São Paulo: Aranda, 2003.

IEA. **Perspectiva da tecnologia energética - 2020**. Disponível em www.iea.org/topics/energy-technology-perspectives. Acesso em: 20 out. 2021.

INEE. Disponível em: www.INEE.org.br. Acesso em: 10 abr. 2022.

INPE. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São Paulo: Labren, 2017. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html. Acesso em: 10 abr. 2022.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos metodologia científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LEITE, M. A. **Impacto ambiental das usinas hidrelétricas**. São Paulo: UNESP, 2005.

LODI, C. **Perspectivas para a geração de energia elétrica no Brasil utilizando a tecnologia solar térmica concentrada**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Programa de Planejamento Energético - COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2011.

LEMES, A. B. J.; CHEROBIM, A. P.; RIGO, C. M. **Administração financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. S. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário - o projeto Swera. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 145-159, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/vr68FHKFh6PWkYwtYXYvfMj/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2022.

MOREIRA, J. R. S.; NETO, A. H. **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

PINTO, M. O. **Energia elétrica: geração, transmissão e sistemas interligados**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

PHILIPPI, A. J.; REIS, L. B. **Energia e sustentabilidade**. São Paulo: Manole, 2016.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2014. CEPEL/CRESESB. Disponível em: www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 12 abr. 2022.

REIS, L. B. **Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação de análise de viabilidade**. São Paulo: Manole, 2003.

REIS, L. B.; AMARAL, E. A. F.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e prática do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Cotia, 2012.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. 3. ed. São Paulo: Manole, 2019.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JORDAN, B. D. **Princípios de administração financeira**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

SEBRAE. Disponível em: www.sebrae.com.br. Acesso em: 10 fev. 2022.

SILVA, C. L. **Políticas públicas e indicadores de desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Saraiva, 2010.

SILVA, D. F. **Dimensionamento de usinas hidrelétricas através de técnicas de otimização evolutiva**. São Carlos: USP, 2003.

SOLAR ADVANCE 2020. Disponível em: www.solaradvance.com.br. Acesso em: 12 abr. 2022.

URBANETZ, J. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, 2010. Disponível em: https://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese_Jair_Urbanetz_Junior.pdf. Acesso em: 12 abr. 2022.