



INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS AVANÇADO PIUMHI
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

IARA LOPES SILVA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – PÓS LEI 14.300/2022 - UM ESTUDO
DE CASO NA CIDADE DE PIUMHI-MG.**

Piumhi – MG

2023

Iara Lopes Silva

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – PÓS LEI 14.300/2022 - UM ESTUDO
DE CASO NA CIDADE DE PIUMHI-MG.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, ofertado pelo *campus* Piumhi do Instituto Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz Teixeira de Camargo

Coorientador: Dr. Felipe da Silva Alves

Piumhi - MG

2023

S586a Silva, Iara Lopes.

Análise de viabilidade econômica da geração de energia solar fotovoltaica – pós Lei 14.300/2022: um estudo de caso na cidade de Piumhi-MG [manuscrito] / Iara Lopes Silva. – 2023.

71 f. : il. color.

Orientador: Pedro Luiz Teixeira de Camargo.

Coorientador: Felipe da Silva Alves.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* Avançado Piumhi, 2023.

1. Lei 14.300. 2. Energia elétrica. 3. Sistemas de energia fotovoltaica. 4. Engenharia civil. I. Camargo, Pedro Luiz Teixeira de. II. Alves, Felipe da Silva. III. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Avançado Piumhi. IV. Título.

CDD 333.794

Catálogo: Andreia Cristina Damasceno - CRB-6/1974



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Avançado Piumhi
Diretoria de Ensino
Docentes Campus Avançado Piumhi
Rua Severo Veloso 1880 - Bairro Bela Vista - CEP 37925-000 - Piumhi - MG
(37)3371-3353 - www.ifmg.edu.br

Iara Lopes Silva

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA – PÓS LEI 14.300 - UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE PIUMHI-MG**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 02/08/2023 pela banca examinadora:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Vanessa Honória de Souza – IFMG

Prof. Me. Stella Maria Gomes Tomé- IFMG

Prof. Dr. Felipe da Silva Alves – IFMG (Coorientador)

Prof. Dr. Pedro Luiz Teixeira de Camargo - IFMG (Orientador)

Piumhi, 17 de julho de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Vanessa Honória de Souza, Professor(a) Substituto(a)**, em 14/08/2023, às 14:12, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Felipe da Silva Alves, Professor**, em 14/08/2023, às 14:33, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Stella Maria Gomes, Professora**, em 15/08/2023, às 21:06, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Luiz Teixeira de Camargo, Professor EBTT**, em 16/08/2023, às 18:12, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1618515** e o código CRC **F037C367**.

23715.000699/2023-51

1618515v1

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me abençoar com saúde e por iluminar meus passos para realizar este sonho.

À minha família, meu porto seguro, fonte de amor e apoio. À minha mãe, Hortência, dedico uma gratidão especial. Suas palavras de incentivo, encorajamento, e paciência foram fundamentais para alcançar este sonho.

Agradeço ao meu noivo Junior, por todo amor, incentivo e compreensão. Sua presença foi meu porto seguro durante esta jornada.

Ao meu orientador Dr. Pedro Luiz Teixeira de Camargo, e ao coorientador Dr. Felipe da Silva Alves, agradeço imensamente pela dedicação e apoio neste período de grande importância. Suas orientações sábias, *insights* valiosos e paciência ajudaram a moldar este trabalho.

Aos demais professores do *campus*, minha gratidão pelas aulas, orientações e ensinamentos compartilhados. Cada lição aprendida contribuiu para minha formação acadêmica.

Aos colegas que compartilharam seus conhecimentos e proporcionaram momentos de descontração, vocês tornaram esta jornada mais memorável.

RESUMO

A construção civil é um setor fundamental para economia, que enfrenta desafios em relação à geração de resíduos e ao gasto de energia elétrica a qual é consumida desde a fase de elaboração de projetos até o uso diário das edificações. Esta demanda por energia elétrica é alta e tende a aumentar devido às novas tecnologias e ao estilo de vida da sociedade moderna. Uma solução viável para enfrentar essa questão é a adoção de geradores de energia fotovoltaicos os quais convertem a irradiação solar em eletricidade. O intuito deste trabalho é analisar a viabilidade econômica da implantação de um gerador fotovoltaico, envolvendo os custos com o equipamento bem como a mão de obra necessária para sua instalação, considerando as mudanças no sistema de compensação de créditos prevista na Lei 14.300 que entrou em vigor em 07 de janeiro de 2023, a qual trata do Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída no Brasil. A abordagem metodológica adotada envolveu a análise do consumo de energia, considerando as faturas pagas à empresa fornecedora de eletricidade durante o período de doze meses. Com base nesses dados, foi possível dimensionar um gerador fotovoltaico de acordo com a necessidade do consumidor em estudo e, a partir disso, realizou-se a análise de viabilidade econômica e, com base na legislação em vigor, foi possível identificar que o *payback* desse gerador aumentou em quatro meses. Conclui-se que a implantação de geradores fotovoltaicos permanece como uma iniciativa economicamente viável e promissora dadas as evidentes vantagens ambientais, sociais e econômicas, mesmo considerando as imposições da Lei 14.300/2022.

Palavras chave: Lei 14.300. Energia elétrica. Sistemas de energia fotovoltaica. Engenharia civil.

ABSTRACT

The construction industry is a key sector of the economy, which faces challenges regarding waste generation and electricity consumption from the design phase to the daily use of buildings. This electricity demand is high and is set to increase due to new technologies and the lifestyle of modern society. A viable solution to address this issue is the adoption of photovoltaic power generators which convert solar irradiation into electricity. The purpose of this work is to analyze the economic feasibility of implementing a photovoltaic generator, involving the costs of the equipment as well as the labor required for its installation, considering the changes in the credit compensation system provided for in Law 14.300 that came into force on January 7, 2023, which deals with the Legal Framework for Distributed Microgeneration and Minigeneration in Brazil. The methodological approach adopted involved the analysis of energy consumption, considering the invoices paid to the electricity supply company during the twelve months. Based on these data, it was possible to size a photovoltaic generator according to the needs of the consumer under study, from this, the economic feasibility analysis was carried out and, based on the legislation in force, it was possible to identify that the payback of this generator increased by four months. It is concluded that the implementation of photovoltaic generators remains an economically viable and promising initiative given the evident environmental, social, and economic advantages, even considering the impositions of Law 14.300/2022.

Key words: Law 14.300. Electric energy. Photovoltaic energy systems. Civil engineering.

LISTA DE SIGLAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica.

ART – Anotação de Responsabilidade Técnica.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

CA – Corrente Alternada.

CC – Corrente Contínua.

BDI – Bonificação e Despesas Indiretas.

HSP – Horas de Sol Pleno.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

LDI – Lucro e Despesas Indiretas.

kW/h – quilowatt-hora.

MG – Minas Gerais.

MPPT – Rastreador de Máxima Potência.

SFV – Sistema Fotovoltaico.

UFV – Usina Solar Fotovoltaica.

Wp – Watt-pico.

SCEE – Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estimativa de consumo de energia em TWh até 2050.....	21
Figura 2: Matriz elétrica brasileira.....	22
Figura 3: Média anual de radiação solar no Brasil.....	24
Figura 4: Órbita da Terra em torno do Sol.....	25
Figura 5: Efeito fotovoltaico.....	28
Figura 6: Arranjo fotovoltaico.....	29
Figura 7: Células fotovoltaicas.....	30
Figura 8: Células de silício mono e policristalino.....	30
Figura 9: Módulo monocristalino.....	31
Figura 10: Módulo policristalino.....	32
Figura 11: Calculadora Cassio 991- célula de silício amorfo.....	33
Figura 12: Inversores.....	34
Figura 13: Mapa de localização.....	46
Figura 14: Telhado da residência com simulação de montagem de módulos... 47	
Figura 15: Fatura de energia.....	49
Figura 16: Estimativa de geração de energia.....	52
Figura 17: Cotação do equipamento fotovoltaico.....	54
Figura 18: <i>Payback</i> do sistema.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Irradiação solar média mensal.	48
Quadro 2: Dados do consumidor.	50
Quadro 3: Histórico de consumo.....	50
Quadro 4: Dados importantes.	51
Quadro 5: Custo do sistema instalado.....	55
Quadro 6: Informações iniciais.....	57
Quadro 7: Relação Fio B e custo de disponibilidade.....	58
Quadro 8: Análise de viabilidade financeira.....	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 JUSTIFICATIVA	18
3 OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
4.1 CONSUMO X DEMANDA ENERGÉTICA	19
4.2 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	21
4.3 RADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL.....	23
4.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	25
4.4.1 Sistema conectado à rede (ON GRID)	26
4.4.2 Sistema autônomo (OFF GRID).....	26
4.5 EFEITO FOTOVOLTAICO.....	26
4.6 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	29
4.6.1 Células monocristalinas (m-Si)	30
4.6.2 Célula policristalina	31
4.6.3 Células de silício amorfo.....	32
4.7 INVERSOR	33
4.8 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	34
4.9 LEI 14.300	35
4.9.1 Sistema de Compensação de Energia Elétrica.....	36
4.9.2 Resolução Normativa n°1059.....	36
4.9.3 Período de transição	38
4.9.4 Fator de simultaneidade.....	38
5 METODOLOGIA.....	38
5.1 LOCALIZAÇÃO DA UNIDADE GERADORA	39
5.2 DEFINIÇÃO DO MODELO E POSICIONAMENTO DO TELHADO	40
5.3 IMPACTOS NA EDIFICAÇÃO.....	40
5.4 IRRADIAÇÃO SOLAR	40

5.5 DEMANDA DE CARGA.....	41
5.6 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	41
5.7 PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO	42
5.8 MATERIAIS	42
5.9 INVERSOR	42
5.10 FATOR DE SIMULTANEIDADE.....	43
5.11 TARIFA DE ENERGIA.....	43
5.12 ANÁLISE ECONÔMICA	44
5.12.1 Capex.....	44
5.12.2 Payback	44
5.12.3 Bonificação e Despesas Indiretas (BDI)	44
5.13 ANÁLISE DE VIABILIDADE.....	45
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
6.1 LOCALIZAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA	46
6.2 DEFINIÇÃO DO MODELO E POSICIONAMENTO NO TELHADO	46
6.3 IRRADIAÇÃO SOLAR	47
6.4 DEMANDA DE CARGA.....	48
6.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	49
6.5.1 Estimativa de geração mensal.....	52
6.6 INVERSOR	52
6.7 ESTRUTURA	53
6.8 CAPEX	53
6.9 CUSTO FINAL	54
6.10 Fio B	55
6.11 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	55
6.11.1 Relação Fio B e custo de disponibilidade	56
6.12 PAYBACK	58
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....	60
REFERÊNCIAS.....	63
ANEXO A – FOLHA DE DADOS DO MÓDULO.....	67
ANEXO B – FOLHA DE DADOS DO INVERSOR.	69
ANEXO C – ESTRUTURA DE FIXAÇÃO	71

ANEXO D – VALORES DO BDI POR TIPO DE OBRA. 72

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor de relevância da economia brasileira e mundial. A sua expansão traz uma série de outros setores relacionados à produção de insumos e de serviços (LEITE, 2011).

Neste sentido, Pinheiro (2003, p.1) complementa que:

A indústria da construção, respondendo às necessidades sociais e económicas, cria e implanta infraestruturas (estradas, barragens, linhas de caminho de ferro), zonas urbanas (Edifícios e Parques), promovendo o crescimento (representava na Europa em 1999 – OCDE, 2003 - 9,7 % do Produto Nacional Bruto e 7,5 % do emprego) e suporte os processos de desenvolvimento. As atividades da sua tipologia induzem também, em muitos casos, alterações substanciais no ambiente, incluindo impactos ambientais muito significativos. Em muitos casos, esses impactos, ou pelo menos parte deles, são de carácter negativo e afetam decisivamente o ambiente atual e futuro.

Este setor é um consumidor em potencial de energia. Adicionalmente, ele é responsável por um elevado consumo de materiais e água, sendo, portanto, um grande gerador de gases poluentes e de resíduos ao meio ambiente (LEITE,2011).

Complementa-se ainda que, a construção civil, em especial a construção, operação e demolição de edifícios, configura-se como uma das atividades humanas que causam grande impacto no meio ambiente (SILVA *et al.*, 2003). Por este motivo, é essencial que tecnologias sustentáveis sejam desenvolvidas e difundidas na sociedade.

Sendo assim, faz-se necessário desenvolver tecnologias que sejam eficientes e que atendam à demanda de consumo da população contemporânea, contribuindo, por consequência, para a disseminação do desenvolvimento sustentável.

Desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades (BRUNTLAND, 1987). Esta é a definição clássica e foi apresentada durante a reunião da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (tradução livre do inglês *World Commission on Environment and Development - WCED*).

A problemática em torno do desenvolvimento sustentável teve início na década de 1970, impulsionada pela crise do petróleo, o que despertou a preocupação da ação humana sobre o ambiente (SOUZA, 2008).

Por conseguinte, houve alta nos valores dos recursos energéticos e surgiu então a necessidade de gerar energia por meios alternativos (RAGNINI, 2018).

A possibilidade de faltar energia é um problema que afeta todos os setores da economia e a qualidade de vida humana. Neste sentido, faz-se necessário adotar novos métodos de geração de energia, reduzindo a dependência por combustíveis fósseis. Uma solução para este problema é a geração de energia por fontes renováveis.

Lopes (2011) *apud* Kemerich *et al.* (2016) complementa que as fontes de energias renováveis, inclusive a energia solar, atuam como base energética para diversas gerações, destacando ainda os benefícios ambientais, de saúde pública, segurança energética, desenvolvimento e econômicos.

Fontes renováveis são aquelas que não acabam e que se renovam de forma natural no planeta. O mercado de energia elétrica apresenta grande potencial e o Brasil está apostando nessa possibilidade de negócios internacionais, pois possui posição geográfica favorável, devido às condições climáticas e grandeza territorial (RANGEL *et al.*, 2016; REI *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Oliveira *et al.* (2020, p.258) complementam que:

Com o aumento da população mundial e conseqüente aumento da demanda energética, se fazem necessários investimentos pesados nas fontes renováveis de energia. Há atualmente uma preocupação global com o inevitável aumento do consumo de combustíveis fósseis, devido ao maior consumo de energia pela população. Este tipo de comportamento altera a quantidade de emissão de Carbono (CO²) na atmosfera e as reais mudanças climáticas já podem ser percebidas.

Neste sentido, o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017, p.11) cita que a energia é fundamental e inquestionável para o desenvolvimento de um país bem como de tecnologias que visam o incremento da eficiência e a sustentabilidade da produção, possibilitando, assim, um desenvolvimento com impactos econômicos, sociais e ambientais reduzidos.

Fontes de energias renováveis são geradas por combustíveis que se renovam no meio ambiente, sendo as principais: eólica, hídrica, solar e biomassa. O uso destas não é recente, mas a tecnologia envolvida em seus métodos foi adaptada com o passar dos anos (NASCIMENTO, 2016).

O Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017, p.12) descreve ainda que:

Torna-se evidente, o importante papel que a energia solar pode desempenhar na expansão da matriz elétrica brasileira, aumentando sua resiliência com a diversificação das fontes e exploração de possíveis complementaridades. O aproveitamento do recurso energético solar consiste na conversão da energia emitida pelo Sol em energia térmica ou diretamente em energia elétrica (processo fotovoltaico). O uso de tecnologias de conversão de energia solar vem crescendo mundialmente a taxas elevadas, tanto para aplicações térmicas, quanto fotovoltaicas. O aproveitamento do recurso solar favorece o controle

hídrico nos reservatórios, especialmente nos períodos de menor incidência de chuvas, e possibilita planejamento e otimização de novos investimentos em geração, transmissão e distribuição de energia.

Galdino (2016, p.13) afirma que a geração solar fotovoltaica vem ganhando destaque por ser considerada limpa, não comprometendo de forma direta os aspectos ambientais, além de redução de custos, vem apresentando grande crescimento mundial.

O sistema fotovoltaico é composto pela ligação de módulos fotovoltaicos, controladores de carga, baterias, inversores e equipamentos de proteção, o que varia de acordo com o tipo de instalação, sejam ela interligada à rede ou autônoma (SILVA, COSTA, 2017, p.18).

Para a realidade brasileira, a energia solar fotovoltaica é favorável, pois o país apresenta boas taxas de radiação solar ao longo do ano, devido à proximidade à Linha do Equador (GALDINO, 2016).

Atualmente, a geração de energia pelas células fotovoltaicas está sendo aprimorada para oferecer ainda mais qualidade e sustentabilidade para as edificações. Neste sentido, aborda-se aqui a viabilidade da implantação de um gerador fotovoltaico. Para nortear este trabalho, é importante considerar as normativas vigentes no país, as quais regulam a geração distribuída.

Os consumidores que tiveram seus projetos homologados até 06 de janeiro de 2023 são aqueles que possuem direito adquirido, logo permanecem no regime de compensação total da energia injetada na rede, e arcam apenas com o custo de disponibilidade e de iluminação pública até o ano de 2045. Após esse período os mesmos estarão sujeitos a legislação vigente.

A partir de 07 de janeiro de 2023, os projetos que forem homologados serão norteados pelas regulamentações da ANEEL e pela Lei 14.300/2022, a qual foi aprovada no Senado Federal e institui o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); alterando as Leis n.ºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dando outras providências.

Com isso, antes do Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, os consumidores-geradores eram isentos da tarifa de uso do sistema de distribuição, o Fio B, que é uma taxa cobrada pela distribuidora de energia para remunerar os custos de

manutenção da rede elétrica. Com a nova regulamentação, a taxa referente ao uso da rede será imposta gradualmente e proporcional ao cliente.

Sendo assim, no presente trabalho, é analisado o dimensionamento de um gerador fotovoltaico, seu custo, seus benefícios e o retorno do investimento, considerando a legislação vigente. O dimensionamento fundamenta-se no consumo de uma residência de médio padrão, situada no município de Piumhi – Minas Gerais.

2 JUSTIFICATIVA

O setor da construção civil é um grande consumidor dos recursos naturais do planeta, e grande parte destes é finita, além de gerar uma grande quantidade de resíduos. O referido setor é um consumidor em potencial de energia elétrica, desde a fase de projeto até a operação da edificação.

Aliado a isto, o crescimento populacional, a melhoria da qualidade de vida da população e o desenvolvimento tecnológico indicam que a demanda energética está em constante crescimento. Suprir esta necessidade é fundamental para evitar uma futura crise energética, seja em escala nacional ou mundial. Uma solução para o problema em questão é a adoção de tecnologias sustentáveis para a geração de energia.

Esta é uma questão fundamental para a atualidade, a qual visa diminuir ainda mais a dependência dos combustíveis fósseis e utilizar como fonte geradora os recursos naturais, considerados inesgotáveis. Essa desvinculação é importante, pois ela reduz o risco de escassez de eletricidade, caso o consumo de energia elétrica cresça desenfreadamente.

Uma fonte de energia elétrica sustentável é a solar fotovoltaica, a qual converte a luminosidade do Sol em eletricidade. De acordo com Alves (2020, p.13):

Os impactos ambientais para a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos em comparação a sistemas tradicionais como hidrelétricas e termelétricas são basicamente nulos no quesito operação, pois não emitem gases e nenhum dano ao ambiente em que está instalado.

Além disso, segundo o portal da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2022), os benefícios da implantação de usinas solares envolvem mais de R\$ 90 bilhões em novos investimentos. O setor gerou mais de 524 mil novos empregos e a arrecadação de impostos foi de aproximadamente R\$ 24 bilhões.

Adicionalmente, a implantação das usinas fotovoltaicas reduziu a emissão de aproximadamente 25 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera, segundo a mesma fonte.

Visando regulamentar a geração de energia solar no Brasil, em 2022, foi aprovada a Lei 14.300, cujo objetivo é regulamentar a geração de energia por fontes renováveis e trazer mais segurança aos consumidores e à concessionária.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade econômica da instalação de um gerador solar fotovoltaico, pós Lei 14.300, em uma residência de padrão médio, localizada no município de Piumhi, Minas Gerais.

3.2 Objetivos específicos

- Estudar e analisar todos os componentes de uma usina de geração de energia solar fotovoltaica.
- Realizar uma análise crítica acerca da Lei 14.300.
- Analisar a viabilidade e o impacto da Lei 14.300 nos sistemas de geração de energia solar para a realidade de Piumhi - Minas Gerais.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Consumo x demanda energética

À medida que a população mundial cresce e os cidadãos almejam uma maior qualidade de vida, as quantidades de energia necessárias à manutenção dos serviços associados a estes padrões de consumo tendem a crescer (RÜTHER, 2010).

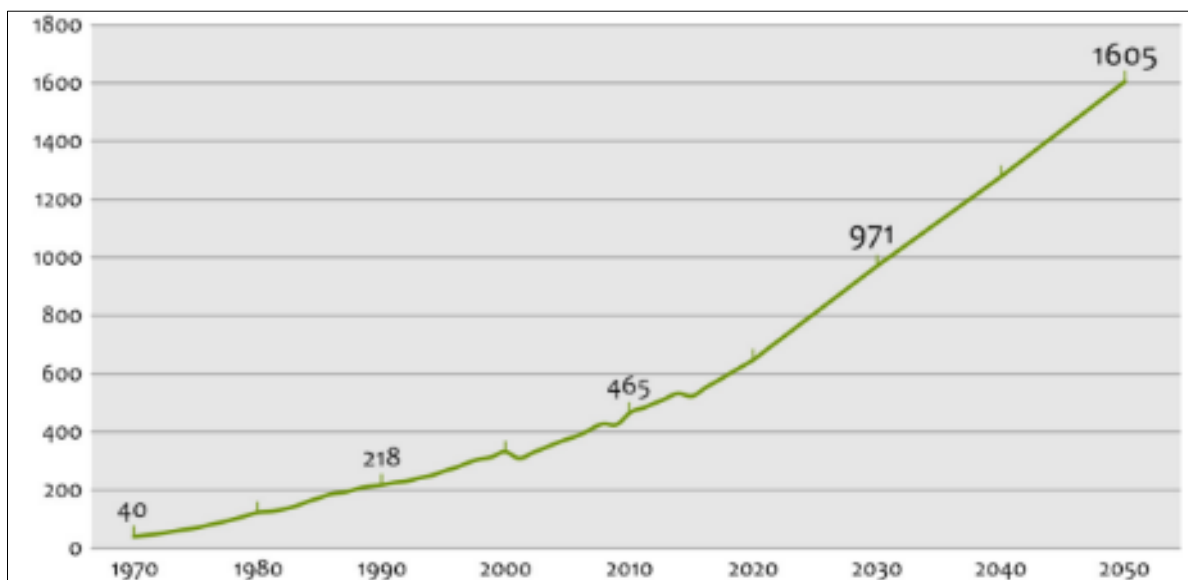
O mesmo autor ainda cita que a disponibilidade de recursos não renováveis, em particular dos combustíveis líquidos, tende ao esgotamento, ao mesmo tempo que aspectos ambientais questionam o uso crescente destes insumos.

No mesmo sentido, Bermann (2008, p.20) descreve que o consumo crescente e o impacto ambiental provocados pelos métodos tradicionais de produção de energia levaram o governo e a sociedade a pensar em novas fontes de energia.

Atualmente, a demanda energética de abastecimento é cada vez maior, principalmente quando falamos sobre o aumento populacional e a ampla utilização dos recursos tecnológicos.

Olhando esse cenário, a necessidade de se investir em novas fontes de energia e tecnologia torna-se cada vez mais importante, visto que a geração de energia por fontes renováveis é uma alternativa para mitigar os impactos ambientais provocados pelos métodos tradicionais de geração de energia. Complementa-se que, ainda que as hidrelétricas sejam uma fonte limpa e renovável, a geração é influenciada pelo nível dos reservatórios e ocorrência de chuvas ao longo dos anos, tornando a geração dependente do fator climático (GALDINO, 2016, p.14).

Neste sentido, a Figura 1 traz o gráfico com a projeção do consumo de energia elétrica no Brasil até o ano de 2050.

Figura 1: Estimativa de consumo de energia em TWh até 2050.

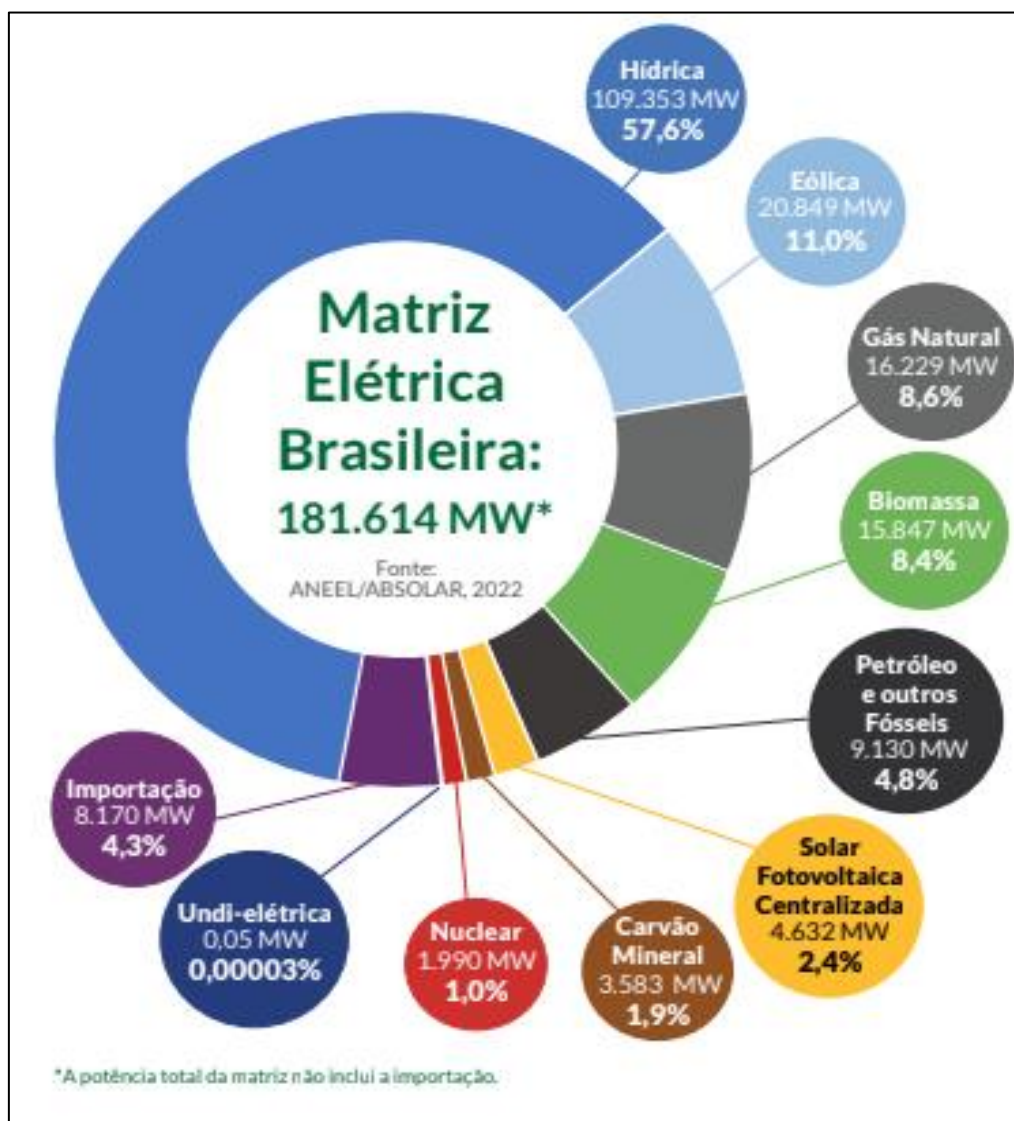
Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil., 2016.

4.2 Matriz energética brasileira

De acordo com o Balanço Energético Nacional (2021, p.17), a matriz elétrica brasileira é proveniente de fontes renováveis, que são: hídrica, biomassa, eólica, solar, carvão e derivados, gás natural, derivados de petróleo e nuclear.

Neste sentido, o gráfico do Balanço Energético Nacional (BEN), Figura 2, evidencia que a energia de fonte hídrica é a mais utilizada atualmente no país, mesmo envolvendo um alto custo de produção.

Figura 2: Matriz elétrica brasileira.



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2022.

Nota-se que o Brasil tem como fonte principal a hidroeletricidade, o que pode ser confirmado de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017, p.11):

No entanto, a hidroeletricidade, assim como todas as fontes renováveis de energia, está sujeita à influência de fatores climáticos de modo que a energia armazenada (representada pelo nível de água acumulada no reservatório) em períodos de seca pode atingir valores críticos sob o ponto de vista de segurança energética. Com esse recurso natural escasso, a oferta de energia diminui induzindo o crescimento do risco ao sistema energético e acarretando elevação dos preços da energia no país. Além disso, 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.

Neste sentido, Galdino (2016, p.9) complementa que, com a vulnerabilidade do recurso hídrico e o crescimento da demanda de eletricidade, faz-se necessário diversificar

as fontes de energia que compõem a matriz elétrica brasileira, buscando aproveitar fontes de energia que causem baixo impacto ao meio ambiente.

Oliveira *et al.* (2020, p.258) complementam que as alterações climáticas indicam que uma ação mitigadora deve ser pensada pela sociedade e pelos órgãos governamentais. Portanto, a geração de energia de fonte renovável torna-se fundamental.

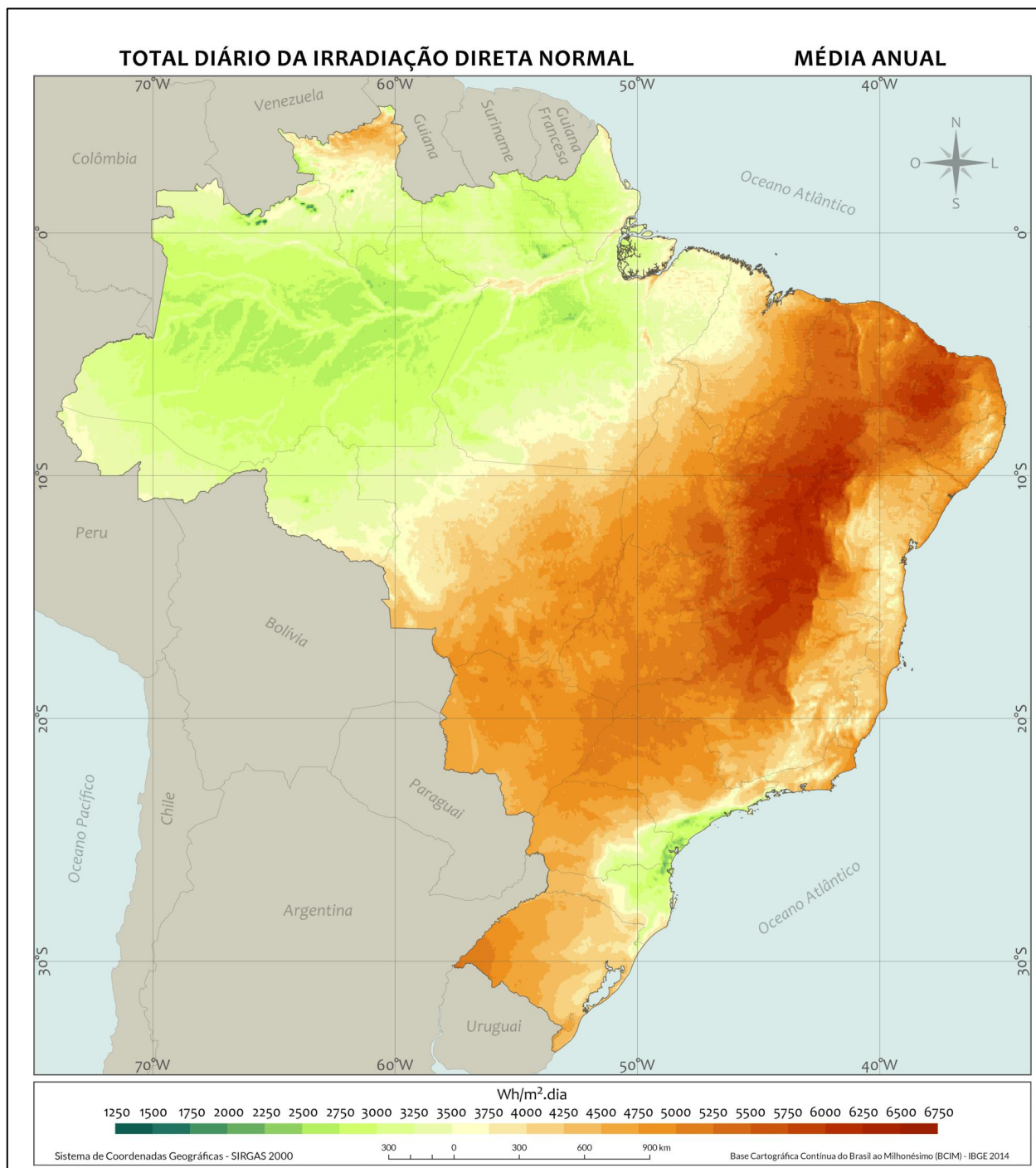
Neste sentido, o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017, p.12) salienta que o aproveitamento do recurso solar brasileiro atua como um complemento para as fontes convencionais de energia, o qual consiste na conversão da luz emitida pelo Sol em energia térmica ou elétrica (processo fotovoltaico).

De acordo com Galdino (2016, p.14), este tipo de geração é conveniente ao Brasil, visto que o mesmo apresenta condições climáticas favoráveis e a sua localização geográfica próxima à Linha do Equador proporciona um bom aproveitamento dos raios solares em quase todo o território nacional.

4.3 Radiação Solar no Brasil

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (p.57), a geração de energia fotovoltaica no Brasil é promissora, visto que até nas regiões menos ensolaradas do país é possível gerar mais energia elétrica que no local mais ensolarado da Alemanha. Sobre isso, tem-se a Figura 3, que mostra a média anual de radiação solar no país.

Figura 3: Média anual de radiação solar no Brasil.



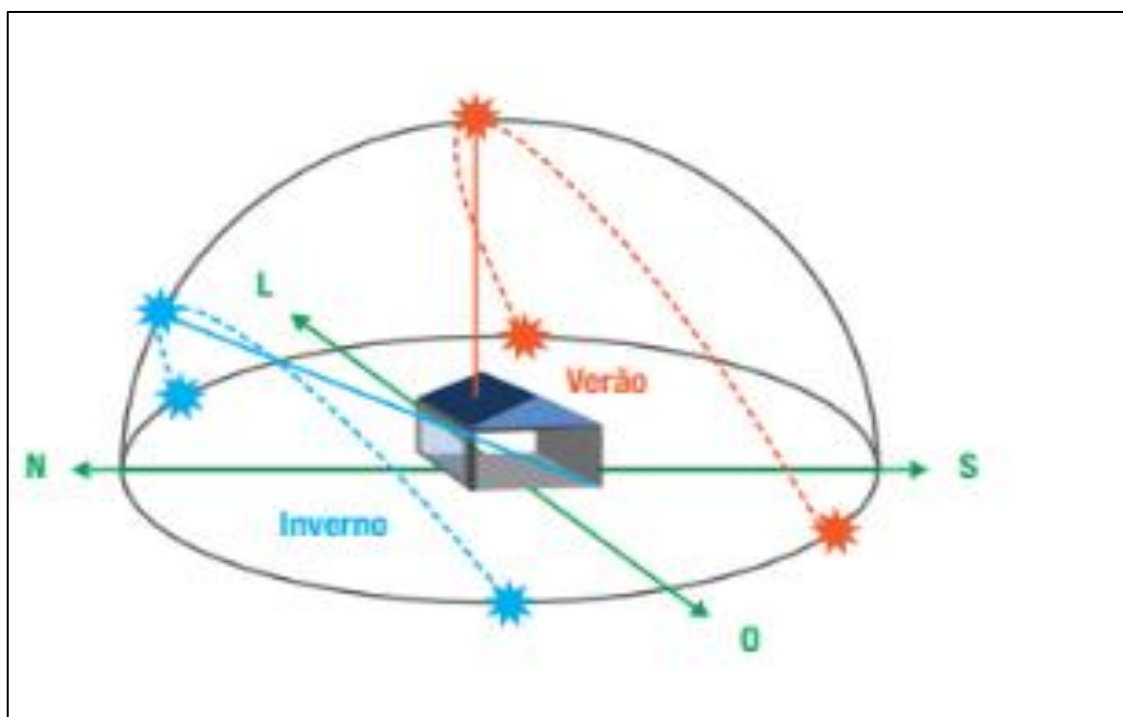
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017.

Segundo Galdino (2016, p.19), a quantidade de radiação solar incidente na Terra não pode ser prevista com alta precisão, visto que ocorre uma variação de acordo com as condições do tempo. Neste sentido, deve-se trabalhar com dados meteorológicos históricos.

Ainda Galdino (2016, p.15) complementa que o Brasil tem uma das melhores taxas de irradiação solar. Adicionalmente, a proximidade com a Linha do Equador confere mais constância à taxa de incidência solar ao longo do ano.

O mesmo autor ainda cita que a disponibilidade de radiação solar na Terra depende da órbita que a mesma faz em torno do Sol, a translação, que gera as estações do ano, conforme exemplificado na Figura 4.

Figura 4: Órbita da Terra em torno do Sol.



Fonte: <https://www.tegulasolar.com.br/>. Acesso em: 06/06/2022.

De acordo com o catálogo técnico da Tégula BIG-F1(2022, p.11), a orientação e inclinação dos telhados influenciam diretamente a geração de energia. Indica-se a instalação para a orientação Norte, visando maior eficiência do sistema com as variações ao longo do dia e das estações do ano, conforme visto na Figura 4.

A mesma fonte ainda cita que, em casos onde não é possível realizar a instalação para a orientação Norte, a instalação pode ocorrer em qualquer face do telhado. Nestes casos, é importante salientar que as perdas do sistema ocorrem entre 14% e 23%, quando instalados em orientação Leste ou Oeste.

4.4 Sistemas fotovoltaicos

4.4.1 Sistema conectado à rede (ON GRID)

Segundo Galdino (2016, p.35), este atua vinculado com a concessionária de energia local, sendo o mais utilizado nas residências e grandes instalações. Neste sistema, a energia proveniente do gerador fotovoltaico é injetada à rede da concessionária visando a compensação de energia consumida pelo consumidor.

No mesmo sentido, Ragnini (2018, p.22) cita que:

Sua grande vantagem é a não necessidade do uso de baterias e a possibilidade de injetar o excedente da geração na rede de distribuição, porém, o sistema estará sujeito a eventuais quedas de energia juntamente com o sistema da distribuidora.

Neste modelo de sistema, o consumidor pode ter uma economia parcial da sua tarifa de energia estipulada pela concessionária. Mesmo que a produção de energia pelo gerador fotovoltaico seja suficiente para o consumo da residência, o consumidor deverá arcar mensalmente com o pagamento da taxa mínima. Este valor a ser pago pelo cliente varia de acordo com o tipo de instalação (monofásica, bifásica ou trifásica).

4.4.2 Sistema autônomo (OFF GRID)

De acordo com Galdino (2016, p.34), este sistema de geração de energia atua sem vínculos com a concessionária de energia local. Portanto, toda energia que é produzida pelo gerador fotovoltaico é armazenada em baterias, podendo ser utilizada em locais isolados, como zona rural, sistemas de bombeamento de água e cerca elétrica.

O mesmo autor (p.34) ainda cita que há a necessidade de um banco de baterias para funcionamento e armazenamento da energia, bem como para uso noturno ou em dias sem sol. Além disso, o sistema pode ligar geladeira, televisão, lâmpadas, rádios, computador, *freezer*, entre outros eletrônicos.

4.5 Efeito fotovoltaico

Acerca do efeito fotovoltaico:

Em 1839 Edmond Becquerel observou através de um experimento, que quando placas metálicas, de platina ou cobre são mergulhadas em um eletrólito (solução condutora de eletricidade) produzem uma diferença de potencial que aumentava com a presença da luz solar, descobrindo assim o efeito fotovoltaico (VALLERA, 2006 apud RODRIGUES, 2019, p. 3).

Neste sentido, Nascimento (2004, p.9) descreve que a energia é produzida quando, nas extremidades de uma estrutura semicondutora, acontece uma diferença de potencial com a incidência de luz solar sobre a mesma. Atualmente, o sistema fotovoltaico baseia-se nesta reação para a produção de eletricidade através das células solares.

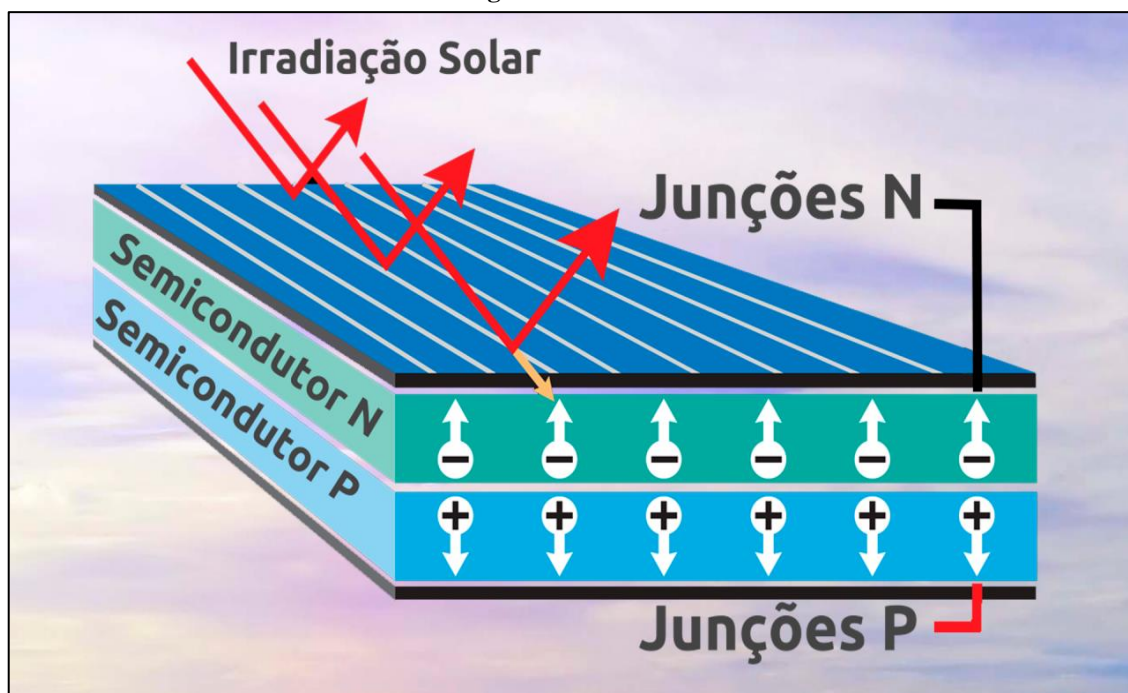
De acordo com Rodrigues *et al.* (2019, p.3), os materiais utilizados para produzir este efeito são conhecidos, como células solares ou fotovoltaicas. Estes são produzidos à base de silício, mas atualmente estão sendo desenvolvidas células de telureto de cádmio, heterojunção e células de arsenieto de gálio.

Sobre as células fotovoltaicas fabricadas com silício, Nascimento (2004, p.12) descreve que:

O silício apresenta-se normalmente como areia. Através de métodos adequados obtém-se o silício em forma pura. O cristal de silício puro não possui elétrons livres e, portanto, é mal condutor elétrico. Para alterar isto acrescentam-se porcentagens de outros elementos. Este processo denomina-se dopagem. A dopagem do silício com o fósforo obtém-se um material com elétrons livres ou materiais com portadores de carga negativa (silício tipo N). Realizando o mesmo processo, mas agora acrescentado Boro ao invés de Fósforo, obtém-se um material com características inversas, ou seja, falta de elétrons ou material com cargas positivas livres (silício tipo P).

De acordo com o mesmo autor (p.13), as células fotovoltaicas são compostas por uma camada fina do silício N e uma camada mais espessa do silício P. As camadas de silício P e N são neutras quando não estão em contato entre si. A Figura 5 ilustra a composição das células.

Figura 5: Efeito fotovoltaico.



Fonte: <https://www.ensolare.com.br/blog/efeito-fotovoltaico-como-a-energia-e-gerada>. Acesso em: 31/05/2022.

Segundo CRESESB (2006) *apud* Kemerich *et al.* (2016), as células fotovoltaicas são fabricadas utilizando silício (Si) e podem ser constituídas de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo.

De acordo com Nunes *et al.* (2020), a maioria das células utilizadas mundialmente são as monocristalinas. Estas podem ser utilizadas em média e alta potência. As policristalinas são uma alternativa mais econômica, porém menos eficiente. Nascimento (2004, p.12) complementa que, quando acontece a união das células fotovoltaicas, ocorre a formação de um campo elétrico devido aos elétrons livres de silício N que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P.

O mesmo autor (p. 13) ainda descreve o processo com a incidência de radiação solar:

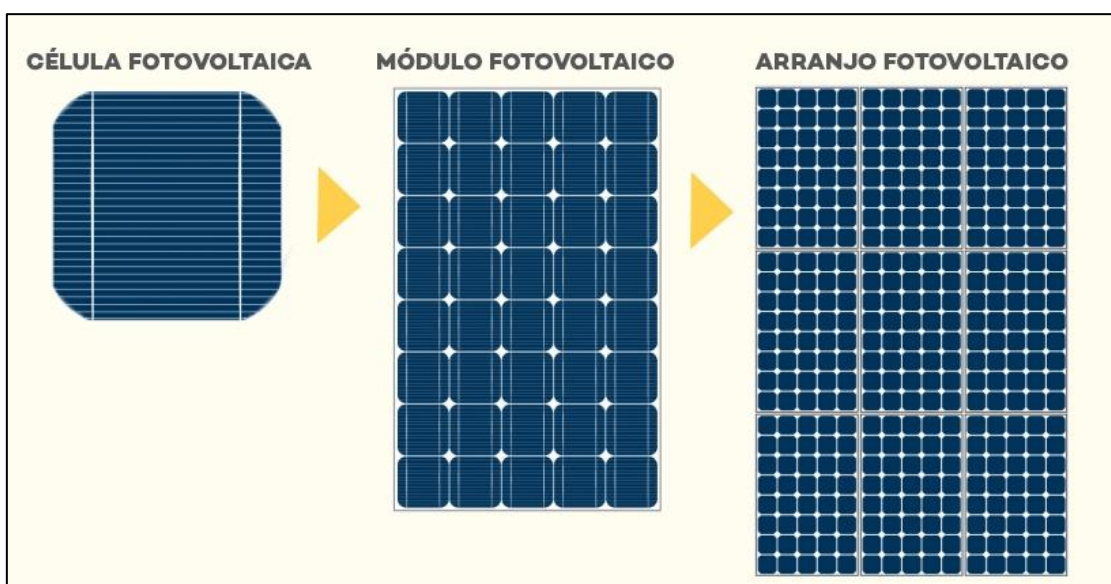
Ao incidir luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons chocam-se com outros elétrons da estrutura do silício fornecendo-lhes energia e transformando-os em condutores. Devido ao campo elétrico gerado pela junção P-N, os elétrons são orientados e fluem da camada “P” para a camada “N”.

Com a utilização de um condutor externo, ligando a camada negativa à positiva, surgirá um fluxo de elétrons, isto é, a corrente elétrica. Enquanto a luz incidir na célula,

haverá geração de corrente elétrica (corrente alternada), cuja intensidade varia de acordo com a incidência de radiação solar sob a célula (CRESESB 2006 *apud* KEMERICH *et al.* 2016).

Da união de diversas células fotovoltaicas obtém-se os módulos fotovoltaicos, os quais são comumente conhecidos como placas solares ou painel fotovoltaico. Com a junção de módulos fotovoltaicos tem-se os arranjos fotovoltaicos, conforme ilustrado na

Figura 6: Arranjo fotovoltaico.

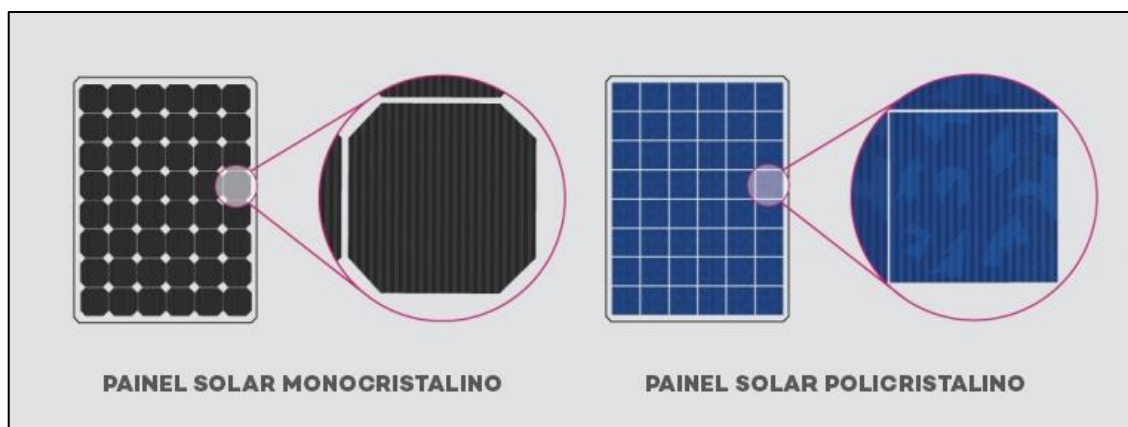


Fonte: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/placa-solar-fotovoltaica>. Acesso em 15/05/2023.

4.6 Células fotovoltaicas

No mercado de insumos fotovoltaicos existem diversos tipos de células fotovoltaicas, os quais diferem por sua estrutura, conforme pode ser observado na **Figura 7: Células fotovoltaicas**. Figura 7 e Figura 8.

Figura 7: Células fotovoltaicas.



Fonte: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/placa-solar-fotovoltaica>. Acesso em: 09/05/2023.

Figura 8: Células de silício mono e policristalino.



Fonte: www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/modulos-fotovoltaicos---monocristalino-ou-policristalino---qual-a-melhor-dessas-duas-tecnologias-para-o-brasil. Acesso em: 01/06/2022.

A seguir, estão listados os tipos mais comercializados de módulos fotovoltaicos.

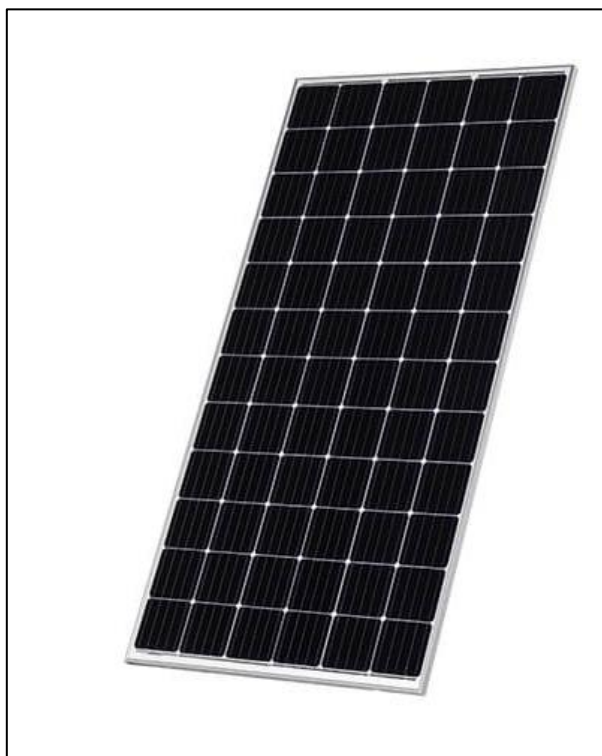
4.6.1 Células monocristalinas (m-Si)

As células monocristalinas apresentam rendimento superior, pois são fabricadas com materiais em estado mais puro e com estrutura cristalina perfeita. Sendo assim, o seu custo é elevado, visto que a sua produção envolve tecnologia superior, conforme descreve Nunes *et al.* (2020, p. 2).

De acordo com o mesmo autor, o material monocristalino tem domínio de mercado atualmente, pois pode ser utilizado em aplicações de média e elevada potência e a sua eficiência em conversão solar em energia elétrica é maior que 12%.

Neste sentido, Nascimento (2004, p.16) complementa que as células são obtidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais, e são obtidas por corte nas barras em forma de pastilhas finas com 0,4 – 0,5 mm de espessura. A **Figura 9: Módulo monocristalino.** Figura 9 mostra a estrutura de uma célula de silício monocristalino.

Figura 9: Módulo monocristalino.



Fonte: <https://academiadosol.com.br/blog/modulo-fotovoltaico/>. Acesso em: 09/05/2023.

4.6.2 Célula policristalina

Nunes *et al.* (2020, p. 2) citam que as células policristalinas são menos puras e apresentam menos eficiência, pois a sua produção não envolve tanta tecnologia, levando maiores imperfeições em sua estrutura. Logo, é uma opção mais econômica quando comparada às monocristalinas.

Nascimento (2004, p.16) descreve a produção das células policristalinas:

Estas células são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício esfria lentamente e solidifica-se. Neste processo, os átomos não se organizam num único cristal. Forma-se uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é ligeiramente menor do que nas de silício monocristalino.

A Figura 10 mostra a estrutura de uma célula de silício policristalino.

Figura 10: Módulo policristalino.



Fonte: <https://academiadosol.com.br/blog/modulo-fotovoltaico/> . Acesso em: 09/05/2023.

4.6.3 Células de silício amorfo

De acordo com Nascimento (2004, p.17), as células são produzidas por meio da deposição de camadas finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade varia entre 5% e 7%.

Por apresentar baixa eficiência em conversão de energia, a sua utilização se dá em calculadoras e relógios, conforme ilustrados na Figura 11.

Figura 11: Calculadora Cassio 991- célula de silício amorfo.



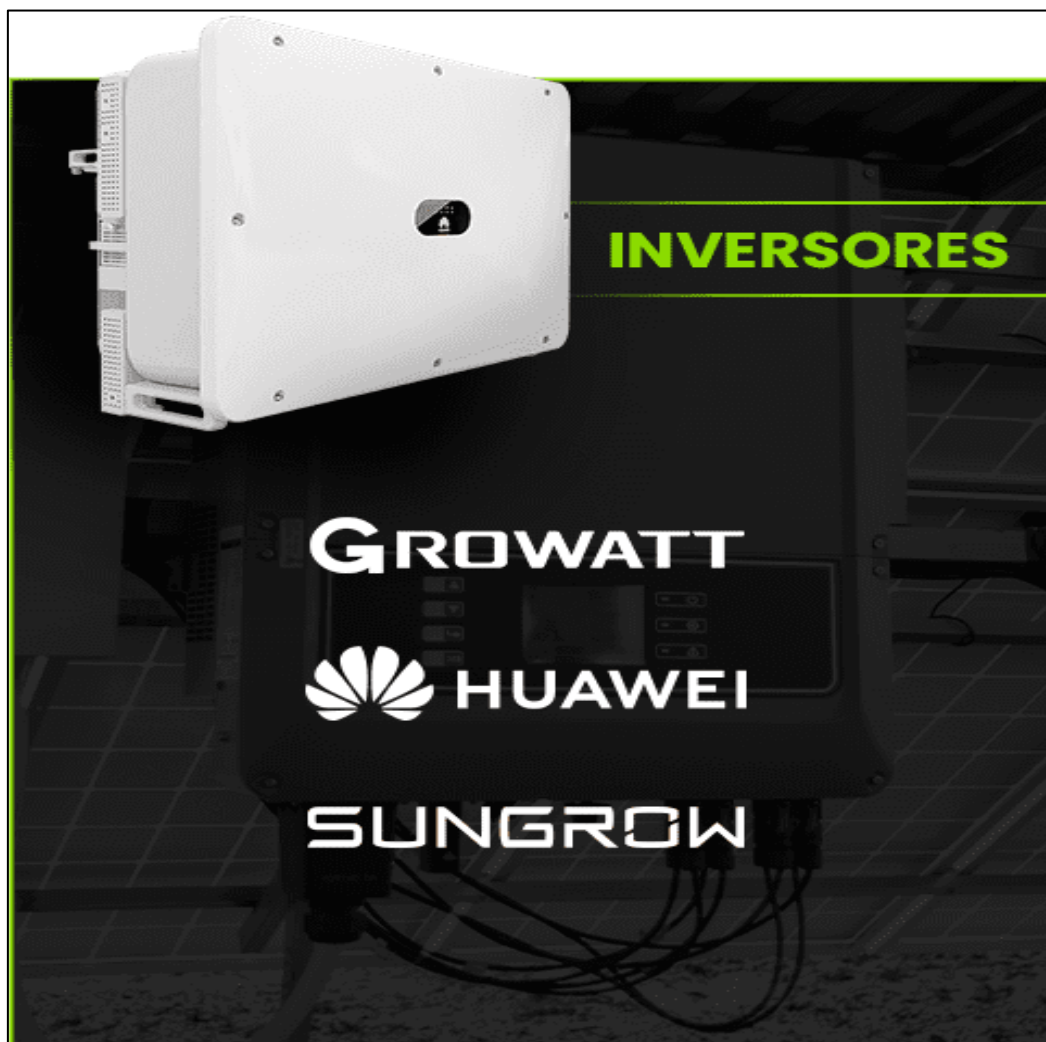
Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

4.7 Inversor

Como os painéis fornecem corrente de forma contínua, torna-se necessário o uso de um inversor para utilização de cargas que demandam corrente alternada, visto que a maioria dos equipamentos elétricos comercializados são alimentados em corrente alternada, compatível com a rede elétrica (SILVA, COSTA, 2017, p.18).

Silva (2017, p.22) descreve o inversor como o equipamento que converte energia elétrica de corrente contínua para corrente alternada, a qual é compatível com a rede pública de distribuição de energia elétrica. Este equipamento é encontrado em diversos modelos e marcas no mercado, conforme visto na Figura 12.

Figura 12: Inversores.



Fonte: <https://www.gelsolar.com.br/>. Acesso em: 15/06/2022.

De acordo com Villalva (2012, p.119), a escolha do inversor adequado depende de cada tipo de sistema fotovoltaico, em função de sua potência e dos demais componentes existentes; além disso, quando conectado à rede *wireless* em computadores ou aplicativos de celular, o inversor monitora o funcionamento do sistema fotovoltaico.

Alguns requisitos devem ser observados na escolha do inversor como: eficiência, segurança, qualidade e compatibilidade com o sistema.

4.8 Vantagens e desvantagens da energia solar fotovoltaica

Assim como os métodos tradicionais de geração de energia, este sistema possui vantagens e desvantagens. A Associação Brasileira de Energia Solar (2006 *apud* SILVA, COSTA, 2017) as descreve:

- Vantagens:
 - É renovável, considerada inesgotável e de fonte gratuita;
 - Ocupa áreas menores, quando comparadas a usinas hidrelétricas;
 - Energia limpa (não emite poluentes);
 - Baixa necessidade e facilidade de manutenção;
 - Possibilidade de monitoramento das usinas;
 - Fácil instalação;
 - Atende lugares de difícil acesso.

- Desvantagens:
 - Alto custo de implementação;
 - Sombreamentos afetam a eficiência;
 - Sujidade diminui a eficiência;
 - Peso dos módulos, quando instalados sobre telhados.

4.9 Lei 14.300

Em 06 de janeiro de 2022, a Lei 14.300 foi aprovada no Senado Federal (entrando em vigor no dia 07 de janeiro de 2023). Ela instituiu o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); alterando as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dando outras providências.

A Lei 14.300 em seu artigo primeiro adota as seguintes definições:

I – autoconsumo local: modalidade de microgeração ou minigeração distribuída eletricamente junto à carga, participante do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), no qual o excedente de energia elétrica gerado por unidade consumidora de titularidade de um consumidor-gerador, pessoa física ou jurídica, é compensado ou creditado pela mesma unidade consumidora; [...] V - consumidor-gerador: titular de unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída; VI - crédito de energia elétrica: excedente de energia elétrica não compensado por unidade consumidora participante do SCEE no ciclo de faturamento em que foi gerado, que será registrado e alocado para uso em ciclos de faturamento subsequentes, ou vendido para a concessionária ou permissionária em que está conectada a central consumidora-geradora; [...] XI - microgeração distribuída: 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;

Deve-se ressaltar que o presente trabalho aborda apenas os fatores que influenciam o estudo aqui realizado. Para a completa compreensão da Lei 14.300/2022 e toda sua complexidade, indica-se a sua leitura completa.

4.9.1 Sistema de Compensação de Energia Elétrica

O principal ponto da Lei 14.300 é a mudança do sistema de compensação de crédito de energia, ou seja, como será o tratado o excedente de energia que é injetado na rede da distribuidora e como isso retorna para o cliente em forma de desconto na conta de luz (PORTAL SOLAR, 2022).

Neste sentido a Lei 14.300 dá as seguintes providências em seu artigo 17:

Após o período de transição de que tratam os arts. 26 e 27 desta Lei, as unidades participantes do SCEE ficarão sujeitas às regras tarifárias estabelecidas pela Aneel para as unidades consumidoras com microgeração ou minigeração distribuída. § 1º As unidades consumidoras de que trata o caput deste artigo serão faturadas pela incidência, sobre a energia elétrica ativa consumida da rede de distribuição e sobre o uso ou sobre a demanda, de todas as componentes tarifárias não associadas ao custo da energia, conforme regulação da Aneel, e deverão ser abatidos todos os benefícios ao sistema elétrico propiciados pelas centrais de microgeração e minigeração distribuída [...].

De acordo com Rubim (2022, p.10) as solicitações de acesso protocoladas após o dia 06 de janeiro de 2023 terão, no momento de compensação de créditos de energia, a aplicação das novas regras de valoração, as quais implicam no pagamento do Fio B, de forma escalonada.

Ainda assim, a ANEEL (2023) aprovou a resolução normativa que estabelece e regulamenta como ocorrerá o custeio dos benefícios tarifários dos integrantes do SCEE. A Resolução Normativa nº1059 revoga a Resolução Normativa N°482 e traz alterações na Resolução Normativa N°1000 (RUBIM, 2023).

4.9.2 Resolução Normativa n°1059

A Resolução Normativa ANEEL nº 1059 de 07 de fevereiro de 2023 dá as seguintes providências:

Aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica; bem como as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica; altera as Resoluções Normativas nº 920, de 23 de fevereiro de 2021, 956, de 7 de dezembro de 2021, 1.000, de 7 de dezembro de 2021, 1009, de 22 de março de 2022, e dá outras providências (ANEEL, 2023).

Rubim (2023) ainda salienta que:

A ANEEL tinha trago como proposta desde setembro de 2022 e mais fortemente no começo de fevereiro de 2023 a possibilidade de que o consumidor que começa a gerar energia a partir do dia 8 de janeiro de 2023 então enquadrado conforme a nomenclatura da agência como G2 ou G3 de que esse consumidor no momento em que ele fosse compensar a energia gerada ele pagaria não só a componente Fio B sobre essa energia que injeta na rede, no momento em que ela é utilizada, mas pagaria ainda o custo de disponibilidade equivalente. Então esse consumidor cumularia os dois pagamentos [...] o que significa um pagamento em duplicidade pelo consumidor.

A Resolução Normativa ANEEL nº 1059 definiu então como acontecerá o pagamento por parte do consumidor, sendo que este pagará o que for maior entre a taxa de disponibilidade e uso do Fio B, conforme descrito no Art.655, abaixo:

Art. 655-I. No faturamento no grupo B de unidade consumidora participante do SCEE, o consumidor deve pagar à distribuidora a soma das seguintes parcelas:

I - Parcela referente à energia ativa consumida da rede de distribuição; e
II - Parcela referente à energia ativa injetada na rede de distribuição.

§ 1º A parcela referente à energia ativa consumida da rede de distribuição é o maior valor entre os obtidos a partir do:

I - Custo de disponibilidade disposto no art. 291; ou

II - Faturamento referente à energia consumida da rede, composto pela soma:
a) da diferença positiva entre o montante de energia ativa consumido da rede e a energia compensada, faturada conforme regras aplicadas aos demais consumidores; e

b) do faturamento do custo de transporte da energia compensada, conforme enquadramento como GD I, GD II ou GD III.

O que pode ser entendido também da seguinte forma:

Depois de diversas manifestações do setor a agência mudou a proposta inicial [...]e ficou decidido que o consumidor atendido em baixa tensão vai sempre ter que pagar no mínimo em reais o valor equivalente a taxa mínima [...] ou o valor em reais do Fio B. [...] se no momento da compensação o valor que o consumidor tiver que pagar a título de Fio B for maior ou igual ao custo de disponibilidade ele vai pagar somente o valor referente ao Fio B, por outro lado quando ocorrer a compensação se o valor que ele tiver a título de Fio B for menor que o custo de disponibilidade, a conta do consumidor será o valor do custo de disponibilidade (RUBIM, 2023).

No mesmo sentido, Canal Solar (2023) cita que a parcela referente ao uso do Fio B será somente sobre a energia excedente que é injetada na rede e, posteriormente, compensada na sua própria unidade ou em unidades que receberão créditos.

A mesma fonte ainda cita que, quanto maior for o consumo instantâneo no momento da geração de energia, menor será a injeção na rede. Logo, a taxa sobre Fio B será menor, caso contrário, maior será o custo do consumidor com o Fio B.

Ainda nesse sentido, o mesmo autor descreve que uma variável importante a ser considerada agora é o fator de simultaneidade, ou seja, quanto maior ela for, maior será a rentabilidade e o menor tempo de retorno do investimento.

4.9.3 Período de transição

As novas regras de transição do SCEE são abordadas no Art. 27 da Lei 14.30, conforme:

O faturamento de energia das unidades participantes do SCEE não abrangidas pelo art. 26 desta Lei deve considerar a incidência sobre toda a energia elétrica ativa compensada dos seguintes percentuais das componentes tarifárias relativas à remuneração dos ativos do serviço de distribuição, à quota de reintegração regulatória (depreciação) dos ativos de distribuição e ao custo de operação e manutenção do serviço de distribuição:

I - 15% (quinze por cento) a partir de 2023;

II - 30% (trinta por cento) a partir de 2024;

III - 45% (quarenta e cinco por cento) a partir de 2025;

IV - 60% (sessenta por cento) a partir de 2026;

V - 75% (setenta e cinco por cento) a partir de 2027;

VI - 90% (noventa por cento) a partir de 2028; VII - a regra disposta no art. 17 desta Lei a partir de 2029.

4.9.4 Fator de simultaneidade

De acordo com o CANAL SOLAR (2023), o fator de simultaneidade é definido como a razão entre a energia consumida e a energia gerada durante um determinado intervalo de tempo.

No mesmo sentido, SOLAR VIEW (2022) complementa que o fator de simultaneidade é a relação entre o autoconsumo e a energia total gerada, e o mesmo tem o objetivo de identificar o percentual de energia que está sendo consumida instantaneamente.

5 METODOLOGIA

Para nortear a elaboração desta pesquisa, optou-se por uma abordagem quantitativa. Segundo Fonseca (2002) na pesquisa quantitativa os resultados podem ser quantificados visto que a mesma almeja objetividade.

Esta pesquisa pode ser classificada como aplicada visto que de acordo com Gerhardt e Silveira (2009, p.35) a pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, envolve verdades e interesses locais.

Para a elaboração deste trabalho, inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica. De acordo com Gil (1991) esta baseia-se em uma análise criteriosa de materiais publicados anteriormente, principalmente livros e artigos científicos.

Neste sentido Vergara (2006, p.48) complementa que a revisão bibliográfica fornece instrumental analítico para qualquer outro tipo de pesquisa, mas também pode esgotar-se em si mesma.

Complementa-se ainda que foi realizada uma pesquisa documental, a qual é definida como:

A pesquisa documental recorre a fontes mais diversificadas e dispersas, sem tratamento analítico, tais como: tabelas estatísticas, jornais, revistas, relatórios, documentos oficiais, cartas, filmes, fotografias, pinturas, tapeçarias, relatórios de empresas, vídeos de programas de televisão, etc. (FONSECA, 2002, p. 32).

Esta pesquisa tem caráter exploratório, visto que tem o intuito de proporcionar maior entendimento ao assunto estudado, além de aprimorar ideias e ampliar o conhecimento acerca do tema pesquisado Gil (1991).

Este estudo realizou o dimensionamento de um gerador fotovoltaico para uma família de três integrantes, sendo dois adultos e uma criança. Com isto, foi realizada uma análise de viabilidade econômica considerando-se a legislação vigente.

5.1 Localização da unidade geradora

A localização da unidade geradora deve ser avaliada, visto que a geração de energia fotovoltaica depende da radiação solar. Assim, possíveis sombreamentos devem ser evitados, pois interferem na eficiência do sistema. Quando não é possível evitar

completamente o sombreamento, deve-se buscar uma forma de mitigar os impactos deste efeito.

5.2 Definição do modelo e posicionamento do telhado

Para garantir a maior eficiência e menor custo com mão de obra dos sistemas, a inclinação do telhado adotada aqui foi acordo com o indicado pelo manual do produto. Além disso, optou-se pelo posicionamento dos módulos para a direção Norte, visando maior irradiação solar durante todo o ano.

5.3 Impactos na edificação

Por ser um equipamento que fica sobre o telhado, é importante considerar o seu peso sobre a edificação, a fim de evitar possíveis danos estruturais. Adicionalmente, é importante analisar a área que o sistema aqui estudado ocupa, visto que o telhado da edificação deve comportar todo o equipamento.

5.4 Irradiação solar

Um fator de suma importância para a eficiência do sistema é a irradiação solar, que varia de acordo com a localização da instalação. Para o correto dimensionamento do sistema, este dado foi obtido pelas coordenadas geográficas da instalação.

Além disso, analisou-se o número de horas de Sol pleno (HSP). Esta grandeza expressa o número de horas que a irradiância solar permanece igual a 1 kW/m^2 , conforme a localidade. Esta variável foi determinada de acordo com a base de dados do programa Sun Data, o qual utiliza as coordenadas geográficas da região onde será instalada a UFV para quantificar esta variável. Caso a localização do ponto escolhido não esteja em conformidade com o banco de coordenadas do Sun Data, o programa direciona automaticamente para três pontos próximos, ficando a critério do projetista a escolha do ponto mais interessante para o dimensionamento.

Neste sentido CRESESB (2014, p.95) ainda complementa:

O programa Sun Data, desenvolvido pelo Cepel, é uma ferramenta para apoio ao dimensionamento de um SFV. O mesmo é baseado no banco de dados do CENSOLAR (além de outras fontes), contendo valores de irradiação diária

média mensal no plano horizontal pra cerca de 350 pontos no Brasil e em países limítrofes. O Sun Data apresenta os dados mensais para planos inclinados em três ângulos de inclinação, orientados para o Equador. Para saber a irradiação solar global diária média mensal de uma localidade basta entrar com suas coordenadas.

5.5 Demanda de carga

A demanda de carga estimada neste trabalho foi baseada no histórico de consumo da autora deste trabalho, conforme registros da concessionária de energia, os quais são descritos na fatura de energia. A partir disso, foi realizada a média anual de consumo para a residência em estudo. Com este valor, tornou-se possível dimensionar a potência do gerador fotovoltaico.

5.6 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi baseado na potência de consumo da residência, conforme descrito por CRESESB (2014, p.328):

Para se dimensionar o gerador FV de forma otimizada, deve-se levantar o consumo médio diário anual da edificação (Wh/dia) [...] valor calculado pelo histórico de faturas mensais de consumo de energia elétrica emitidas pela distribuidora local.

Contudo, é importante salientar que as concessionárias de energia taxam a disponibilidade de energia em cada unidade consumidora de acordo com o tipo de instalação, seja ela monofásica, bifásica ou trifásica, com essa taxa de consumo sendo de 30, 50 e 100 kW/h, respectivamente.

Sendo assim, o dimensionamento do sistema foi calculado com as seguintes Equações (1) e (2):

$$E = \frac{\text{Média mensal}}{30} \quad (1)$$

$$P_{FV} = \frac{(E/TD)}{HSP} \quad (2)$$

Onde:

- P_{FV} : Potência de pico do sistema (Wp);
- E: Consumo diário médio anual da edificação (Wh/dia);

- HSP: Média anual das HSP incidente do plano do módulo ou telha (h);
- TD: Taxa de desempenho (adimensional)

A variável HSP foi obtida pelo portal CRESESB, conforme descrito no item 5.4 Irradiação solar. A taxa de desempenho é uma variável estimada, levando em consideração possíveis perdas devido a calor, sombreamentos indesejáveis, sujeiras na telha ou módulo solar e temperatura operacional. CRESESB (2014) indica um valor de TD entre 70% e 80%, para instalações residenciais bem ventiladas sem sombreamento constante.

5.7 Planilha de dimensionamento

Para executar o dimensionamento do sistema, foi elaborada uma planilha no software Excel[®]. A planilha foi alimentada com os dados de consumo mensal, valor da irradiância média do sol, classe de consumo da unidade, taxa de desempenho do sistema, eficiência do inversor e potência módulo.

5.8 Materiais

Para realizar a análise, foram determinados alguns requisitos para a escolha dos materiais. Os módulos solares para este estudo devem seguir alguns requisitos como: monofacialidade, células monocristalinas, eficiência superior a 20% e potência superior a 500Wp. Essa premissa é importante, pois visa o melhor aproveitamento do telhado, a estética da edificação e a eficiência do sistema.

5.9 Inversor

A escolha do inversor ocorreu de acordo com a potência dimensionada para a unidade consumidora. O equipamento aqui escolhido tem potência suficiente para suprir a demanda da residência, conforme o dimensionado no item 5.6 Dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Com o objetivo de evitar a sobrecarga de um inversor, os modelos modernos deste têm duas ou mais entradas de linhas, as *strings*, que possuem rastreadores de ponto de

máxima potência (MPPT). Estes são equipamentos que otimizam a entrada de energia no inversor (RAGNINI, 2018).

Visando o dimensionamento adequado do inversor, o mesmo será dimensionado de acordo com o fator de dimensionamento de inversores (FDI), o qual relacionou a potência nominal C.A. do inversor e a potência de pico do gerador (CRESESB, 2014), conforme descrito na Equação 3.

$$FDI = \frac{P_{Nc.a.}}{P_{FV}} \quad (3)$$

onde:

- FDI: fator de dimensionamento do inversor;
- $P_{Nc.a.}$: Potência nominal de corrente alternada do inversor (W);
- P_{FV} : Potência pico gerada pelas ou módulos (Wp).

Segundo CRESESB (2014, p.332), o FDI recomendado por fabricantes situa-se na faixa de 0,75 a 0,85, enquanto o limite superior é de 1,05.

5.10 Fator de simultaneidade

Segundo ALMEIDA (2023, p.21), o fator de simultaneidade é o indicativo que correlaciona a energia gerada consumida instantaneamente e a injetada na rede, descrito na Equação 4.

$$Simultaneidade = \frac{\text{Consumo Instantâneo}}{\text{Energia Gerada}} \times 100 \quad (\%) \quad (4)$$

5.11 Tarifa de energia

A tarifa de energia é um fator que foi levando em consideração neste trabalho, visto que ela é um parâmetro importante para analisar a viabilidade econômica de implantação do sistema. Quanto mais alto o valor da tarifa, maior é a viabilidade do sistema.

A partir da homologação da Lei 14.300 de 2022, será necessário levar em consideração o Fio B, o qual é um componente da tarifa de energia (OLIVEIRA, 2023).

Neste sentido, complementa-se que projetos que solicitarem conexão de acesso após a referida lei pagarão uma porcentagem sobre o Fio B, que aumentará de forma escalonada de 2023 a 2028 (PORTAL SOLAR, 2022).

De acordo com a CEMIG, concessionária de energia elétrica atuante na cidade de Piumhi, Minas Gerais, a tarifa para clientes de Classe B1 (residencial) tem o valor de R\$0,65. Este valor deve ser acrescido de impostos como: ICMS, PIS/COFINS, sendo o seu valor final de R\$ 0,738.

5.12 Análise econômica

Para analisar a viabilidade econômica do investimento em geração de energia fotovoltaica, fez-se necessário quantificar o tempo em que haverá o retorno do investimento. Nesta etapa, deve-se compreender alguns conceitos que são usuais na área, os quais são descritos a seguir.

5.12.1 Capex

CAPEX, sigla originada da expressão inglesa *capital expenditure*, pode ser traduzida como as despesas de um investimento. Ragnini (2018, p.47) descreve que, para a área da energia solar, o termo está relacionado às despesas com a compra do equipamento, módulos, cabeamento, instalação.

5.12.2 Payback

Este conceito financeiro descreve a viabilidade da realização do investimento, o qual estima o tempo de retorno que é suficiente para cobrir o seu custo. É bastante utilizado em investimentos em energias alternativas, apontando que, quanto mais rápido o retorno do capital investido, mais atrativo é o investimento (RAGNINI, 2018).

5.12.3 Bonificação e Despesas Indiretas (BDI)

Para determinar o custo final de implementação dos respectivos geradores, serão consideradas as estimativas de custos: diretos e indiretos, despesas e definição de margem de lucro (CEF, 2020):

- Custos diretos: soma de todos os custos dos serviços necessários para a execução da obra, multiplicados pelas suas respectivas quantidades e coeficientes de consumo. Estes custos relacionam os materiais, os equipamentos e a mão de obra;
- Custos indiretos: soma dos custos com os serviços auxiliares de apoio à obra, entre eles logística, infraestrutura e gestão necessária para a execução da obra, remuneração da equipe técnica e administrativa.
- Despesas indiretas: recursos destinados ao pagamento de tributos;
- Lucro ou bonificação: remuneração da empresa pela execução do serviço. Juntamente com as despesas indiretas formam o DBI (bonificação e despesas indiretas), também conhecido como LDI (lucro e despesas indiretas).

Neste trabalho, o valor total da execução do serviço foi calculado considerando os custos diretos, indiretos e o BDI, de acordo com o serviço prestado. Neste sentido, foram considerados os valores referentes a serviços privados. Conforme visto no ANEXO D.

Adicionalmente CEF (2020, p.21) complementa:

Para as obras públicas, o BDI vem sendo balizado por seguidas decisões do Tribunal de Contas da União. O Acórdão mais recente a tratar do tema, na época desta publicação, é o 2.622/2013 - Plenário, que apresenta, em planilhas diferenciadas por tipo de obra, alíquotas médias, além daquelas localizadas no primeiro e no terceiro quartil da amostra estudada. Para as demais obras, empregam-se as referências já citadas, fazendo as apropriações devidas nos casos de tributação simplificada.

5.13 Análise de viabilidade

Após realizar o dimensionamento, o sistema foi analisado criteriosamente, levando em consideração a realidade atual e os impactos econômicos da Lei 14.300/2022 na viabilidade econômica do projeto.

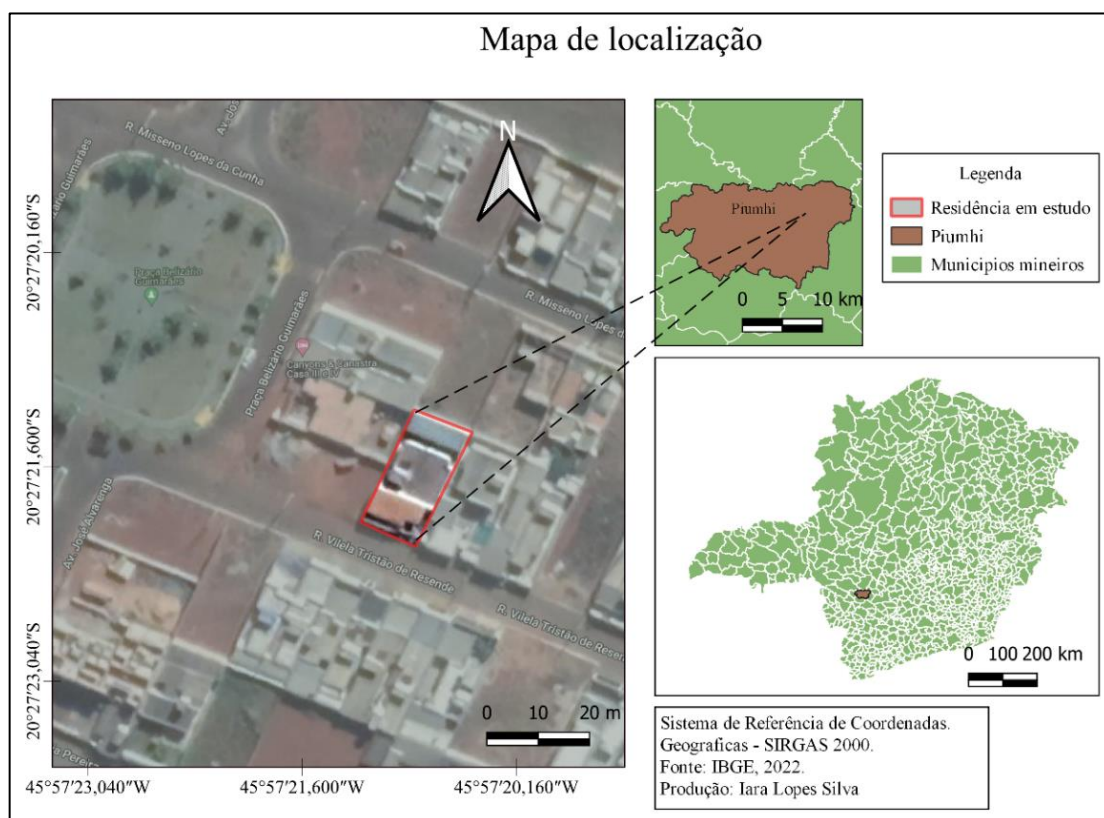
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Localização da unidade consumidora

Para este estudo de caso, uma unidade consumidora foi escolhida aleatoriamente no município de Piumhi – Minas Gerais. Visando o melhor desempenho do sistema, a localização da residência deu-se em um bairro majoritariamente residencial, com casas térreas.

Com essa condição, foi escolhido o bairro Novo Tempo, composto por casas térreas, o que evita possíveis sombreamentos sobre a estrutura. A Figura 13 mostra a localização da residência.

Figura 13: Mapa de localização.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

6.2 Definição do modelo e posicionamento no telhado

Para nortear este trabalho, algumas ressalvas devem ser feitas quanto à residência escolhida, são elas:

- A edificação conta com telhado em telhas de fibrocimento;
- A instalação do gerador fotovoltaico seria realizada na água do telhado mais ao Norte da edificação, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14: Telhado da residência com simulação de montagem de módulos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

6.3 Irradiação solar

A irradiação solar do local da instalação foi obtida pelo programa Sun Data, com as coordenadas do local escolhido. Após realizar a consulta neste programa, nota-se que o mesmo não tem os dados exatos de acordo com as coordenadas da instalação.

Segundo o mesmo portal (2023), o banco de dados contém informações de mais de 72.000 pontos em todo território nacional, com distância aproximada de 10 quilômetros entre eles. Sendo assim, optou-se por utilizar os dados de HSP do ponto mais próximo, como pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1: Irradiação solar média mensal.

Estação:	Piumhi													
Município:	Piumhi MG - Brasil													
Latitude:	20,5° S													
Longitude:	45,949° O													
Distancia do ponto de ref.	(20,45603° S; 45,955958° O) : 4,9km													
Ângulo	Inclinação	Irradiação solar média mensal (kWh/m ² .dia)												Média (kWh/m ² .dia)
		Jan.	Fev.	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Maior média anual	21° N	5,1	5,62	5,06	5,38	5,14	5,15	5,38	6,11	5,63	5,4	4,78	4,99	5,31

Fonte: Adaptado de Cresesb, 2022.

A partir disso, adotou-se com HSP o valor médio. Para a localização em questão, o valor foi de 5,31 kWh/m².dia.

6.4 Demanda de carga

Para dimensionar esse SFV, a demanda de carga foi calculada de acordo com o histórico de consumo de uma família com três integrantes: dois adultos e uma criança. Este dado pode ser consultado na fatura de energia, conforme mostra a Figura 15.

Figura 15: Fatura de energia.

2ª VIA - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA																																										
Classe Residencial Bifásico	Subclasse Residencial	Modalidade Tarifária Convencional B1	Datas de Leitura			Data de Emissão 05/12/2022																																				
			Anterior 03/11	Atual 05/12	Próxima 04/01																																					
Informações Técnicas																																										
Tipo de Medição Energia kWh	Medição AFD969003888	Leitura Anterior 55.344	Leitura Atual 55.575	Constante de Multiplicação 1	Consumo kWh 231																																					
Informações Gerais			Valores Faturados																																							
<p>Tarifa vigente conforme Res Aneel nº 3.046, de 21/06/2022. Redução alíquota ICMS conforme Lei Complementar 194/22 Base de cálculo reduzida nas componentes Distribuição, Transmissão e Encargos conf. art. 2º da Lei n.º 194/22 O pagamento desta conta não quita débitos anteriores. Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes (multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no vencimento das mesmas. Leitura realizada conforme calendário de faturamento É dever do consumidor manter os dados cadastrais sempre atualizados e informar alterações da atividade exercida no local. Faça sua adesão para recebimento da conta de energia por e-mail acessando www.cemig.com.br NOV/22 Band. Verde - DEZ/22 Band. Verde</p>			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Quantidade</th> <th>Tarifa/Preço (R\$)</th> <th>Valor (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energia Elétrica kWh</td> <td>231</td> <td>0,74563803</td> <td>172,22</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Encargos/Cobranças</td> </tr> <tr> <td>Contrib Ilum Publica Municipal</td> <td></td> <td></td> <td>31,35</td> </tr> <tr> <td>Juros 1%am sobre conta 09/2022 pg 04/11/22</td> <td></td> <td></td> <td>2,15</td> </tr> <tr> <td>Juros 1%am sobre conta 10/2022 pg 21/11/22</td> <td></td> <td></td> <td>1,63</td> </tr> <tr> <td>Correção IPCA sobre conta 10/2022 pg 21/11/22</td> <td></td> <td></td> <td>0,96</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Tarifas Aplicadas (sem impostos)</td> </tr> <tr> <td>Energia Elétrica kWh</td> <td></td> <td>0,65313000</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)	Energia Elétrica kWh	231	0,74563803	172,22	Encargos/Cobranças				Contrib Ilum Publica Municipal			31,35	Juros 1%am sobre conta 09/2022 pg 04/11/22			2,15	Juros 1%am sobre conta 10/2022 pg 21/11/22			1,63	Correção IPCA sobre conta 10/2022 pg 21/11/22			0,96	Tarifas Aplicadas (sem impostos)				Energia Elétrica kWh		0,65313000	
			Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)																																				
			Energia Elétrica kWh	231	0,74563803	172,22																																				
			Encargos/Cobranças																																							
			Contrib Ilum Publica Municipal			31,35																																				
			Juros 1%am sobre conta 09/2022 pg 04/11/22			2,15																																				
Juros 1%am sobre conta 10/2022 pg 21/11/22			1,63																																							
Correção IPCA sobre conta 10/2022 pg 21/11/22			0,96																																							
Tarifas Aplicadas (sem impostos)																																										
Energia Elétrica kWh		0,65313000																																								
Histórico de Consumo																																										
MÊS/ANO	CONSUMO kWh	MÉDIA kWh/Dia	Dias																																							
DEZ/22	231	7,21	32																																							
NOV/22	186	6,20	30																																							
OUT/22	235	7,34	32																																							
SET/22	206	6,86	30																																							
AGO/22	191	6,58	29																																							
JUL/22	239	7,46	32																																							
JUN/22	226	7,53	30																																							
MAI/22	198	6,60	30																																							
ABR/22	191	6,16	31																																							
MAR/22	193	6,43	30																																							
FEV/22	179	6,17	29																																							
JAN/22	213	6,45	33																																							
DEZ/21	175	6,25	28																																							
Reservado ao Fisco																																										
SEM VALOR FISCAL																																										
	Base de cálculo (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)																																							
ICMS	-	-	-																																							
PASEP	-	-	-																																							
COFINS	-	-	-																																							

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

6.5 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

O dimensionamento do SVF foi realizado considerando o consumo real da residência analisada através do *software* Excel[®], com uma planilha desenvolvida para este estudo.

Com a fatura de energia em mãos, foram extraídos os seguintes dados do documento: histórico de consumo, subclasse, classe, valor unitário do kWh e valor da contribuição de custeio com iluminação pública. Com isso, alimentou-se a planilha, conforme visto no Quadro 2.

Quadro 2: Dados do consumidor.

Dados do Cliente			
Nome:		Coordenadas	
Data:		Latitude:	20.45603 Sul
Cidade:	Piumhi - Minas Gerais	Longitude:	45.955958 Oeste
Estrutura:	Telhas em fibrocimento	Classe de consumo:	Bifásico
Custo iluminação pública:	R\$31,35	Subclasse:	Residencial

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Por conseguinte, o Quadro 3 foi alimentado com o histórico de consumo da residência em estudo. Neste quadro, foi realizada a média aritmética do consumo, a qual resultou em um consumo médio mensal de 207,33kWh/mês.

Quadro 3: Histórico de consumo.

CONSUMO MENSAL	
Meses	Consumo (kWh/mês)
JAN	213
FEV	179
MAR	193
ABR	191
MAI	198
JUN	226
JUL	239
AGO	191
SET	206
OUT	235
NOV	186
DEZ	231
Média mensal	207,33 kWh/mês

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Para a continuidade do dimensionamento, foi elaborado o Quadro 4, alimentado com os dados de: valor do kWh, HSP, eficiência do sistema, média de dias do ano.

Quadro 4: Dados importantes.

Dados	
Valor do kWh:	R\$ 0,738
HSP médio:	5,31 kWh/m ² .dia
Eficiência do sistema:	80,0%
Media de dias do ano:	30,42

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Para realizar o dimensionamento utilizou-se inicialmente a Equação 1, a qual define o consumo médio diário da residência, conforme visto abaixo.

$$E = \frac{\text{Média mensal}}{30} \quad (1)$$

$$E = \frac{207,83}{30}$$

$$E = 6,91kW/dia$$

A partir disto, foi possível dimensionar a potência do gerador fotovoltaico, pela Equação 2.

$$P_{FV} = \frac{E/(TD)}{HSP} \quad (2)$$

$$P_{FV} = \frac{\left(\frac{6,91}{0,8}\right)}{5,31}$$

$$P_{FV} \cong 1,63kWp$$

Por conseguinte, a potência dimensionada pela Equação 2 foi majorada em 10%. Este processo se deu visando um acréscimo de consumo na residência, conforme descrito na Equação 3.

$$P = 1,1(P_{FV}) \quad (3)$$

$$P = 1,1(1,4)$$

$$P = 1,8 kWp$$

Após determinar a potência mínima para a unidade consumidora em estudo, definiu-se a quantidade de módulos necessários para suprir esta demanda, conforme a Equação 4.

$$M = \frac{P_{FV}}{P_M} \quad (4)$$

$$M = \frac{1,8}{0,555}$$

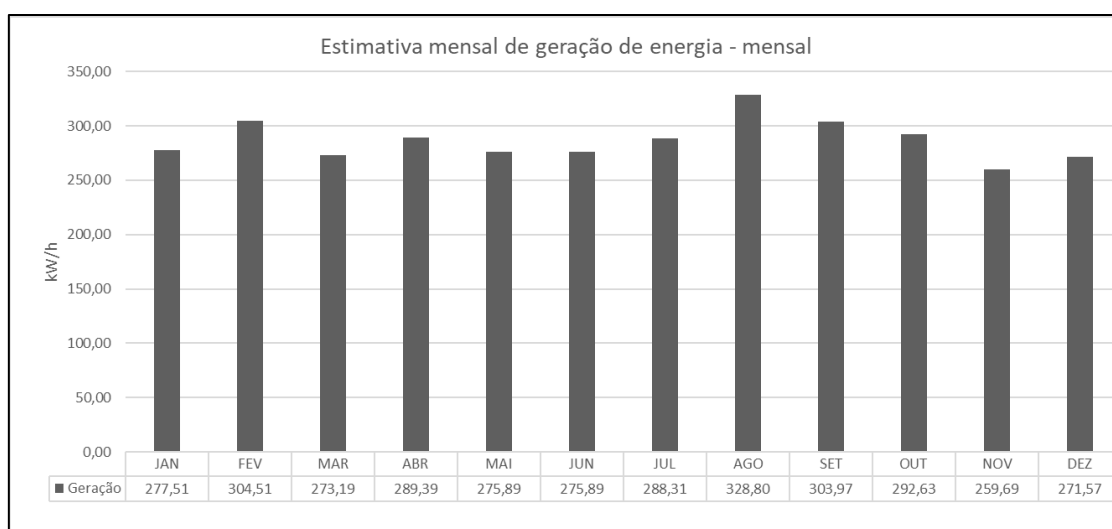
$$M = 3,24 \therefore M \cong 4$$

Com esse valor, foram necessários quatro módulos para suprir a demanda da residência. Os módulos escolhidos para este trabalho foram os WDC SOLAR WDC555 com 555 kWp, sendo todos monofaciais visto que a instalação é em telhado com telhas de fibrocimento.

6.5.1 Estimativa de geração mensal

A partir do dimensionamento da potência do gerador, foi possível estimar a geração mensal de energia da referida instalação, conforme visto na Figura 16.

Figura 16: Estimativa de geração de energia.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

6.6 Inversor

O dimensionamento do inversor foi realizado com base na potência do gerador e, para este caso, escolheram-se um inversor com potência de 5 kW, sendo que este valor foi adotado arbitrariamente, visto que é a menor potência comercializada pela importadora. No ANEXO B é apresentado a folha de dados do inversor escolhido.

O inversor escolhido para este sistema foi cotado juntamente com os módulos, uma vez que a empresa comercializa o gerador completo, não sendo possível realizar a compra deste isoladamente. Após realizar a escolha do equipamento, obteve-se o *Capex* do sistema.

6.7 Estrutura

Conforme observado na Figura 14, o telhado da residência é composto por telhas de fibrocimento. O ANEXO C contém a estrutura adequada para este telhado.

6.8 Capex

Para definir o *Capex* do gerador fotovoltaico, foi realizada uma cotação na plataforma da empresa WDC Networks, a qual foi alimentada com os dados de potência obtidos no dimensionamento. A empresa retornou com o valor total do equipamento, sendo composto por: módulos, inversor, cabeamento e estrutura de fixação, conforme visto na Figura 17.

Figura 17: Cotação do equipamento fotovoltaico.

PREÇOS E PRODUTOS			
Item	Fabricante	Descrição	Quantidade
1	STAUBLI	PAR CONECTOR MC4 STAUBLI	2
2	CABOS WDC	CABO SOLAR FOTOVOLTAICO WDC 6MM ² 1.8KVCC VM	10
3	CABOS WDC	CABO SOLAR FOTOVOLTAICO WDC 6MM ² 1.8KVCC PT	10
4	HUAWEI DP SOLAR	INVERSOR HUAWEI 5kW MONOFASICO 220Vac - 2 MPPT - 1 ENTRADA POR MPPT	1
5	WDC SOLAR	MODULO WDC SOLAR WDC555 - 555Wp MONOCRISTALINO - MONOFACIAL - 1500Vcc	4
6	SSM SOLUÇÕES METÁLICAS	GRAMPO INTERMEDIARIO 30 - 40 MM - CONJUNTO 2 PEÇAS	3
7	SSM SOLUÇÕES METÁLICAS	CONJUNTO 2 SUPORTES - TELHA FIBROCIMENTO - TERCA MADEIRA	4
8	SSM SOLUÇÕES METÁLICAS	CONJUNTO 2 PERFIS H2 2400 MM CADA	2
9	SSM SOLUÇÕES METÁLICAS	EMENDA PARA TRILHO H2 - CONJUNTO 2 PEÇAS	1
10	HUAWEI DP SOLAR	ACESSORIO HUAWEI DE COMUNICACAO SmartDongle-WLAN-FE	1
11	SSM SOLUÇÕES METÁLICAS	GRAMPO FINAL - CONJUNTO DE 4 PEÇAS	1

Potência Gerador em kWp	2,22 kWp	Valor Gerador	R\$ 6.875,33
Potência Inversores em kW	0 kW	PIS COFINS	9,25% (INCLUSOS)
Valor em R\$/kWp	R\$ 3.097,00	IPI	0%
		ICMS	0%
		Entrega	Frete CIF sem Descarga

Fonte: WDC Networks, 2023.

Com o *Capex* foi determinado o total do investimento. Salienta-se, mais uma vez, que a escolha dos equipamentos aconteceu visando o melhor desempenho do sistema.

6.9 Custo final

Para definir o custo final do gerador fotovoltaico, foram levados em consideração também os seguintes fatores: mão de obra, valor do projeto elétrico, impostos e BDI da empresa.

Os fatores listados acima foram alocados com as devidas considerações:

- Mão de obra: R\$120,00/dia, considerando dois dias de trabalho;
- Valor do projeto elétrico: R\$ 850,00;
- ART: R\$ 96,62;

- Impostos: Alíquota de 7,3%, considerando empresas com receita bruta de R\$ 180.000,00 a R\$ 360.000,00;
- BDI: 30%, conforme visto no item 5.12.3 Bonificação e Despesas Indiretas (BDI) neste trabalho.

Por conseguinte, foi elaborada uma planilha no *software* Excel[®], que foi alimentada com todas os fatores acima, sendo o resultado apresentado no Quadro 5.

Quadro 5: Custo do sistema instalado.

Custo	Valor
Equipamento Fotovoltaico	R\$6.875,33
Mão de obra	R\$240,00
ART	R\$96,62
BDI	R\$2.062,60
Valor do projeto	R\$850,00
Impostos	R\$ 235,24
CUSTO SISTEMA TOTAL INSTALADO	
R\$ 10.359,79	

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

A partir da obtenção do valor total do sistema, foi possível analisar a viabilidade econômica de implantação do mesmo, relacionando o tempo necessário para se pagar o valor do investimento.

6.10 Fio B

O valor do Fio B foi obtido em consulta ao *site* da ANEEL, o qual disponibiliza um banco de dados com informações sobre a tarifas de energia e seus componentes. Após realizar a consulta, obteve-se o seguinte valor para o Fio B: 0,2328 reais.

6.11 Análise de viabilidade econômica

A análise de viabilidade desse sistema foi feita considerando algumas ressalvas:

- Tempo de 25 anos (período de garantia dos módulos);
- Perda de 2% de eficiência no primeiro ano e 0,555 nos anos seguintes para os módulos, conforme visto na folha de dados do equipamento (ANEXO A).

Para realizar esta análise, foram elaboradas planilhas que consideram todas as ressalvas citadas acima. Além disso, será analisado também o valor das faturas do consumidor após a provação da Lei 14.300/2022.

6.11.1 Relação Fio B e custo de disponibilidade

Para analisar a viabilidade do investimento quanto à nova lei em vigor, foram elaboradas duas planilhas no *software* Excel®, a qual considera as premissas impostas atualmente, relacionando o custo de disponibilidade da rede e o uso do Fio B. Com a utilização desta, é possível identificar o valor da tarifa do consumidor.

A planilha foi alimentada com os dados de investimento inicial, média de consumo anual, custo de disponibilidade, fator de simultaneidade, irradiação solar média no local, potência do módulo. O fator de simultaneidade foi escolhido arbitrariamente considerando 30% para instalações residenciais e 70% para instalações com fins comerciais (Quadro 6).

Quadro 6: Informações iniciais.

Informações Iniciais	
Investimento inicial	R\$ 10.359,79
Média de consumo	207,3 kWh/mês
Potência do gerador	2,2 kWp
Fator de simultaneidade	30,0%
Irradiação Solar média	5,31 kWh/m ² .dia
Potência do módulo	555 kWp
Quantidade de módulos	4
Geração por módulo	71,69 kWh/mês
Geração mensal estimada	286,87 kWh/mês
Concessionária	Cemig D
Disponibilidade	50 kWh/mês
Valor da Tarifa	R\$ 0,738
Inflação Base	6,1%
Fio B	R\$ 0,2328
Eficiência do sistema	80,0%

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

O Quadro 6 foi alimentado com os dados de geração média mensal, geração por módulo, número de módulos e Fio B. A concessionária escolhida foi a CEMIG, devido à localização do empreendimento. O item tarifa base foi extraído da fatura do consumidor. A inflação base foi escolhida arbitrariamente.

Dando continuidade à análise de viabilidade econômica utilizou-se o Quadro **7** **Erro! Fonte de referência não encontrada.** para analisar essa relação e identificar o custo final do consumidor. Deve-se atentar ao fato de que neste valor não está somado o valor da contribuição para a iluminação pública.

Quadro 7: Relação Fio B e custo de disponibilidade.

Ano	% Fio B	Valor Fatura sem sistema	Custo de disponibilidade	Valor da tarifa	Valor Fio B	Custo Fio B	Tarifa Final
2023	15%	R\$ 152,99	R\$ 36,90	R\$ 0,738	R\$ 0,23	R\$ 5,07	R\$ 36,90
2024	30%	R\$ 162,32	R\$ 39,15	R\$ 0,783	R\$ 0,25	R\$ 10,75	R\$ 39,15
2025	45%	R\$ 172,22	R\$ 41,54	R\$ 0,831	R\$ 0,26	R\$ 17,11	R\$ 41,54
2026	60%	R\$ 182,73	R\$ 44,07	R\$ 0,881	R\$ 0,28	R\$ 24,21	R\$ 44,07
2027	75%	R\$ 193,87	R\$ 46,76	R\$ 0,935	R\$ 0,30	R\$ 32,11	R\$ 46,76
2028	90%	R\$ 205,70	R\$ 49,61	R\$ 0,992	R\$ 0,31	R\$ 40,88	R\$ 49,61
2029	90%	R\$ 218,25	R\$ 52,64	R\$ 1,053	R\$ 0,33	R\$ 43,37	R\$ 52,64
2030	90%	R\$ 231,56	R\$ 55,85	R\$ 1,117	R\$ 0,35	R\$ 46,02	R\$ 55,85
2031	90%	R\$ 245,69	R\$ 59,26	R\$ 1,185	R\$ 0,37	R\$ 48,83	R\$ 59,26
2032	90%	R\$ 260,67	R\$ 62,87	R\$ 1,257	R\$ 0,40	R\$ 51,80	R\$ 62,87
2033	90%	R\$ 276,57	R\$ 66,71	R\$ 1,334	R\$ 0,42	R\$ 54,96	R\$ 66,71
2034	90%	R\$ 293,44	R\$ 70,78	R\$ 1,416	R\$ 0,45	R\$ 58,32	R\$ 70,78
2035	90%	R\$ 311,34	R\$ 75,09	R\$ 1,502	R\$ 0,47	R\$ 61,87	R\$ 75,09
2036	90%	R\$ 330,34	R\$ 79,68	R\$ 1,594	R\$ 0,50	R\$ 65,65	R\$ 79,68
2037	90%	R\$ 350,49	R\$ 84,54	R\$ 1,691	R\$ 0,53	R\$ 69,65	R\$ 84,54
2038	90%	R\$ 371,87	R\$ 89,69	R\$ 1,794	R\$ 0,57	R\$ 73,90	R\$ 89,69
2039	90%	R\$ 394,55	R\$ 95,16	R\$ 1,903	R\$ 0,60	R\$ 78,41	R\$ 95,16
2040	90%	R\$ 418,62	R\$ 100,97	R\$ 2,019	R\$ 0,64	R\$ 83,19	R\$ 100,97
2041	90%	R\$ 444,15	R\$ 107,13	R\$ 2,143	R\$ 0,68	R\$ 88,27	R\$ 107,13
2042	90%	R\$ 471,25	R\$ 113,66	R\$ 2,273	R\$ 0,72	R\$ 93,65	R\$ 113,66
2043	90%	R\$ 499,99	R\$ 120,60	R\$ 2,412	R\$ 0,76	R\$ 99,36	R\$ 120,60
2044	90%	R\$ 530,49	R\$ 127,95	R\$ 2,559	R\$ 0,81	R\$ 105,43	R\$ 127,95
2045	90%	R\$ 562,85	R\$ 135,76	R\$ 2,715	R\$ 0,86	R\$ 111,86	R\$ 135,76
2046	90%	R\$ 597,19	R\$ 144,04	R\$ 2,881	R\$ 0,91	R\$ 118,68	R\$ 144,04
2047	90%	R\$ 633,61	R\$ 152,83	R\$ 3,057	R\$ 0,96	R\$ 125,92	R\$ 152,83

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Após analisar o Quadro 7, identificou-se que o valor pago pelo consumidor será o valor da taxa de disponibilidade, visto que o valor do Fio B nesse caso foi menor. E, conforme a nova legislação, o consumidor paga ou pela taxa de disponibilidade ou pelo uso do Fio B, o que for mais caro entre os dois. Posteriormente, será analisado o *payback* do sistema.

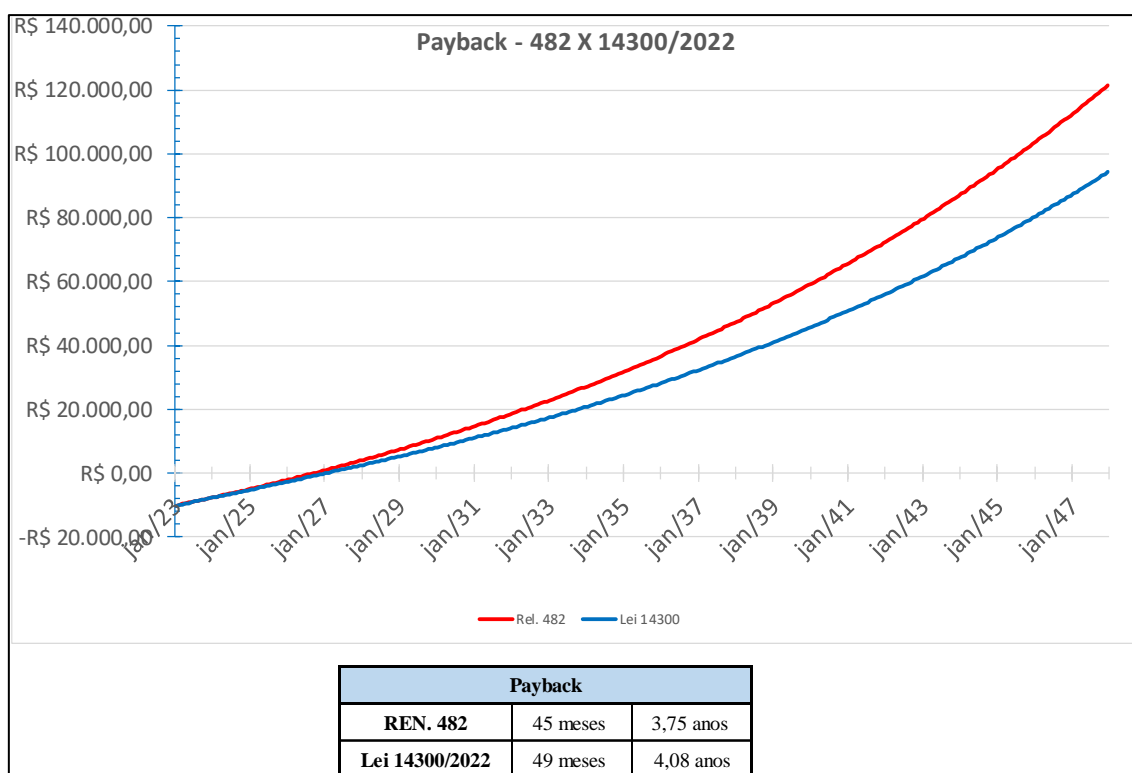
6.12 Payback

Para avaliar a viabilidade econômica da implantação do sistema, foi analisado o *payback* do mesmo, conforme descrito no item 5.12.2 *P* neste trabalho. Este corresponde ao tempo necessário para pagar o custo do investimento.

Para tal, foi utilizada uma planilha desenvolvida pela empresa WDC Networks, a qual foi alimentada com os dados de concessionária e valor do investimento. A mesma relaciona o *payback* considerando a resolução 482 (que esteve em vigor até 06 de janeiro de 2023) e a Lei 14.300/2022, em vigor atualmente.

A Figura 18 descreve a diferença entre o *payback* referente às duas legislações. É importante realizar esta comparação para poder comparar a viabilidade de implantação de um gerador fotovoltaico antes e depois da Lei 14.300/2022 entrar em vigor no Brasil.

Figura 18: *Payback* do sistema.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Sendo assim, ao analisar a , observou-se que o *payback* do sistema acontecerá em 49 meses ou 4,08 anos. Além disso, tornou-se possível identificar que, quando comparado com a Resolução Normativa 482, o tempo de retorno do sistema aumenta em 4 meses. Este acréscimo no tempo de retorno não inviabilizou o investimento a longo prazo.

Além disto, foi analisada também a economia mensal e anual do consumidor com a implantação do gerador fotovoltaico, conforme visto no Quadro 8.

Quadro 8: Análise de viabilidade financeira.

Ano	Fatura sem sistema	Retorno Mensal	Retorno Anual
2023	R\$ 152,99	R\$ 116,09	R\$ 1393,05
2024	R\$ 162,32	R\$ 123,17	R\$ 1478,02
2025	R\$ 172,22	R\$ 130,68	R\$ 1568,18
2026	R\$ 182,73	R\$ 138,65	R\$ 1663,84
2027	R\$ 193,87	R\$ 147,11	R\$ 1765,34
2028	R\$ 205,70	R\$ 156,09	R\$ 1873,02
2029	R\$ 218,25	R\$ 165,61	R\$ 1987,28
2030	R\$ 231,56	R\$ 175,71	R\$ 2108,50
2031	R\$ 245,69	R\$ 186,43	R\$ 2237,12
2032	R\$ 260,67	R\$ 197,80	R\$ 2373,58
2033	R\$ 276,57	R\$ 209,86	R\$ 2518,37
2034	R\$ 293,44	R\$ 222,67	R\$ 2671,99
2035	R\$ 311,34	R\$ 236,25	R\$ 2834,99
2036	R\$ 330,34	R\$ 250,66	R\$ 3007,92
2037	R\$ 350,49	R\$ 265,95	R\$ 3191,40
2038	R\$ 371,87	R\$ 282,17	R\$ 3386,08
2039	R\$ 394,55	R\$ 299,39	R\$ 3592,63
2040	R\$ 418,62	R\$ 317,65	R\$ 3811,78
2041	R\$ 444,15	R\$ 337,02	R\$ 4044,30
2042	R\$ 471,25	R\$ 357,58	R\$ 4291,00
2043	R\$ 499,99	R\$ 379,40	R\$ 4552,75
2044	R\$ 530,49	R\$ 402,54	R\$ 4830,47
2045	R\$ 562,85	R\$ 427,09	R\$ 5125,13
2046	R\$ 597,19	R\$ 453,15	R\$ 5437,76
2047	R\$ 633,61	R\$ 480,79	R\$ 5769,47

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Devido à crescente demanda energética brasileira e mundial, fontes de geração de energia que causam menos impactos ambientais e sociais devem ser cada vez mais utilizadas. Neste contexto, a energia fotovoltaica se destaca no Brasil, devido à sua localização e ao grande potencial de irradiância solar. Aproveitar este recurso natural que

é limpo, inesgotável e abundante é de suma importância para o desenvolvimento sustentável.

Adicionalmente, a geração de energia pelos módulos fotovoltaicos não traz impactos à comunidade quando estes são instalados. Pode-se fazer uma comparação com a implantação de uma usina hidrelétrica, a qual envolve desapropriações de ribeirinhos, alterações significativas na fauna e flora dos locais a serem alagados, entre outros impactos.

Ainda assim, nota-se que a principal questão que inviabiliza a implantação deste sistema é a falta de informação. Observa-se que ainda há um receio sobre o retorno financeiro do investimento devido ao seu custo elevado, o que faz muitos consumidores apresentarem certa resistência à aquisição de um gerador fotovoltaico.

Além disso, a aprovação da Lei 14.300/2022, a qual ficou conhecida como a lei da “taxação do sol”, colaborou com esta resistência, visto que agora os consumidores acreditam que, com o pagamento do Fio B, o sistema se inviabiliza economicamente.

Ao elaborar o dimensionamento do gerador fotovoltaico e analisar a sua viabilidade econômica com a Lei 14.300/2022 entrar em vigor, foram observados alguns fatores importantes, entre eles o custo final, a economia mensal e o tempo de retorno do investimento.

Para o sistema em estudo neste trabalho, o custo final ao consumidor será o valor da taxa mínima somado ao valor da contribuição de iluminação pública. Isto se dá devido à média e ao perfil de consumo da residência. Com isso, o uso do Fio B será menor e, conforme a Lei 14.300/2022, o custo final ao consumidor será a tarifa mínima ou o custo referente ao uso do Fio B, o que for maior.

Para que o consumidor em estudo passe a pagar predominantemente o Fio B, será necessário que o seu perfil de consumo seja majoritariamente noturno, aumentando assim o uso da rede de energia da concessionária, ou se sua média de consumo mensal aumentar.

Neste sentido, nota-se que a implantação de um gerador fotovoltaico continua viável economicamente, conforme observado no *payback* do sistema, mesmo com a consideração da Lei 14.300/2022. Contudo, é importante relacionar ainda a economia mensal que o consumidor obterá com o gerador fotovoltaico.

Ainda assim, pode-se concluir que alguns fatores estão relacionados à viabilidade do sistema, sendo eles: média de consumo, fator de simultaneidade e classe (monofásico, bifásico ou trifásico).

Sendo assim, ao considerar os benéficos ambientais, sociais e econômicos, fica evidente que a implantação de geradores fotovoltaicos continua sendo uma iniciativa viável economicamente e promissora, mesmo com as imposições oriundas da Lei 14.300/2022.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. G. P. de. **Estudo de caso do impacto financeiro nos sistemas de microgeração fotovoltaicas sob o marco legal da geração distribuída lei 14.300/2022**. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/242552>. Acesso em: 22 março 2023.

ALVES, J. V. S. **Análise da viabilidade técnica da implantação de telhas fotovoltaicas em contrapartida a sistemas energéticos tradicionais em residência de padrão médio alto no município de Aragarças – GO**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Mato Grosso, 2020. Disponível em: <https://bdm.ufmt.br/handle/1/1864> .Acesso em: 26 ago. 2022.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL define regras para o custeio da geração distribuída por meio da CDE e dos processos tarifários. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-define-regras-para-o-custeio-da-geracao-distribuida-por-meio-da-cde-e-dos-processos-tarifarios>. Acesso em: 24 março 2023.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução normativa nº1059. 07 fev. 2023. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.059-de-7-de-fevereiro-de-2023-463828999>. Acesso em: 22 março 2023.

ANEEL REGULOU A LEI 14.300: COMO FICOU A COBRANÇA EM DUPLICIDADE? Direção: Bárbara Rubim. Brasil, 2023. Disponível em: Acesso em: 22 março 2023.

BERMANN, C. A Crise Ambiental e as Energias Renováveis. Energia, Ambiente e Sociedade. Cienc. Cult. V. 60 nº 3. São Paulo. 2008.

BRASIL. **Lei nº14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2022]. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 22 março 2023.

FEDERAL, Caixa Econômica. **SINAPI**: metodologia e conceitos. 8. ed. Brasília: Caixa, 2020. 82 p.

Canal Solar. Lei 14.300: O que é e como calcular o fator de simultaneidade?. 2023. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/lei-14-300-o-que-e-e-como-calcular-o-fator-de-simultaneidade/>. Data do acesso: 22 março 2023.

EPE. **Balanco Energético Nacional**, 2021. Relatório Síntese – Ano Base 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben> .Acesso em: 26 ago. 2022.

FEDERAL, C. E. **SINAPI: metodologia e conceitos**. 8. ed. Brasília: Caixa, 2020. 82 p.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GALDINO, J. C. G. **Análise crítica entre dois softwares de dimensionamento e simulação fotovoltaicos**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande, 2016. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/18657>. Acesso em 07/06/2020.

GERHARDT, T. E., SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

GIL, A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. Atlas: São Paulo, 2007.

KEMERICH, P. D. C., FLORES, C. E. B., BORDA, W. F. de., SILVEIRA, R. B., FRANÇA, J. R., LEVANDOSKI, N. **Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo**. Santa Maria, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/issue/view/974>. Acesso em 01/06/2022.

LEITE, V. F. **Certificação ambiental na construção civil – sistemas Leed e Aqua**. 2011. Monografia de graduação de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/>. Acesso em: 26 ago. 2022.

NARDES, A. E. de B., SANTOS, G. H. M. dos., SANTOS, L. E. S., MARQUES M. de C., ARAÚJO, R. A., & SOUSA, R. J. (2021). **ENERGIA SOLAR E SUA VIABILIZAÇÃO**. Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação, 7(10), 2535–2542. <https://doi.org/10.51891/rease.v7i10.2872>. Acesso em: 01/06/2022.

NASCIMENTO, C. A. do. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. Monografia - Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, 2004. Disponível em: olenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf. Acesso em: 19/05/2022.

NASCIMENTO, F. M., JUNIOR, F. L. de A., CARVALHO, J. dos S. Energias renováveis: conhecendo as principais fontes e suas vantagens e desvantagens. 2016. Trabalho apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC), Foz do Iguaçu, 2016.

NUNES, H. M., CORREA, R. P. da S., BUIATTI, G M., ANDRADE, R. L., BOTELHO, F. K., NETO, J. V., VENANCIO, V. de C. CARVALHO, R. S. Estudo comparativo técnico-financeiro de usinas fotovoltaicas utilizando módulos de silício monocristalinos e policristalinos. *In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 8, 2020, Fortaleza. Anais eletrônicos [...]. Fortaleza, 2020.* Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/855>. Acesso em 27 ago. 2022.

OLIVEIRA, A. M. de. MARIO, M. C. PACHECO, M. T. T. Fontes renováveis de energia elétrica: evolução da oferta de energia fotovoltaica no Brasil até 2050. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v., n.1, p.257-272, jan. 2021.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80 p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. Acesso em: 19 maio 2022.

PINHEIRO, M. D. **Construção sustentável - mito ou realidade?** Anais... do VII Congresso Nacional de Engenharia do Meio Ambiente, Lisboa, 2003.

Portal Solar. Conheça a telha solar fotovoltaica. 2019. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/conheca-telha-solar-fotovoltaica>. Acesso em: 26 ago. 2022.

RAGNINI, G. **Análise da viabilidade técnica e econômica da instalação de telhas fotovoltaicas conectadas à rede de distribuição em novas residências eficientes**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná, 2018. Disponível em: <http://www.cricte2004.eletrica.ufpr.br/ufpr2/index.php?pg=8&tcc=517> . Acesso em: 26 ago. 2022.

REZENDE, J. O. **A importância da energia solar para o desenvolvimento sustentável**. Ponta Grossa, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/arquivos/ebooks/a-importancia-da-energia-solar-para-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 19 maio 2022.

RODRIGUES, F. W., ALBURQUEQUE, K. R. de A., MEDEIROS, J. A., MOURA, J. J. P., CAVALCANTI, D. H. da S., MEDEIROS, R. P. de., ESPINOZA, H. R. Energia solar fotovoltaica: desenvolvimento e aplicações. In: REZENDE, J. O. **A importância da energia solar para o desenvolvimento sustentável**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019, p. 1-9.

RÜTHER, R. **Relatório da sessão “Energias alternativas e potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil”**. In: Parcerias Estratégicas. 2010; Vol. 15 p. 273- 285.

SANTOS, F. T. dos; FERREIRA, R. L. **Tecnologias sustentáveis como solução aos impactos da expansão urbana: Energia Solar e Telhado Verde**. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 9, n. 18, 27 jul. 2020.

SILVA, D. G. da., COSTA, M. A. da. **Energia elétrica por irradiação solar: aplicabilidade**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade Evangélica de Goianésia, 2017. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/handle/aee/466>. Acesso em: 26 ago. 2022.

SILVA, V. G., SILVA, M. G., & AGOPYAN, V. (2003). **Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de Sustentabilidade**. Ambiente Construído, 3(3), 7-18

SOUZA, A. D. S. Ferramenta Asus: Proposta Preliminar para Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios Brasileiros a Partir da Base Conceitual da Sbtool. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo. 2008.

SOLAR VIWE. 2022. Disponível em: <https://solarview.com.br/fator-de-simultaneidade/>. Acesso em 28 mar. 2023.

TEGULA SOLAR. 2022. Disponível em: <https://www.tegulasolar.com.br/> . Acesso em: Acesso em: 26 ago. 2022.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em Administração**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

VILLALVA, M. G. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012.

ANEXO A – FOLHA DE DADOS DO MÓDULO.

TITANIUM

Linha
Titanium

Crie Energia Verde Sustentável e Eficiente

CHSM72M-HC
Série Monofacial (182)

540 ~ 555W

PERC+ / Multi-barramento / Half-cut
Corte não destrutivo
Resistência de PID
Custo de BOS inferior e LCOE

Year	Chint's warranty (%)	Industry warranty (%)
0	98.00%	-
25	84.80%	80.70%

12-year Product Warranty
25-year Linear Power Warranty

540~555W

FAIXA DE POTÊNCIA

0~+5W

TOLERÂNCIA DE POTÊNCIA

21.48%

EFICIÊNCIA DE MÓDULO MÁXIMA

≤2.0%

DEGRADAÇÃO DE POTÊNCIA NO PRIMEIRO ANO

≤0.55%

DEGRADAÇÃO DE POTÊNCIA DE 2-25 ANOS

Especificações elétricas

STC: Irradiância 1000W/m², Temperatura de célula 25 °C, AM=1,5

Saída nominal (Pmpp / Wp)	540	545	550	555
Tensão nominal (Vmpp / V)	41,76	41,93	42,10	42,27
Corrente nominal (Impp / A)	12,93	13,00	13,06	13,13
Tensão de circuito aberto (Voc / V)	49,70	49,90	50,10	50,30
Corrente de curto circuito (Ic / A)	13,72	13,81	13,90	13,98
Eficiência de módulo	20,90%	21,10%	21,29%	21,48%

NMOT: Irradiância 800W/m², Temperatura ambiente 20 °C, AM=1,5, Velocidade do vento 1m/s

Saída nominal (Pmpp / Wp)	403,5	407,3	411,0	414,8
Tensão nominal (Vmpp / V)	38,92	39,08	39,24	39,39
Corrente nominal (Impp / A)	10,37	10,42	10,48	10,53
Tensão de circuito aberto (Voc / V)	46,97	47,16	47,34	47,53
Corrente de curto circuito (Ic / A)	11,13	11,20	11,27	11,35

Pmax de tolerância de saída de potência (%) ±3%

Faixas de Temperatura (STC)

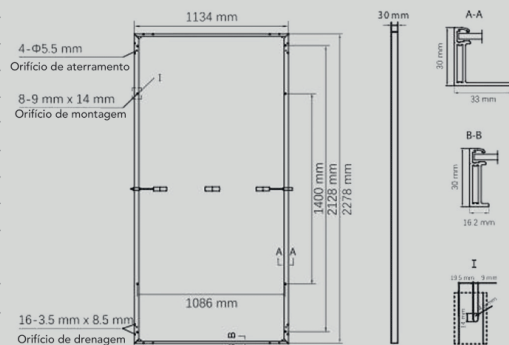
Coeficiente de temperatura (Pmpp)	-0,35%/°C	Nº de diodos	3
Coeficiente de temperatura (Isc)	+0,045%/°C	Classe de IP de caixa de junção	IP 68
Coeficiente de temperatura (Voc)	-0,27%/°C	Classe de fusível de série Máx.	25 A
Temperatura de operação de módulo nominal	41±2 °C	Tensão máx. de sistema (IEC/UL)	1500VDC

Parâmetros de operação

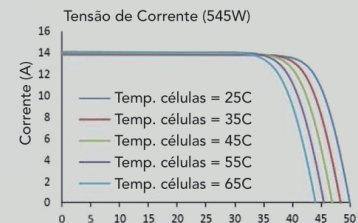
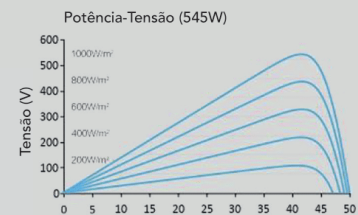
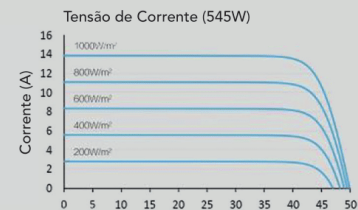
Especificações mecânicas

Dimensões externas (C x L x A)	2278x1134x30mm
Tipo de célula	Mono-cristalina tipo P
Nº de células	144 (6*24)
Tecnologia de quadro	Alumínio, prata anodizada
Espessura de vidro frontal	3,2 mm
Comprimento de cabo (IEC/UL)	Retrato: 300 mm; Paisagem: 1400 mm
Diâmetro de cabo (IEC/UL)	4 mm ² / 12 AWG
(1) Carga de teste mecânico máxima	2400 Pa (Frontal) / 2400 Pa (traseiro)
Tipo de conector (IEC/UL)	HCB40 / MC4-EVO2 (opcional)
Peso de módulo	26,7 kg
Unidade de embalagem	36 pçs/caixa (Sujeito ao contrato de venda)
Peso da unidade de embalagem (para recipiente de 40'HQ)	1020 KG
Módulos por recipiente de 40' HQ	720 pçs

(1) Consulte o manual de instalação de cristalino Astronergy ou contate o departamento técnico. Carga de Teste Mecânico Máxima=1,5X Carga de Projeto Mecânico Máxima.



Curva

(c) Chint Solar (Zhejiang) Co., Ltd. se reserva o direito de interpretação final. Contate nossa empresa para usar a versão mais recente do contrato. www.wdcnet.com.br

ANEXO B – FOLHA DE DADOS DO INVERSOR.

Smart Energy Controller



Active Safety

AI Powered
Active Arcing Protection



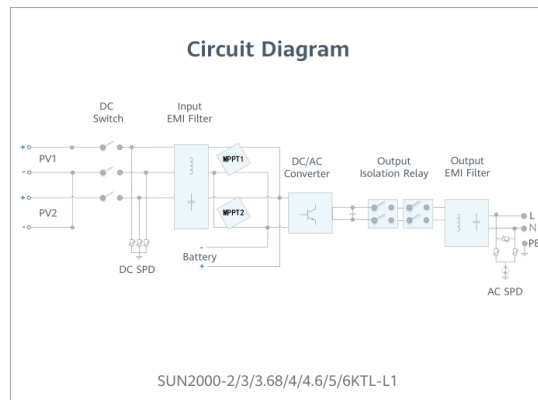
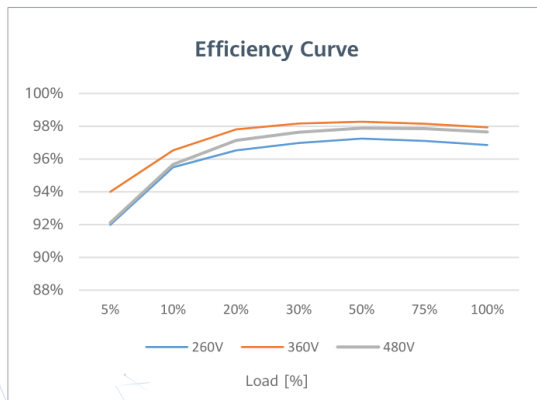
Higher Yields

Up to 30% More
Energy with Optimizer



2x POWER Battery Ready

5KW AC Output plus
5KW Battery Charge



SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1
Technical Specification

Technical Specification	SUN2000 -2KTL-L1	SUN2000 -3KTL-L1	SUN2000 -3.68KTL-L1	SUN2000 -4KTL-L1	SUN2000 -4.6KTL-L1	SUN2000 -5KTL-L1	SUN2000 -6KTL-L1
-------------------------	---------------------	---------------------	------------------------	---------------------	-----------------------	---------------------	---------------------

Efficiency

Max. efficiency	98.2 %	98.3 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %
European weighted efficiency	96.7 %	97.3 %	97.3 %	97.5 %	97.7 %	97.8 %	97.8 %

Input (PV)

Recommended max. PV power ¹	3,000 Wp	4,500 Wp	5,520 Wp	6,000 Wp	6,900 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp
Max. input voltage	600 V ²						
Start-up voltage	100 V						
MPPT operating voltage range	90 V – 560 V ²						
Rated input voltage	360 V						
Max. input current per MPPT	12.5 A						
Max. short-circuit current	18 A						
Number of MPP trackers	2						
Max. input number per MPP tracker	1						

Input (DC Battery)

Compatible Battery	LG Chem RESU 7H_R / 10H_R						
Operating voltage range	350 ~ 450 Vdc						
Max operating current	10 A @7H_R / 15 A @10H_R						
Max charge power	3,500 W @7H_R / 5,000 W @10H_R						
Max discharge Power @7H_R	2,200 W	3,300 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W
Max discharge Power @10H_R	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W

Compatible Battery	HUAWEI Smart ESS Battery 5kWh – 30kWh						
Operating voltage range	350 ~ 560 Vdc						
Max operating current	15 A						
Max charge Power	5,000 W ³						
Max discharge Power	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W

Output (On Grid)

Grid connection	Single phase						
Rated output power	2,000 W	3,000 W	3,680 W	4,000 W	4,600 W	5,000 W ⁴	6,000 W
Max. apparent power	2,200 VA	3,300 VA	3,680 VA	4,400 VA	5,000 VA ⁵	5,500 VA ⁶	6,000 VA
Rated output voltage	220 Vac / 230 Vac / 240 Vac						
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz						
Max. output current	10 A	15 A	16 A	20 A	23 A ⁷	25 A ⁷	27.3 A
Adjustable power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging						
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %						

Output (Backup Power via Backup Box-B0)

Maximum apparent power	5,000 VA						
Rated output voltage	220 V / 230 V						
Maximum output current	22.7 A						
Power factor range	0.8 leading ... 0.8 lagging						

¹ Inverter max input PV power is 10,000 Wp when long strings are designed and fully connected with SUN2000-450W-P power optimizers.

² The maximum input voltage and operating voltage upper limit will be reduced to 495 V when inverter connects and works with LG battery.

³ 2,500 W @ 5kWh HUAWEI ESS battery

⁴ AS4777.2: 4,991W. ⁵. VDE-AR-N 4105: 4,600VA / AS4777.2: 4,999VA. ⁶. AS4777.2: 4,999VA / C10/11:5,000VA ⁷. AS4777.2: 21.7A.

Version No.:04-(20201006)

SOLAR.HUAWEI.COM/EU/

Fonte: <https://solar.huawei.com/br>. Acesso em:04/08/2023.

ANEXO C – ESTRUTURA DE FIXAÇÃO

TELHADOS FIBROCIMENTO

02



TJ001 - Suporte Metálico Gancho
em Alumínio / Inox - Telhas Fibrocimento
/ Concreto / Metálica - Vigas de Concreto



FL001 - Suporte Prisoneiro 200mm "L"
Alumínio / Inox - Haste Fixação Lateral
Telha Fibrocimento / Metálica /
Cerâmico - Terças de Madeira



FL002 - Suporte Prisoneiro 250mm "L"
Alumínio / Inox - Haste Fixação Lateral
Telha Fibrocimento / Metálica /
Cerâmico - Terças de Madeira

FM003 - Suporte Prisoneiro 300mm "L"
Alumínio / Inox - Haste Fixação Lateral
Telha Fibrocimento / Metálica
Terças Metálicas Aço



H2 2200 - Perfil ALH2
Perfil ALH2 - 50 X 30 mm
Comprimento 2200 mm



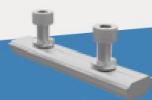
H2 3300 - Perfil ALH2
Perfil ALH2 - 50 X 30 mm
Comprimento 3300 mm

H2 4400 - Perfil ALH2
Perfil ALH2 - 50 X 30 mm
Comprimento 4400 mm

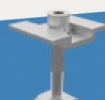
H2 6600 - Perfil ALH2
Perfil ALH2 - 50 X 30 mm
Comprimento 6600 mm



SSM-PC01
CONJUNTO PARAFUSO
PORCA M8.



SSM-EM01
EMENDA / JUNÇÃO P/
PERFIL DE ALUMÍNIO.



SSM-TI01
TERMINAL
INTERMEDIÁRIO
MID CLAMP



SSM-TF01
TERMINAL FINAL -
END CLAMP.



SSM-REG001
SUPORTE
VERTICAL
HORIZONTAL



SSM-FSC001/002
SUPORTE PARA
CABOS E
ATERRAMENTO

ANEXO D – VALORES DO BDI POR TIPO DE OBRA.

VALORES DO BDI POR TIPO DE OBRA - 1º QUARTIL, MÉDIO E 3º QUARTIL			
TIPOS DE OBRA	1º Quartil	Médio	3º Quartil
CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS	20,34%	22,12%	25,00%
CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS E FERROVIAS	19,60%	20,97%	24,23%
CONSTRUÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA, COLETA DE ESGOTO E CONSTRUÇÕES CORRELATAS	20,76%	24,18%	26,44%
CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO DE ESTAÇÕES E REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	24,00%	25,84%	27,86%
OBRAS PORTUÁRIAS, MARÍTIMAS E FLUVIAIS	22,80%	27,48%	30,95%
BDI DIFERENCIADO PARA MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	11,10%	14,02%	16,80%

Fonte: <https://oorcamentista.com.br/como-calcular-o-bdi-conforme-recomendacoes-do-tcu/>. Acesso em: 04/08/2023.