



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS.**

INGRID PARENTE COSTA

**BENEFÍCIOS FINANCEIROS, FISCAIS E AMBIENTAIS DA IMPLANTAÇÃO
DA ENERGIA FOTOVOLTAICA**

**PALMAS - TO
2021**

INGRID PARENTE COSTA

**BENEFÍCIOS FINANCEIROS, FISCAIS E AMBIENTAIS DA IMPLANTAÇÃO
DA ENERGIA FOTOVOLTAICA**

Monografia apresentada à UFT - Universidade Federal do Tocantins Campus Universitário de Palmas - TO, Curso de Ciências Econômicas para obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Yolanda Vieira de Abreu

PALMAS - TO
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

C837b Costa, Ingrid Parente.

Benefícios financeiros, fiscais e ambientais da implantação da energia fotovoltaica. / Ingrid Parente Costa. – Palmas, TO, 2021.

122 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Ciências Econômicas, 2021.

Orientador: Yolanda Vieira de Abreu

1. Energia solar fotovoltaica. 2. Vantagens e desvantagens financeiro, fiscal e ambiental da energia solar fotovoltaica. 3. Estudos de casos dos estados com maior capacidade instalada (kW) em geração distribuída no Brasil. 4. Incentivos à geração distribuída no Brasil. I. Título

CDD 330

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

INGRID PARENTE COSTA

**BENEFÍCIOS FINANCEIROS, FISCAIS E AMBIENTAIS DA IMPLANTAÇÃO
DA ENERGIA FOTOVOLTAICA**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências
Econômicas da Universidade Federal do
Tocantins, como requisito parcial à conclusão do
curso.

Data de Aprovação 23/04/2021

Banca examinadora



Prof.ª Dr.ª Yolanda Vieira de Abreu
(UFT) (Orientadora)



Prof. Esp. Gabriel Machado Santos
(UFT) (Examinador)


Marcos A. Dozza

Prof. MSc. Marcos Antonio Dozza (UFT)
(Examinador)

PALMAS - TO
2021

A Deus, a inspiração e razão da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Glória ao Rei! dEle, por Ele e para Ele são todas as coisas. Gratidão Jesus, por ter me sustentado até aqui e me protegido como a menina dos seus olhos, me escondendo à sombra das tuas asas, o socorro bem presente na hora da minha angústia. Te dou toda Honra! Tudo a Ti Jesus! Pra sempre.

À orientadora professora Dr^a Yolanda Vieira de Abreu, a minha eterna gratidão. Obrigada por me ajudar a evoluir profissionalmente, pessoalmente e espiritualmente. Que o Senhor te abençoe e te guarde; Graça e Paz lhe sejam multiplicadas, pelo pleno conhecimento de Deus e de Jesus, o nosso Senhor.

Agradeço ao Prof. MSc Marco Dozza e o Prof. Esp. Gabriel Machado por ter aceitado avaliar a monografia e, a todos os professores do colegiado de Ciências Econômicas que me ensinaram e tanto me ajudaram a chegar na conclusão deste trabalho.

À Universidade Federal do Tocantins quero deixar uma palavra de gratidão por ter me recebido de braços abertos e com todas as condições que me proporcionaram dias de aprendizagem muito ricos.

Ao Programa Institucional Iniciação Científica (PIBIC) e ao Programa de Educação Tutorial (PET) que me incentivaram e proporcionaram grande qualificação acadêmica.

Ao meu pai Agenor Ribeiro da Costa (in memorian), que não está mais entre nós, mas continua sendo minha maior força na vida. Sua lembrança me inspira e me faz persistir. À minha mãe Isaura Tavares Parente Costa, é uma honra e um privilégio ser sua filha, é um reconhecimento ímpar por tudo que você passou para me educar. Graças a vocês, eu sou hoje uma mulher bem-educada, independente e de sucesso. Aos meus irmãos Júlio César e João Carlos, aos meus avós Alcimar e Maria, minha gratidão.

Kayron Soares, meu amor, obrigada por tudo que fez e faz por mim. Pelo seu apoio e companheirismo durante esses longos anos. Melhor é serem dois do que um, porque, se um cair, o outro levanta o seu companheiro. Que Deus te guarde, guie e abençoe. Te amo!

Agradeço imensamente a minha amiga Lorrany Cantuario. Você é uma amiga especial, uma joia preciosa que jamais encontrarei em outro lugar. A nossa caminhada foi intensa, difícil e cheia de aprendizado. A você, querida amiga – estarei sempre grata e pronta para tudo.

Deixo também um agradecimento especial as minhas amigas Hingrid Vieira, Maria Eduarda e Marlene que ao longo desta etapa me encorajaram e me apoiaram.

Minha eterna gratidão à minha turma 2015/2, Hellen Marinho, Abimael Francisco, Daniella Silva, Débora Azevedo, Eduardo Milhomen, Pedro Eliagi, Arkelim Barbosa, e Rodrigo Alencar. Eu tenho muito o que agradecer a vocês. Os amigos realmente são anjos que Deus coloca na nossa vida.

RESUMO

O presente estudo avaliou os benefícios financeiros, fiscais e ambientais gerados pela implantação de projeto de energia fotovoltaica em residências. Por meio da pesquisa bibliográfica, explorativa, descritiva, explicativa, quali-quantitativo e estudo de caso foi possível fazer uma análise identificando o potencial técnico-econômico da implantação de geração de energia fotovoltaica em residências, apresentando a legislação e os incentivos municipais e Estaduais e governamentais para a implantação deste tipo de projeto. Uma das questões básicas do desenvolvimento sustentável é inovar e desenvolver tecnologias para a conversão e uso da energia natural. A demanda por energia para o desenvolvimento de um país é indiscutível, mas a aplicação de tecnologias que buscam melhorar a eficiência energética e a sustentabilidade da produção garantem o desenvolvimento e reduzem o impacto no meio ambiente. De maneira geral, o território brasileiro possui grande potencial de captação de energia solar. As regiões quanto mais próxima da linha do Equador, maior potencial de energia solar, as regiões em ordem decrescente que possui mais incidência de energia solar é o Nordeste, seguido pelo Centro-Oeste, Sudeste, Norte e região Sul. Verificou-se que os principais estados com maiores produções de energia fotovoltaica já instaladas são: Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo e Paraná esses ocupam as primeiras posições no ranking, enquanto Mato Grosso subiu para a quinta posição, ultrapassando Santa Catarina, que passou para o sexto lugar. O presente estudo elencou algumas diretrizes nos níveis estadual e municipal que podem auxiliar e incentivar mais investimentos nesse tipo de fonte de energia renovável. Um exemplo desses incentivos é no momento que no cálculo da conta de luz, a alíquota do ICMS é isenta no modelo de compensação de energia e oferece descontos de IPTU (Imposto Territorial Urbano) aos proprietários que tenham instalado fontes de energia solar fotovoltaica em suas propriedades. Neste trabalho constatou-se que existem vários aspectos para serem observados e analisados antes de escolher um sistema *on-grid* ou *off-grid*. É importante que as pessoas físicas ou jurídicas entendam todas as variáveis inerentes ao processo de instalação para que possam tomar a melhor decisão de investimento e melhorar a eficiência operacional do sistema e obter a mais alta relação custo-benefício do investimento.

Palavras-chaves: Energia Fotovoltaica, painel fotovoltaico, residencial.

ABSTRACT

The present study evaluated the financial, fiscal and environmental benefits generated by the implementation of a photovoltaic energy project in homes. Through bibliographic, exploratory, descriptive, explanatory, qualitative and quantitative research and a case study, it was possible to make an analysis identifying the technical-economic potential of the implementation of photovoltaic power generation in homes, presenting the legislation and municipal and State incentives and governmental authorities for the implementation of this type of project. One of the basic issues of sustainable development is to innovate and develop technologies for the conversion and use of natural energy. The demand for energy for the development of a country is indisputable, but the application of technologies that seek to improve energy efficiency and the sustainability of production guarantee development and reduce the impact on the environment. In general, the Brazilian territory has great potential for capturing solar energy. The regions the closer to the Equator, the greater potential for solar energy, the regions in unbelieveing order that have more incidence of solar energy is the Northeast, followed by the Midwest, Southeast, North and South. main states with the highest photovoltaic energy production already installed are: Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo and Paraná these occupy the first positions in the ranking, while Mato Grosso rose to the fifth position, surpassing Santa Catarina, which passed to the sixth place. The present study listed some guidelines at the state and municipal levels that can assist and encourage more investments in this type of renewable energy source. An example of these incentives is the moment when calculating the electricity bill, the ICMS rate is exempt from the energy compensation model and offers IPTU (Urban Territorial Tax) discounts to owners who have installed photovoltaic solar energy sources on their properties. . In this work it was found that there are several aspects to be observed and analyzed before choosing an on-grid or off-grid system. It is important that individuals or legal entities understand all the variables inherent to the installation process so that they can make the best investment decision and improve the operational efficiency of the system and obtain the highest cost-benefit ratio for the investment.

Keywords: Photovoltaic energy, photovoltaic panel, residential.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Camada N	25
Figura 2: Camada P	25
Figura 3: Junção de duas camadas de silício	26
Figura 4: Célula Solar	26
Figura 5: Junção PN	27
Figura 6: Efeito Fotovoltaico na Célula Fotovoltaica	28
Figura 7: Lingotes de Silício Monocristalino.....	30
Figura 8: Bloco de Silício Policristalino	30
Figura 9: Processos de Fabricação da Célula Fotovoltaica de Silício.....	31
Figura 10: Estruturas Atômicas da Célula Fotovoltaica	32
Figura 11: Diferenças Visuais Entre Célula Fotovoltaica Monocristalina e Policristalina.....	32
Figura 12: Célula fotovoltaica de Película Fina	34
Figura 13: Célula fotovoltaica orgânica	35
Figura 14: Célula fotovoltaica transparente	36
Figura 15: Painel Solar Fotovoltaico.....	37
Figura 16: Sistemas isolados (Off-grid).....	38
Figura 17: Sistemas off-grid com armazenamento de energia.....	39
Figura 18: Sistemas off-grid com armazenamento de energia.....	40
Figura 19: Sistemas off-grid híbridos	41
Figura 20: Sistemas conectados (On-grid).....	42
Figura 21: Sistemas on-grid de geração centralizada.....	43
Figura 22: Sistemas on-grid de geração distribuída (GD).....	44
Figura 23: Sistemas on-grid híbridos	47
Figura 24: Módulo Fotovoltaico	48
Figura 25: Baterias Estacionárias.....	49
Figura 26: Controladores de carga	50
Figura 27: Inversores autônomos (off-grid).....	52
Figura 28: O sistema completo	52
Figura 29: Sistema de compensação de energia.....	53
Figura 30: Inversor interativo.....	54
Figura 31: String Box.....	55
Figura 32: Chave Seccionadora.....	56
Figura 33: DPS	57
Figura 34: Disjuntor CA.....	57
Figura 35: Cabeamento solar.....	58
Figura 36: O sistema completo	59
Figura 37: O sistema completo 2	59
Figura 38: Irradiação solar do Brasil para o plano inclinado	70
Figura 39: Mapa de Minas Gerais	74
Figura 40: Radiação Solar Médio Diário de Energia Solar no Estado de Minas Gerais.....	75
Figura 41: Usina solar no Mineirão em Belo Horizonte	76
Figura 42: Mapa de localização do Estado do Rio Grande do Sul.....	82
Figura 43: Mapa de radiação solar global horizontal média anual diária para Rio Grande do Sul.	83

Figura 44: Prédio do Laboratório de Energia Solar, LABSOL, da UFRGS.	84
Figura 45: Número acumulado de micro e minigeração distribuída no Rio Grande do Sul.	85
Figura 46: O Estado de São Paulo.....	88
Figura 47: Incidência solar global média anual — Estado de São Paulo.....	89
Figura 48: O estado do Tocantins	91
Figura 49: Mapa Solar do Tocantins	92
 Gráfico 1: Estados com maior capacidade instalada (kW) em geração distribuída.	 73
Gráfico 2: Produção mensal de energia (kWh/mês).....	94
 Esquema 1: Diagrama elétrico fotovoltaico sistema on grid.....	 42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais Eventos na História do Desenvolvimento dos Equipamentos de Conversão de Energia Solar Fotovoltaica	24
Tabela 2: Comparação dos Atributos das Células Monocristalina e Policristalinas	33
Tabela 3: Produtividade média específica da geração fotovoltaica em áreas selecionadas do território brasileiro	71
Tabela 4: Estados com maior capacidade instalada (kW) em geração distribuída.....	72
Tabela 5: Dados de consumo e custo com energia elétrica da residência	77
Tabela 6: Fluxo de caixa e Payback	79
Tabela 7: Orçamento da Instalação de um Sistema Fotovoltaico.....	95
Tabela 8: Vantagens e Desvantagens Gerais do Sistema Fotovoltaico	99
Tabela 9: Vantagens e desvantagens das diferentes formas de instalação	100
Tabela 10: Os benefícios da Geração Distribuída para o Brasil.....	101
Tabela 11: Vantagens e desvantagens do sistema on-grid.....	103
Tabela 12: Vantagens e desvantagens do sistema off-grid.....	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Acre
AL	Alagoas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si	Silício Amorfo
BA	Bahia
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CA	Corrente Alternada
CB-SOLAR	Centro brasileiro de energia solar
CC	Corrente Contínua
CdTe	Telureto de cádmio
CE	Ceará
CEMIG	Companhia de energia elétrica de Minas Gerais
CIGS	liga de cobre-índio-gálio-selênio
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
c-Si	Silício Cristalino
DF	Distrito Federal
ETI	Educação em Tempo Integral
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
GD	Geração Distribuída
GO	Goiás
GW	Gigawatts
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	Agência Internacional de Energia
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
ISSQN	Imposto Sobre Serviços
ITBI	Imposto sobre transmissão de bens imóveis

MA	Maranhão
MG	Minas Gerais
m-Si	Silício Monocristalino
MT	Mato Grosso
NREL	National Renewable Energy Laboratory
NT-SOLAR	Núcleo de tecnologia de energia solar
PE	Pernambuco
PIS	Programas de Integração Social
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
PRONAF	Programa de Fortalecimento da Agricultura Familiar
p-Si	Silício Policristalino
PUC – RS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
RJ	Rio de Janeiro
RN	Rio Grande do Norte
RR	Roraima
RS	Rio Grande do Sul
Si	Silício
SP	São Paulo
SPDA	Sistemas de Proteção contra Descarga atmosférica
TIR	Taxa interna de retorno
TMA	Taxa mínima de atratividade
TO	Tocantins
URRGs	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VPL	Valor presente líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Problema.....	18
1.2 Justificativa.....	18
2 OBJETIVOS	19
2.1 Geral.....	19
2.2 Específicos.....	19
3 METODOLOGIA.....	20
3.1 Métodos.....	20
4 REFERENCIAL TEÓRICO	22
4.1 Contexto Socioambiental.....	22
4.2 Energia Solar Fotovoltaica e suas características	23
4.3 Dopagem da Célula Fotovoltaica.....	24
4.4 O Efeito Fotovoltaico	27
4.5 Os principais tipo de Célula fotovoltaica	28
A. Célula fotovoltaica de silício monocristalino (Si-m).....	29
B. Célula fotovoltaica de silício policristalino (Si-p).....	30
C. Célula monocristalina X célula policristalina	31
D. Célula fotovoltaica de película fina (thin film).....	33
E. Célula fotovoltaica orgânica	34
F. Célula fotovoltaica transparente	35
4.6 Pannel Solar Fotovoltaico.....	36
4.7 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	37
I. Sistemas isolados (Off-grid)	37

II. Sistemas conectados (On-grid).....	41
III. Sistemas isolados (Off-grid): componentes e funcionamento.....	47
IV. Sistemas conectados (On-grid): sistema de compensação de energia	53
V. Sistemas conectados (On-grid): componentes e funcionamento.....	54
4.8 Legislação	60
4.9 Viabilidade Econômica e Financeira de Projetos	65
A) Fluxo de Caixa	65
B) Amortização	65
C) Payback	66
D) Valor presente líquido – VPL	67
E) Taxa interna de retorno – TIR	68
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
5.1 Potencial Nacional de Energia Solar	70
5.2 Exemplos de Geração Distribuída no Brasil	73
5.2.1 Minas Gerais	73
5.2.2 Rio Grande do Sul	82
5.2.3 São Paulo.....	87
5.2.4. Tocantins	90
5.3 Incentivos à geração fotovoltaica no Brasil	97
5.4 Vantagens e Desvantagens Econômicas e Ambientais do Sistema Fotovoltaico	99
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
REFERÊNCIAS	106
APÊNDICE A	115

1 INTRODUÇÃO

Com os impactos ambientais provocados pela emissão de CO₂ e a escassez de recursos fósseis, a humanidade tende a buscar alternativas para substituir estas fontes poluentes e com recursos limitados, pela produção de energia elétrica de forma limpa e renovável. Sendo estas alternativas encontradas na produção de energia por meio de pequenas centrais hidrelétricas, do vento em energia eólica, de biomassa e biocombustíveis em termelétricas e por meio do Sol em energia térmica e fotovoltaica. Sendo que a conversão fotovoltaica possui potencial a ser explorado em toda a extensão do Planeta (TOMALSQUIM, 2016).

Em 1839, físicos franceses observaram pela primeira vez o método de conversão da luz solar em energia elétrica. Desde então, alguns países têm usado essa energia para fins de pesquisa, científicos ou para consumo próprio, mas foi só nos últimos anos que o Brasil se voltou para ela (BORTOLOTO *et al.*, 2017).

A revisão da Resolução Normativa da ANEEL 482 de 2012, por meio da Resolução 687 de 2015, permitiu o autoconsumo remoto, introduziu conceitos acerca de sistemas comunitários de micro e minigeração distribuída (ANEEL, 2012, 2015). Estes são: Geração Compartilhada e Edifícios com Múltiplas Unidades Consumidoras. Os novos conceitos da Resolução 687/2015 (ANEEL, 2015), incorporados ao texto da Resolução 482/2012 (ANEEL, 2012), referem-se ao compartilhamento de créditos de energia entre unidades consumidoras associadas em consórcio ou cooperativa, e condomínio, no caso de empreendimento de múltiplas unidades consumidoras. Já o autoconsumo remoto se aplica ao compartilhamento de créditos resultantes do excedente de geração de energia injetado na rede elétrica da Concessionária, entre unidades consumidoras pertencentes a um mesmo proprietário.

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia produzida pela conversão direta da radiação solar em energia elétrica. Isso ocorre por meio de um dispositivo denominado célula fotovoltaica, que utiliza o princípio do efeito fotoelétrico ou efeito fotovoltaico (IMHOFF, 2007).

Devido à influência da radiação (calor e luz) em certos materiais (especialmente semicondutores), a energia solar é convertida diretamente em energia elétrica. Entre eles, destaca-se o efeito fotovoltaico. Essa característica permite o uso de células solares para converter os fótons contidos na luz solar em energia elétrica (ANEEL, 2008).

O efeito fotovoltaico é causado pela excitação de elétrons em certos materiais na presença da luz solar (ou outras formas apropriadas de energia). Entre os materiais mais adequados para a

conversão da radiação solar em energia elétrica (comumente denominadas células solares ou células fotovoltaicas), destaca-se o silício. Uma vez que a energia é gerada a partir de uma célula fotovoltaica, o meio que será usado através dela deve ser selecionado. Os sistemas fotovoltaicos são divididos em dois métodos de geração e consumo de energia: conectados à rede (on-grid) e fora da rede (off-grid) (BORTOLOTO *et al.*, 2017).

De acordo com Bortoloto *et al.*, (2017), o sistema On-grid nada mais é do que um gerador que usa a energia solar como fonte de energia. O sistema conectado à rede dispensa o uso de baterias, pois toda a energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico é consumida pela carga ou injetada diretamente na rede. O sistema é composto por painéis com módulos fotovoltaicos que têm a função de converter a corrente contínua em energia solar e um inversor que converte a corrente contínua em corrente alternada, cuja frequência e tensão são compatíveis com os valores da rede.

Segundo Rüther (2004), basicamente, os sistemas de grade podem ser divididos em dois tipos: Centralizada, como se fosse uma usina convencional, longe dos consumidores (grandes usinas fotovoltaicas), e edifícios integrados próximos aos consumidores e descentralizado (pequena escala).

Os sistemas off-grid dependem exclusivamente da radiação solar para gerar eletricidade por meio de painéis fotovoltaicos. Geralmente, esse tipo de sistema tem um sistema de armazenamento de energia composto de baterias e usa um controlador de carregamento e um inversor CC/CA conforme exigido pela aplicação. Esse sistema é caracterizado por não estar conectado à rede elétrica. Portanto, fornece diretamente os equipamentos que irão utilizar a energia, e geralmente são construídos para fins locais e específicos. Este sistema é amplamente utilizado em áreas rurais, fazendas e regiões pobres onde não há fornecimento de energia elétrica. Os sistemas off-grid estão chegando às residências nas grandes cidades e ganhando espaço, assim como os condomínios que desejam atender às necessidades específicas dos consumidores (BORTOLOTO *et al.*, 2017).

Conforme Bortoloto *et al.*, (2017), a eficiência de conversão de uma célula solar é medida pela proporção da radiação na superfície da célula solar que é convertida em energia elétrica. Atualmente, a eficiência da melhor bateria é de 25% (GREEN *et al.*, 2000). Para geração de energia em escala comercial, o principal obstáculo tem sido o custo das células solares.

Dessa forma, esse estudo visa analisar os benefícios financeiro, fiscal e ambiental gerados pela implantação de projeto de energia fotovoltaica em residências, apresentando a legislação e os incentivos municipais e Estaduais e governamentais para a implantação deste tipo de projeto.

1.1 Problema

A presente pesquisa busca conhecer melhor como pode-se implantar a energia fotovoltaica e quais suas vantagens para o consumidor residencial. Este estudo pretende responder a seguinte pergunta: Quais os benefícios financeiros, fiscais e ambientais de se implantar um projeto de energia fotovoltaica residencial?

1.2 Justificativa

Tal pesquisa justifica-se, porque a geração distribuída de energia fotovoltaica pode se tornar importante força motriz para o suplemento de produção de energia elétrica no Brasil em decorrência dos novos marcos regulatórios do setor a partir de 2012, esse sistema começou a ser instalado em diversos lugares (ANEEL, 2012). Com este crescimento, é notória a necessidade de estudos que tentem mostrar as vantagens e desvantagens de se implantar energia solar residencial e a possibilidade de se compartilhar tanto com a Concessionária de Energia local ou com outro consumidor residencial. Tem-se que a energia solar é algo disponível em abundância no Brasil, em várias regiões, e tem pouco impacto ambiental e pode contribuir para a diversificação da Matriz Energética Brasileira.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar os benefícios financeiros, fiscais e ambientais gerados para a sociedade do uso da energia fotovoltaica residencial.

2.2 Específicos

- a) Identificar o potencial técnico e ambiental da implantação de geração de energia fotovoltaica no Brasil;
- b) Apresentar as vantagens e desvantagens financeiro, fiscal e ambiental desse tipo de energia;
- c) Mostrar um estudo de caso da instalação de um sistema fotovoltaico em uma residência na cidade de Palmas no Estado do Tocantins.

3 METODOLOGIA

A pesquisa científica é a aplicação prática de um conjunto de procedimentos objetivos, utilizados por um pesquisador (cientista), para o desenvolvimento de um experimento, a fim de produzir um novo conhecimento, além de integrá-lo àqueles pré-existentes. Constitui-se, portanto, em etapas ordenadamente dispostas, de maneira lógica e racional, as quais o pesquisador deverá conhecê-las para aplicá-las convenientemente. Estas etapas, de maneira sucinta, incluem desde a escolha do tema a ser pesquisado, o planejamento da investigação, o desenvolvimento do método escolhido, a coleta e a tabulação dos dados, a análise dos resultados, a elaboração das conclusões, até a divulgação de seus resultados (FONTELLES *et al.*, 2009, p.2).

A metodologia é uma discussão epistemológica sobre qual o “caminho do pensamento” que o tema da pesquisa requer, é também, a apresentação adequada e justificada dos métodos, técnicas e instrumentos operativos que devem ser utilizados para as buscas relativas às indagações da investigação, e a marca pessoal e específica do pesquisador, na forma de articular teoria, métodos, achados experimentais, observacionais ou de qualquer outro tipo específico de resposta às indagações específicas (MINAYO 2007).

Segundo Bezzon (2004),

A metodologia da pesquisa representa meios e técnicas utilizados para atingir os objetivos anteriormente apresentados. As perguntas que podemos fazer são: Como fazer? Onde fazer? Com o que fazer? Quanto? Quando fazer? (BEZZON, 2004, pg. 23.).

3.1 Métodos

Tem-se como definição de método, na linguagem técnica atual, de modo genérico como sendo os procedimentos teóricos ou conjunto de procedimentos para se chegar a algum conhecimento que, segundo a definição descritiva pela Lógica de Port Royal, citado por Viegas (2007, p.101), é a

arte de bem-dispor uma sequência de diversos pensamentos ou para descobrir a verdade quando a ignoramos ou para prová-la aos outros quando já conhecemos.

Os procedimentos metodológicos necessários para realização deste trabalho foram os seguintes:

I. Quanto à abordagem

- Pesquisa Quali-Quantitativa: Com o intuito de estudar e caracterizar melhor como funciona um sistema fotovoltaico em residências. Aqui a pesquisa foi baseada na importância financeira, fiscal e ambiental da introdução da energia fotovoltaica em residências.
- Pesquisa Descritiva: Esse estudo utilizou esse método por estabelecer relações entre as diversas variáveis técnicas, financeiras, fiscais e ambientais.

II. Quanto aos objetivos

- Pesquisa Exploratória: Esse estudo utilizou esse método por ser necessário ter uma visão panorâmica ou mais abrangente sobre as características e uso da energia fotovoltaica.
- Pesquisa Explicativa: Esse estudo utilizou esse método por buscar analisar e descrever projetos de sistema fotovoltaico em residências.

III. Quanto aos procedimentos

- Pesquisa Bibliográfica: Para esse estudo utilizou esse tipo de pesquisa pois os dados utilizados foram obtidos no Portal Solar, além das coletas de dados em livros, artigos, teses consultando bases científicas, que tratam sobre o assunto.
- Estudo de Caso: Este estudo utilizou o procedimento de estudo de caso com o objetivo de se obter dados reais sobre a instalação de um sistema fotovoltaico em uma residência na cidade de Palmas no estado do Tocantins. O orçamento com as informações de quantos painéis solares serão necessários e quanto custa instalar um sistema energia solar na residência, foi solicitado no Portal Solar. Através desses dados foram realizados os cálculos necessários para fazer o estudo de viabilidade do projeto. Os principais indicadores econômicos usados para a análise do projeto foram o fluxo de caixa, o retorno sobre o investimento (Payback), amortização, VPL (valor presente líquido) e TIR (taxa interna de retorno).

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Contexto Socioambiental

O conceito de desenvolvimento sustentável nasce do processo de avaliação e reavaliação da relação entre a sociedade e o meio ambiente. Por se tratar de um processo contínuo, diversos métodos foram desenvolvidos e gradativamente modificados ao longo do tempo para buscar o equilíbrio entre economia e sociedade. No conceito adotado pela sociedade, o desenvolvimento sustentável é entendido como “atender às necessidades de hoje sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades”. Portanto, a ordem econômica começou a ser reconstruída como um padrão de sustentabilidade ecológica, e procurou conciliar o oposto da dialética do desenvolvimento sustentável: meio ambiente e crescimento econômico (PEREIRA *et al.*, 2017).

Uma das questões básicas do desenvolvimento sustentável é inovar e desenvolver tecnologias para a conversão e uso da energia natural. A demanda por energia para o desenvolvimento de um país é indiscutível, mas a aplicação de tecnologias que buscam melhorar a eficiência energética e a sustentabilidade da produção garantem o desenvolvimento e reduzem o impacto no meio ambiente (PEREIRA *et al.*, 2017).

Portanto, fica claro que a energia solar pode desempenhar um papel importante na expansão da matriz energética brasileira, podendo aumentar sua flexibilidade com a diversificação das fontes de energia e a exploração de possíveis complementaridades. O uso de recursos solares inclui a conversão da energia do sol em calor ou Conversão direta em energia elétrica (processo fotovoltaico). O uso de tecnologia de conversão de energia solar está crescendo globalmente, a taxa de uso de energia térmica e aplicações fotovoltaicas é alta. Entre 2010 e 2016, a capacidade instalada por sistemas globais de geração de energia fotovoltaica cresceram em média 40%, enquanto a energia eólica aumentou 16% e a energia hidrelétrica aumentou cerca de 3% (REN21, 2017).

A utilização de sistemas fotovoltaicos permite a geração de energia distribuída por meio de pequenas e médias fábricas instaladas em edifícios residenciais e comerciais, que produzem energia para seu próprio uso e distribuem o restante para distribuição na rede do sistema elétrico. Devido à distância entre as usinas e os centros consumidores, a geração distribuída pode ajudar a reduzir as perdas no Sistema Interligado Nacional (SIN) (PEREIRA *et al.*, 2017).

4.2 Energia Solar Fotovoltaica e suas características

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia produzida pela conversão direta da radiação solar em energia elétrica. Isso ocorre por meio de um dispositivo denominado célula fotovoltaica, que utiliza o princípio do efeito fotoelétrico ou efeito fotovoltaico para funcionar (IMHOFF, 2007).

Segundo Severino e Oliveira (2010), o efeito fotovoltaico é produzido pela absorção da luz solar, o que resulta em uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor. Como complemento a essas informações, Nascimento (2014, p.14) destacou que as células fotovoltaicas não armazenam energia elétrica. Enquanto houver luz, ela só mantém o fluxo de elétrons no circuito. Esse fenômeno é denominado “efeito fotovoltaico”.

As células fotovoltaicas consistem em um material semicondutor - silício, ao qual são adicionadas substâncias chamadas dopantes para criar um meio adequado para estabelecer o efeito fotovoltaico, ou seja, para converter diretamente a energia elétrica relacionada à radiação solar em potência elétrica de CC (Corrente Contínua) (CASTRO, 2002).

A célula é o menor elemento em um sistema fotovoltaico e geralmente gera 1,5 W de energia elétrica (correspondendo a uma tensão de 0,5 V e uma corrente de 3 A). Para obter maior potência, as células são conectadas em série e/ou em paralelo para formar módulos (geralmente em torno de 50 a 100 W) e painéis fotovoltaicos (maior potência) (CASTRO, 2002).

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez pelo físico francês Edmund Becquerel em 1839. Ele observou que duas placas de latão imersas em um eletrólito líquido gerariam eletricidade no sol. Esse fenômeno é denominado efeito fotovoltaico (MACHADO; MIRANDA, 2015).

Em 1883, o inventor americano Charles Fritts produziu a primeira célula solar feita com folhas de selênio. Embora sua eficiência de conversão elétrica fora sido de apenas 1%, seu equipamento teve um grande impacto, pois as pessoas não acreditavam que a energia poderia ser produzida sem a queima de combustível (MACHADO; MIRANDA, 2015).

A primeira célula solar preparada a base de silício foi desenvolvida por cientistas da Bell Labs em 1954, a célula possuía eficiência de 6%. Desde então, as pesquisas no ramo não pararam mais. Em 26 de abril de 1954 o jornal americano “*The New York Times*” anunciou que as células fotovoltaicas de silício poderiam ser a possibilidade do futuro de aproveitamento de uma fonte de energia ilimitada, a radiação solar (MACHADO; MIRANDA, 2015).

Após a crise energética mundial de 1973/74, o foco na pesquisa de novas formas de produção de energia não só significou que o uso de células fotovoltaicas não se limitou a programas espaciais, mas também foi amplamente estudado e utilizado para fornecer energia em ambientes terrestres. Abastecimento de energia (BRAGA, 2008).

Com a crise energética mundial de 1973/74, o foco na pesquisa de novas produções de energia faz com que o uso de células fotovoltaicas não se limite a programas espaciais, mas também seja amplamente estudado e utilizado para fornecimento de energia elétrica em ambientes terrestres (BRAGA, 2008).

A tabela 1 mostra a ordem cronológica dos principais acontecimentos na história do desenvolvimento dos equipamentos de conversão de energia solar fotovoltaica.

Tabela 1: Principais Eventos na História do Desenvolvimento dos Equipamentos de Conversão de Energia Solar Fotovoltaica

ANO	EVENTO
1839	Efeito Fotovoltaico (Becquerel);
1870	Efeito Fotovoltaico estudado em sólidos
1880	Construção da primeira célula fotovoltaica
1950	Início das pesquisas para aplicações práticas
1954	Primeira célula fotovoltaica de silício
1973	Estudo de novas aplicações

Fonte: Elaboração da própria autora.

4.3 Dopagem da Célula Fotovoltaica

O silício geralmente vem na forma de areia. Através de métodos adequados obtém-se o silício em forma pura. Cristais de silício puro não têm elétrons livres e, portanto, têm condutividade muito baixa. Para mudar isso, a porcentagem de outros elementos foi adicionada. Este processo é denominado de dopagem. A dopagem com fósforo no silício produz materiais com elétrons livres ou materiais com portadores de carga negativa (silício tipo N) (DO NASCIMENTO, 2004).

Figura 1: Camada N

Fonte: ZANI (2019). Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>>.
Acesso em: 30/09/2020.

De acordo com Zani (2019), átomos de elementos com excesso de elétrons (como fósforo ou arsênico) serão colocados em uma parte (superfície superior) da célula. Essa parte da célula é chamada de camada N e funciona como o “eletrodo negativo” da célula fotovoltaica (de forma extremamente simplificada), conforme a figura 1.

Na figura 2 tem-se a parte inferior da célula, onde são colocados átomos de elementos sem elétrons (como o boro). Essa parte da bateria é chamada de camada P, e sua função é como o "eletrodo positivo" da célula fotovoltaica (ZANI, 2019). Ou seja, realizando o mesmo processo, mas agora acrescentando boro ao invés de fósforo para obter um material com propriedades inversas, isto é, um material que carece de elétrons ou tem carga positiva livre (silício tipo P) (DO NASCIMENTO, 2004).

Figura 2: Camada P

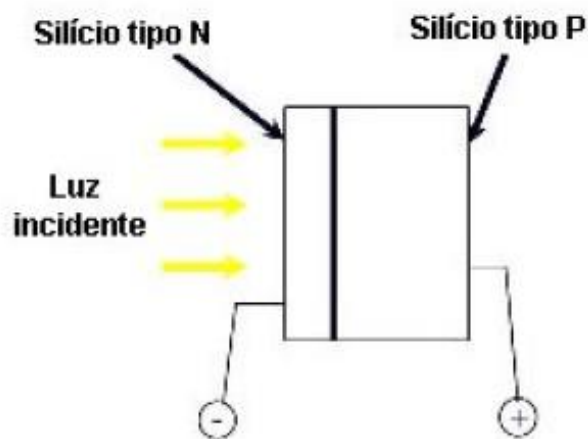
Fonte: ZANI (2019). Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>>.
Acesso em: 30/09/2020.

De acordo com Zani (2019), uma junção de duas camadas de silício, uma com excesso de elétrons (camada N) e outra com excesso de carga positiva (camada P), forma uma célula fotovoltaica.

Figura 3: Junção de duas camadas de silício

Fonte: ZANI (2019). Disponível em: <<https://vocsolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>>.
Acesso em: 30/09/2020.

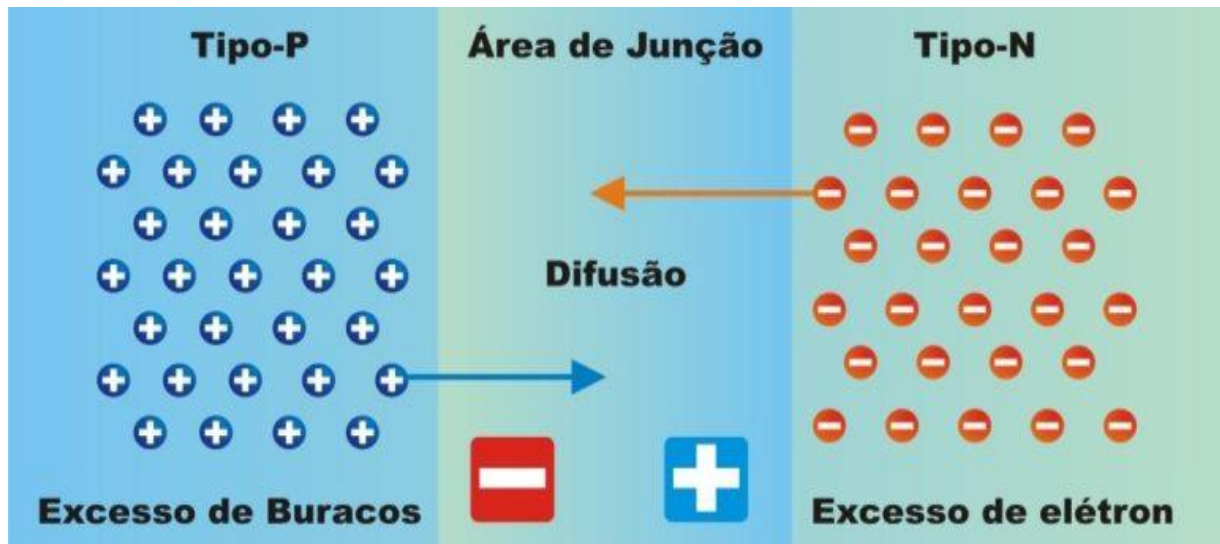
Cada célula solar consiste em uma camada fina de material do tipo N e uma outra com espessura maior de outro material do tipo P, conforme a Figura 3.

Figura 4: Célula Solar

Fonte: DO NASCIMENTO (2004)

Na figura 4, a área onde há contato entre a camada N e a camada P é chamada de junção PN. Na junção, depois que todas as cargas opostas são atraídas umas pelas outras, os elétrons definitivamente vão querer migrar da camada N para a camada P. Porém, devido à formação de um campo elétrico que não permite que os elétrons passem diretamente da camada N para a camada P, essa situação não ocorrerá indefinidamente (ZANI, 2019).

Figura 5: Junção PN



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>>.
Acesso em: 30/09/2020.

De acordo com a Figura 5, ambas as placas de cobertura são eletricamente neutras. No entanto, quando eles são combinados, na região PN, um campo elétrico é formado devido aos elétrons livres do silício do tipo N ocupando as lacunas da estrutura do silício do tipo P. Quando a luz é irradiada na célula fotovoltaica, o fóton irá colidir com outros elétrons. A estrutura do silício é alterada fornecendo energia ao silício e convertendo-o em um condutor. Devido ao campo elétrico gerado pela junção P-N, os elétrons são direcionados e fluem da camada "P" para a camada "N" (DO NASCIMENTO, 2004).

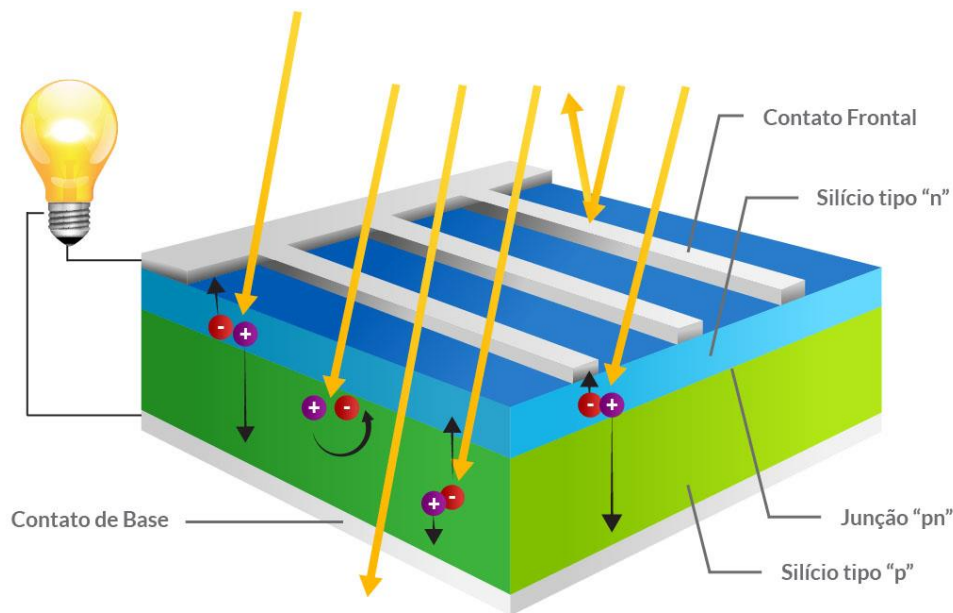
Ao conectar o eletrodo negativo ao condutor externo da camada do eletrodo positivo, um fluxo de elétrons (corrente) é gerado. Enquanto a luz atingir a célula, o fluxo continuará. A intensidade da corrente gerada irá variar na mesma proporção de acordo com a intensidade da luz incidente (DO NASCIMENTO, 2004).

4.4 O Efeito Fotovoltaico

As células fotovoltaicas não armazenam energia elétrica. Enquanto houver luz, ele pode apenas manter o fluxo de elétrons estabelecido no circuito. Esse fenômeno é denominado "efeito fotovoltaico" (DO NASCIMENTO, 2004).

De acordo com a pesquisa de Zani (2019), assim que a luz solar atinge a superfície superior (camada N) da célula fotovoltaica, os elétrons ficam energizados e esperam migrar da camada N para a camada P. A junção PN não permite que os elétrons migrem diretamente da camada P para a camada N. Portanto, quando a luz atinge a célula, tem-se tensão elétrica (ou voltagem), mas nenhuma tem-se corrente elétrica (ou amperagem). Somente quando o circuito externo da célula é fechado, a corrente elétrica é usada para conectar a camada N à camada P. Este é basicamente o princípio do efeito fotovoltaico. A figura 6 resume tudo o que foi descrito até agora.

Figura 6: Efeito Fotovoltaico na Célula Fotovoltaica



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>>. Acesso em: 30/09/2020.

4.5 Os principais tipo de Célula fotovoltaica

Em busca de novas tecnologias para a utilização de fontes renováveis de energia, os sistemas fotovoltaicos são cada vez mais utilizados. Como resultado, as pessoas têm explorado novos materiais e realizado pesquisas para promover o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica (CEMIG, 2012).

O silício (Si) é o principal material para a fabricação de células fotovoltaicas e é o segundo elemento químico mais abundante na Terra. Diferentes formas de cristais têm sido exploradas: cristalino, policristalino e amorfo (CEMIG, 2012).

Na produção de células fotovoltaicas são utilizadas três tecnologias, que se dividem em três gerações de acordo com seus materiais e características.

A primeira geração de produtos é composta por silício cristalino (c-Si), subdividido em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), tornando-se uma tecnologia mais eficiente, consolidada e confiável, ocupando 85% do mercado (CEPEL e CRESESB, 2014).

A segunda geração, também chamada de filme fino, é dividida em três cadeias: silício amorfo (a-Si), cobre, disseleneto de índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe).

A terceira geração, é definida pelo IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos como:

Células que permitem uma utilização mais eficiente da luz solar que as células baseadas em um único band-gap eletrônico. De forma geral, a terceira geração deve ser altamente eficiente, possuir baixo custo/watt e utilizar materiais abundantes e de baixa toxicidade. (IEEE, 2014)

Por fim, ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, existem as células orgânicas ou poliméricas (CEPEL & CRESESB, 2014).

A. Célula fotovoltaica de silício monocristalino (Si-m)

A maioria dos módulos fotovoltaicos de silício monocristalino, também chamados de células, são obtidos a partir de uma única grande fatia de cristal imersa em silício fundido (MIRANDA, 2015).

Para fabricar este tipo de célula, é necessário executar um método de fabricação denominado método de Czochralski em silício purificado. Este é um método muito caro de produção de silício monocristalino, portanto as células monocristalinas são mais caras do que as células de silício policristalino (ZANI, 2019).

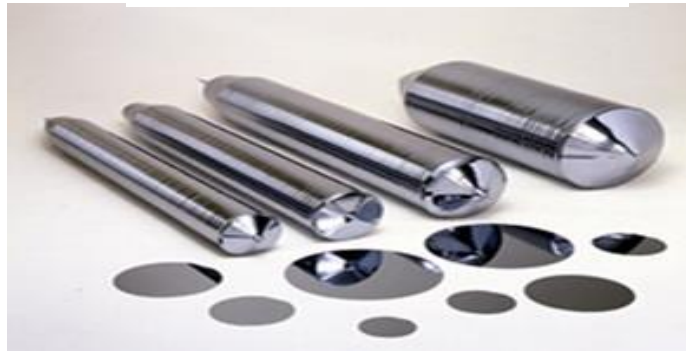
Durante esse processo, o cristal recebe uma pequena quantidade de boro, formando um semicondutor dopado tipo “p”¹. Após o corte, as impurezas do tipo “n”², são expostas ao semicondutor, e o forno de alta temperatura é exposto ao vapor de fósforo, o que garante a confiabilidade e eficiência do produto (CEPEL & CRESESB, 2004; CEMIG, 2012).

¹ “Insere-se na estrutura cristalina, átomos com a deficiência de um elétron em relação aos átomos da rede (WENDLING, 2011).”

² “Insere-se na estrutura cristalina, átomos contendo excesso de um elétron de valência em relação aos átomos da rede (WENDLING, 2011).”

Ao final do método, obtém-se lingotes de silício monocristalino (ou seja, formado a partir de um único cristal de silício), conforme mostrado na figura 7. Esses lingotes são serrados na espessura da célula fotovoltaica (cerca de 0,3 mm de espessura) e, em seguida, a célula é cortada em uma forma octogonal (quadrado com pontas cortadas) (ZANI, 2019).

Figura 7: Lingotes de Silício Monocristalino



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>>. Acesso em: 01/10/2020.

B. Célula fotovoltaica de silício policristalino (Si-p)

Como o nome indica, uma célula policristalina é uma célula formada por vários cristais de silício. O processo de fabricação desse tipo de bateria¹ é muito mais simples (e, portanto, mais barato) do que o das células monocristalinas (ZANI, 2019).

Segundo Zani (2019), basicamente, o silício purificado se funde e o silício líquido se solidifica na forma de grandes cubos. Em seguida, o bloco de silício é serrado no tamanho da célula fotovoltaica, conforme mostrado na figura 8. No entanto, quando o silício é solidificado desta forma sem qualquer controle, vários cristais de silício são formados.

Figura 8: Bloco de Silício Policristalino



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>>. Acesso em: 26/10/2020.

C. Célula monocristalina X célula policristalina

Segundo Ruther (2004), a eficiência dos módulos fotovoltaicos de Si-p é menor que a do silício monocristalino, mesmo que sejam do mesmo material. Portanto, não é formado por um único cristal, mas é derretido e solidificado, resultando em um bloco com grandes quantidades de grãos ou cristais, concentrando assim um grande número de defeitos. Portanto, em comparação com as células monocristalinas, seu custo é menor. Ambos são descritos na figura 9.

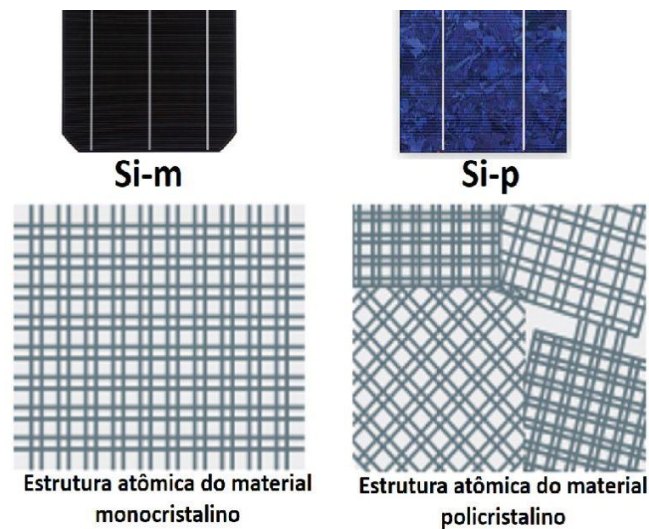
Figura 9: Processos de Fabricação da Célula Fotovoltaica de Silício



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>>. Acesso em: 26/10/2020.

Conforme mostrado na figura 10, ambas as células vêm da mesma matéria-prima, mas passam por diferentes processos de fabricação. Quanto à sua estrutura atômica, as células fotovoltaicas monocristalinas apresentam uma estrutura organizada derivada da formação de cristais únicos de silício. Por outro lado, em células policristalinas, a estrutura atômica é mais caótica devido à formação de múltiplos cristais de silício (ZANI, 2019).

Figura 10: Estruturas Atômicas da Célula Fotovoltaica



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>>. Acesso em: 26/10/2020.

Conforme apontou Zani (2019), em relação às diferenças visuais, as células fotovoltaicas policristalinas apresentam manchas (devido à presença de múltiplos cristais de silício na estrutura atômica). As células de cristal único não apresentam manchas. Além disso, a célula monocristalina tem uma forma octogonal porque é extraída de um lingote cilíndrico. As células policristalinas são sempre quadradas. Ambos são apresentados na Figura 11.

Figura 11: Diferenças Visuais Entre Célula Fotovoltaica Monocristalina e Policristalina



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>>. Acesso em: 26/10/2020

De acordo com Zani (2019), as células monocristalinas são geralmente de melhor qualidade. Em comparação com as baterias policristalinas, elas são ligeiramente mais eficientes, têm uma vida útil mais longa e são mais atraentes esteticamente. No entanto, essas vantagens ainda não podem provar a diferença de valor entre as células monocristalinas e policristalinas. Portanto, apesar de o valor entre os dois tipos de baterias ter diminuído, as baterias policristalinas demonstram melhor custo-benefício e menor custo total. No entanto, a diferença entre a eficiência de células de cristal único e policristalinas também está diminuindo (às vezes menos de 1%).

Na tabela 2 pode-se observar a comparação descrita.

Tabela 2: Comparação dos Atributos das Células Monocristalina e Policristalinas

ATRIBUTO	MONOCRISTALINO	POLICRISTALINO
Eficiência	X	
Custo		X
Aparência	X	
Vida Útil	X	
Custo-benefício		X

Fonte: ZANI (2019). Dados Disponíveis em: <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>. Acesso em:

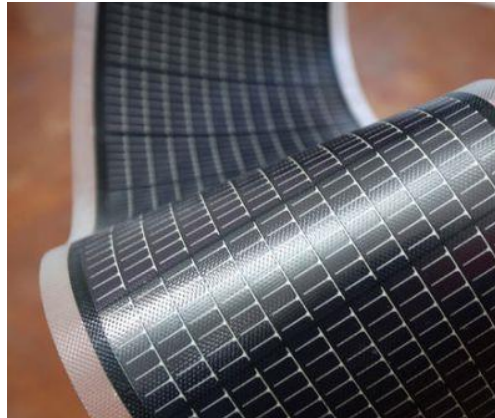
26/10/2020

D. Célula fotovoltaica de película fina (thin film)

Algumas pesquisas na área orientaram a produção de filmes finos para uso com uma variedade de materiais semicondutores e técnicas de deposição. Por exemplo, em finas camada de silício ou outro material sob um substrato que pode ser rígido ou flexível. Dentre os materiais mais frequentemente estudados, destaca-se o silício amorfo (a-Si) (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

De acordo com um estudo de Nascimento (2004), essas camadas finas são depositadas em substratos de baixo custo, como vidro, aço, aço inoxidável e alguns plásticos. Foram desenvolvidos painéis solares flexíveis, indestrutíveis, mais leves, translúcidos, comercialmente disponíveis com superfícies curvas, expandindo o mercado fotovoltaico devido à sua versatilidade. Devido à sua aparência estética mais atraente, o a-Si encontrou uma variedade de aplicações arquitetônicas, substituindo telhados e paredes externas em edifícios civis. Na figura 12 tem-se um exemplo de uma célula fotovoltaica de película fina (thin filme).

Figura 12: Célula fotovoltaica de Película Fina



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>>. Acesso em: 28/11/2020

Em comparação com outras tecnologias fotovoltaicas, a grande vantagem do filme fino é que utiliza menos matéria-prima e menos energia no processo de produção, o que torna seu custo muito baixo. Além disso, a redução da complexidade de fabricação facilita o processo de automatização, o que favorece sua produção em série (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Apesar dessa vantagem, são menos eficientes na conversão de fótons em elétrons do que as células de cristal de silício simples (GORE, 2010).

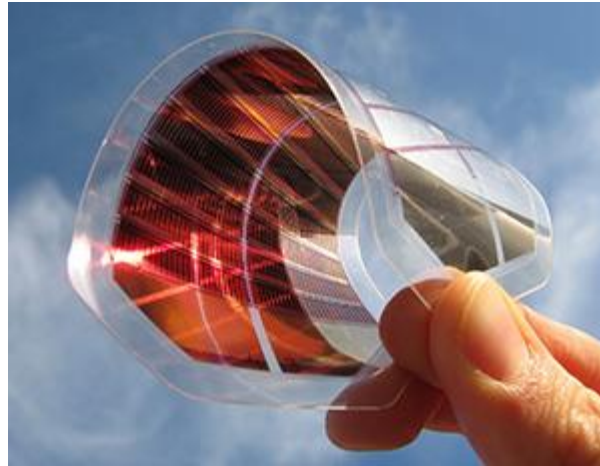
Silício Amorfo Hidrogenado ($a\text{-Si}^3$), é uma tecnologia fotovoltaica na forma de camadas finas (películas delgadas). Essa tecnologia é melhor usada para calculadoras, relógios e outros produtos de baixo consumo de energia. Essas células são eficazes sob iluminação artificial principalmente sob lâmpadas fluorescentes (DO NASCIMENTO, 2004).

E. Célula fotovoltaica orgânica

Segundo Cepel e Cresesb (2014), as células orgânicas ou de polímero representam a mais recente tecnologia fotovoltaica e ainda estão em fase de pesquisa e desenvolvimento, testes e produção em pequena escala, conforme apresentado na figura 13.

³ a-Si - silício amorfo

Figura 13: Célula fotovoltaica orgânica



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>>. Acesso em: 28/11/2020

A tecnologia é baseada na utilização de semicondutores orgânicos, responsáveis por absorver a luz, gerar, separar e transmitir cargas. Alguns desses dispositivos são feitos pela mistura de polímeros condutores e derivados de fulereno (ALVES, 2011).

Segundo Zani (2019), assim como as plantas usam um pigmento chamado clorofila para converter a energia solar em alimento, as células fotovoltaicas orgânicas também usam revestimentos orgânicos para converter a energia solar em eletricidade. Porém, devido à capacidade de captura de elétrons que não são afetados pelo efeito fotovoltaico, o grau de comercialização desta célula ainda é baixo. Isso significa que existe um efeito fotovoltaico, mas é difícil para nós aplicá-lo a este tipo de célula.

De acordo com pesquisa de Alves (2011), as células orgânicas podem ser vistas como uma alternativa promissora para conversão de energia solar a baixo custo.

F. Célula fotovoltaica transparente

Segundo Zani (2019), essa célula fotovoltaica ainda está em desenvolvimento, mas a promessa é de que um dia poderá substituir o vidro das janelas de casas e prédios por células fotovoltaicas transparentes. Ao contrário das células comuns que convertem o espectro visível da radiação solar em energia elétrica, as células transparentes convertem parte do espectro invisível em energia elétrica (ultravioleta e infravermelho). Portanto, toda a luz visível passa pela célula e as ondas eletromagnéticas invisíveis são absorvidas e convertidas em eletricidade. Espera-se que

essas células entrem no mercado com uma eficiência de cerca de 5% a 7% (menos da metade das baterias de silício cristalino tradicionais). A figura 14 mostra um exemplo de uma célula fotovoltaica transparente.

Figura 14: Célula fotovoltaica transparente



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>>. Acesso em: 28/11/2020

4.6 Pannel Solar Fotovoltaico

Os painéis ou módulos solares são os principais componentes dos sistemas fotovoltaicos usados para gerar eletricidade. São formados por um conjunto de células fotovoltaicas, as quais são eletricamente conectadas em série ou em paralelo de acordo com a tensão e/ou corrente determinada em projeto. O conjunto desses módulos é chamado de geradores fotovoltaicos e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são responsáveis pelo processo de captação da radiação solar e sua conversão em eletricidade (PEREIRA e OLIVEIRA, 2011).

Atualmente, dependendo do tipo de célula utilizada, alguns módulos rígidos ou flexíveis de células solares podem ser produzidos (PINHO & GALDINO, 2014)

No que se refere à fabricação de painéis, deve-se destacar que, segundo Pinho & Galdino (2014), a produção de módulos solares está sujeita a severas intervenções governamentais por meio de incentivos financeiros e ambientais. Como resultado, o aumento da produção desses componentes reduz o custo de tornar o sistema eficaz.

A figura 15 mostra um painel solar fotovoltaico.

Figura 15: Painel Solar Fotovoltaico



Fonte: ZANI (2018). Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar/>>. Acesso em: 28/11/2020

4.7 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Segundo Zani (2019), os sistemas fotovoltaicos são divididos em duas categorias: os sistemas isolados (off-grid) e os sistemas conectados (On-grid) que podem ser divididos em diversos tipos. Nestes dois grupos de sistemas, existem diferentes formas de aplicação da tecnologia, que são:

- I. Sistemas Isolados (Off-GRID)
- II. Sistemas conectados (ON-Grid)

I. Sistemas isolados (Off-grid)

Esses sistemas não dependem da operação da rede elétrica convencional e podem ser usados em locais onde a rede de distribuição de energia está ausente. Em outras palavras, tudo o que é produzido por painéis solares é consumido no próprio local onde ocorreu a geração. Existem dois tipos de autônomos: com armazenamento e sem armazenamento. O primeiro pode ser usado para carregar baterias de carros elétricos, iluminação pública e até mesmo pequenos dispositivos

Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 29/11/2020

A seguir veremos algumas aplicações de sistemas fora da rede.

a) Sistemas off-grid com armazenamento de energia

Este é o tipo "mais clássico" de sistema off-grid. Conforme mostrado na figura 17, nesse sistema toda a energia produzida pelo módulo fotovoltaico é armazenada na bateria. Portanto, quando não há luz solar (chuva ou noite), a carga local é alimentada pela energia armazenada na bateria (ZANI, 2019).

Figura 17: Sistemas off-grid com armazenamento de energia



Fonte: VC SOLAR, 2019. Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 29/11/2020

A aplicação mais comum desse tipo de sistema é para alimentar casas de pequeno porte que não podem ser conectadas à rede de energia elétrica. No entanto, existem outras maneiras de usar sistemas off-grid para armazenamento de energia: barcos solares, aviões solares e carros solares (ZANI, 2019).

b) Sistemas off-grid sem armazenamento de energia

Nesse sistema de isolamento, tudo o que é gerado no painel solar é transferido diretamente para a carga. Quando o painel não gerar energia, a carga também ficará sem energia (ZANI, 2019).

Segundo Zani (2019), a aplicação de um sistema que gera energia apenas na presença de luz solar é para bombear água solar, conforme a figura 18. O bombeamento de água solar é amplamente utilizado para irrigação em campos agrícolas. Afinal, como não há necessidade de irrigar as plantas o tempo todo, esse funcionamento intermitente do sistema não é um problema nessas aplicações.

Figura 18: Sistemas off-grid com armazenamento de energia



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 29/11/2020

c) Sistemas off-grid híbridos

Um sistema off-grid híbrido, refere-se a um sistema que não gera apenas eletricidade a partir da energia solar. Por exemplo, em torres de telecomunicações, não há falta de energia em nenhum momento (ZANI, 2019).

Portanto, eles usam sistemas off-grid híbridos: fonte solar e fonte de geradores a diesel. Se houver algum problema com o sistema solar (energia primária), acione o gerador a diesel (energia auxiliar) até que o sistema solar seja mantido. Basicamente, os geradores a diesel servem como fonte de energia de reserva. Este é apenas um exemplo. Um sistema off-grid híbridos pode consistir em quaisquer dois tipos diferentes de geradores (como solar e eólico; ou solar e hidrelétrico) (ZANI, 2019).

Na figura 19 tem-se um exemplo de sistema off-grid híbrido.

Figura 19: Sistemas off-grid híbridos



Fonte: VC SOLAR, 2019. Disponível em: < <https://vocosolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 29/11/2020

II. Sistemas conectados (On-grid)

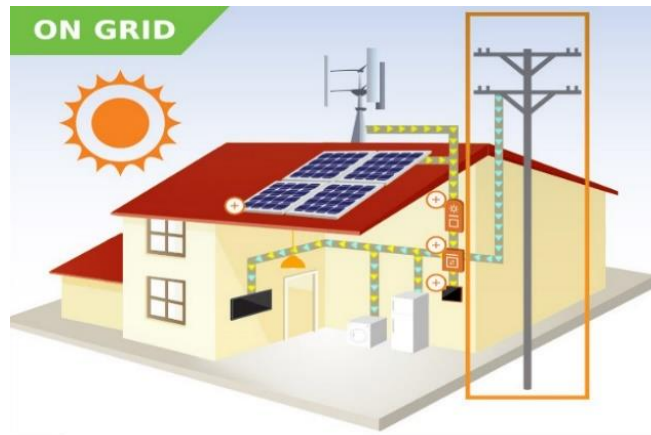
São aqueles que atuam simultaneamente com a rede das distribuidoras de energia. Resumindo, os painéis fotovoltaicos geram eletricidade com corrente contínua, convertem em corrente alternada e a injetam na rede de energia elétrica. Essa conversão é realizada por meio da utilização de um conversor de frequência, que implementa a interface entre o painel e a rede elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2013).

Nesse tipo de sistema, não há necessidade de uso de bateria (e, portanto, não há controlador de carga), pois a própria rede elétrica atuará como uma “bateria de sistema” (ZANI, 2019).

Toda a energia gerada, mas não consumida, flui para a rede. Quando o sistema não está gerando eletricidade, a carga geralmente consome energia da rede. Quando o sistema on-grid for instalado, o relógio óptico será substituído por um modelo bidirecional que pode medir a energia injetada na rede e a energia consumida pela rede. No final do mês, quanta energia é consumida e quanta energia é produzida será equilibrada. Nesse caso, como a rede é suportada, não há necessidade de se preocupar com a potência consumida pela carga, mas apenas com a fonte de energia (ZANI, 2019).

De acordo com Zani (2019), uma vez que não requerem baterias (e controladores de carga) e não precisam se preocupar com a potência da carga, **os sistemas on-grid são mais econômicos e tecnicamente mais viáveis do que os sistemas off-grid**. A única restrição é a necessidade de fornecer rede elétrica no local da instalação. Na figura 20 tem-se um esquema do sistema on-grid instalado em uma residência.

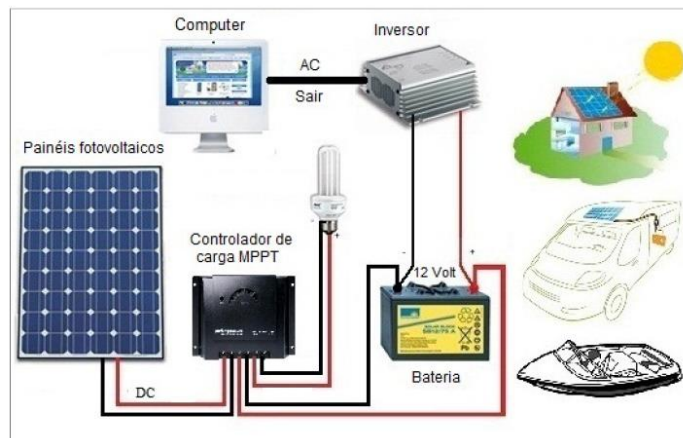
Figura 20: Sistemas conectados (On-grid)



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 29/11/2020.

O esquema 1 a seguir mostra o diagrama elétrico do sistema fotovoltaico.

Esquema 1: Diagrama elétrico fotovoltaico sistema on grid



Fonte: Mppt Solar (2016)

a) Sistemas on-grid de geração centralizada

Os sistemas on-grid de geração centralizada são as famosas usinas de energia solar ou parques solares, conforme a figura 21.

Figura 21:Sistemas on-grid de geração centralizada



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 29/11/2020

Apenas a geração de energia solar centralizada pode ser vendida. Como usinas hidrelétricas e termelétricas, eles vendem a energia que produzem. Para possuir uma usina de energia solar centralizada, você deve participar de um leilão de energia. Claro, uma grande quantidade de dinheiro será investida na construção de usinas (ZANI, 2019).

O sistema on-grid de geração de energia conectado à rede é um sistema de alta potência que pode gerar muita energia em um só lugar. Essa energia é então distribuída para várias regiões do país. Não é diferente das usinas hidrelétricas, termelétricas, nucleares ou eólicas. A única diferença é que neste caso a energia é solar (ZANI, 2019).

b) Sistemas on-grid de geração distribuída (GD)

Conforme Zani (2019), o sistema on-grid de geração distribuída (GD) é uma fonte de energia que está mudando o Brasil (e o mundo). Quando você coloca o sistema solar fotovoltaico em sua casa (conectado à rede), você tem um sistema on-grid de geração de energia distribuída. Os sistemas fotovoltaicos de geração distribuída podem ser de pequenos, médios ou grandes portes (de 0,1 kWp a 5 MWp). Na figura 22 tem-se um exemplo de um sistema on-grid de geração de energia distribuída.

Figura 22: Sistemas on-grid de geração distribuída (GD)



Fonte: VC SOLAR, 2019. Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 29/11/2020

Qualquer pessoa pode ter um sistema fotovoltaico de geração de energia distribuída em residências, empresas ou indústrias. Basta contratar uma empresa para instalar o sistema e você poderá gerar sua própria energia em 1 a 2 meses. Com um sistema on-grid de geração de energia distribuída, você não poderá vender sua energia. Em outras palavras, você não poderá trocar a quantidade de quilowatt-hora de eletricidade gerado por qualquer tipo de moeda. Em vez disso, você participará do sistema de compensação de energia (ZANI, 2019).

A geração de energia distribuída (GD) pode vir de uma variedade de fontes alternativas. Dentre elas, a energia solar pode ser considerada uma das mais limpas e fáceis de instalar, além de reduzir a dependência do mercado de petróleo, reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera (HOSENUZZAMAN *et al.*, 2014), e faz com que o país seja menos afetado pela instabilidade dos recursos hídricos. Como os preços dos equipamentos (painéis fotovoltaicos e inversores) caíram, a tendência de utilização da geração distribuída de energia fotovoltaica tem sido forte. Até agora, o número de GDs conectados à rede de distribuição do Brasil ainda é considerado pequeno em comparação com a capacidade instalada total (toda a fonte de energia). Portanto, embora a adesão da geração fotovoltaica distribuída tenha melhorado nos últimos anos, esta inserção não é suficiente para ter um impacto significativo na rede de distribuição. No entanto, a tendência é que, com o passar do tempo, haverá cada vez mais pessoas assim. O uso popular pode causar efeitos importantes na rede, por isso vale a pena estudar (SLOOTWEG; KLING, 2002).

A Agência Internacional de Energia - IEA (2002), define geração distribuída como produção de energia localizada perto da unidade de consumo de energia, independentemente de tamanho ou fonte, sejam baterias fósseis, energia eólica ou geração de energia fotovoltaica.

Segundo Malfa (2002), geração distribuída refere-se à geração de energia sem um plano centralizado e à geração que não é programada de forma centralizada, portanto, não há órgão responsável pelas ações do setor de geração descentralizada.

A principal característica da geração distribuída de energia geralmente está na rede de distribuição do sistema, mesmo depois que os usuários regulam o sistema, a usina é instalada próxima à carga de consumo (ACKERMANN *et al.*, 2001). Essa particularidade é de grande importância, pois pode minimizar as perdas durante o transporte e evitar o uso de um grande número de linhas de transmissão. No caso da energia fotovoltaica, a geração de energia pulverizada na rede costuma ser incorporada à estrutura do edifício, de forma que nenhum novo terreno é necessário, logo o impacto no meio ambiente é pequeno (MIRANDA, 2013).

A adoção em larga escala da GD mudará a estabilidade do sistema, a qualidade da energia e afetará a proteção das subestações, a operação das redes de distribuição e dos equipamentos (WAENDA; PINTO, 2016).

Por exemplo, no Brasil, os consumidores só pagam as taxas obrigatórias definida pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Além disso, se a energia gerada for insuficiente, a rede irá compensar o que falta aos consumidores que deverão pagar às distribuidoras de energia posteriormente (PEREIRA, 2019).

Os sistemas fotovoltaicos podem ser instalados de várias maneiras, por exemplo, em postes, telhados, solo ou fachadas. De acordo com a definição da ANEEL, a geração de energia micro (> 100 kW a 1 MW) e micro (≤ 100 kW) pode ser distribuída até 29 de fevereiro de 2016. Após 1º de março de 2016, a especificação 687/2015 alterou a microgeração de energia maior que 75 kWp e menor ou igual a 5 MWp, e a capacidade instalada de microgeração foi menor ou igual a 75 kWp (WAENDA; PINTO, 2016).

Segundo Waenda e Pinto (2016) para que um sistema fotovoltaico completo funcione de forma satisfatória e eficaz, é importante realizar o projeto com as dimensões corretas e adequadas a cada objetivo. O projeto deve fornecer a radiação solar disponível no local de aplicação, a definição da localização e configuração do sistema, o levantamento da demanda e do consumo de energia, as dimensões dos painéis fotovoltaicos, os equipamentos de condicionamento de energia

e os sistemas de armazenamento (se houver). O projetista observará cuidadosamente o programa de distribuição de energia no Sistema Elétrico Nacional (Prodist) durante o processo de desenvolvimento.

Para um sistema on-grid, não há necessidade de instalar um pacote de bateria para armazenar energia, e o sistema deve operar forçosamente na mesma frequência e voltagem da rede C.A (precisa escrever o que significa essa sigla). De acordo com a NTC 905200, no caso do serviço da Copel, para se conectar à rede, deve-se obter autorização da concessionária, pois deve ser reparada para receber o excedente de energia de geração. Após a ligação, se houver falta de tensão na rede, o sistema não pode funcionar mesmo com radiação solar (WAENDA; PINTO, 2016).

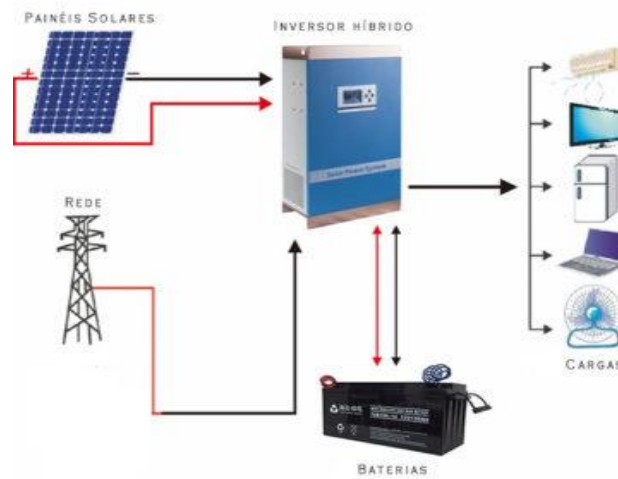
Neste caso, deve-se notar que o sistema on-grid é benéfico para os consumidores que ficam perto da rede de distribuição de energia e não precisam usar baterias para controlar o carregamento. Por outro lado, os sistemas são vantajosos para os consumidores que vivem em áreas remotas, longe da rede de transmissão de energia (PEREIRA, 2019).

c) Sistemas on-grid híbridos

Os sistemas fotovoltaicos on-grid dependem da energia da rede elétrica para funcionar (a forma como o inversor on-grid opera). Portanto, mesmo durante o dia, mesmo que ocorra uma falha de energia, o sistema on-grid não pode garantir o abastecimento da carga. É aqui que o sistema de conexão híbrida entra em ação. Enquanto a rede estiver energizada, esses tipos de sistemas geralmente podem ser usados como sistemas on-grid. No entanto, se ocorrer uma falha de energia, o sistema deixará de operar como um sistema on-grid e passará a operar como um sistema off-grid (ZANI, 2019).

Obviamente, isso torna necessário o uso da bateria e do controlador de carregamento. Em caso de falha de energia, a energia armazenada na bateria alimentará a carga local. Basicamente, o sistema de energia híbrido funciona de maneira semelhante a um sistema on-grid, mas tem uma função de "backup" de energia no caso de falha de energia na rua. Ao projetar um sistema híbrido conectado, o projetista deve separar a parte on-grid do sistema separadamente da parte off-grid para determinar o tamanho. Na verdade, parece que são dois sistemas independentes. Afinal, eles são, na verdade, dois sistemas separados (ZANI, 2019). Na figura 23 pode-se ver como funciona esse sistema.

Figura 23: Sistemas on-grid híbridos



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 29/11/2020

III. Sistemas isolados (Off-grid): componentes e funcionamento

Para o funcionamento do sistema fotovoltaico, equipamentos auxiliares devem ser instalados junto com o módulo. Esses componentes terão papel fundamental no armazenamento e distribuição da energia elétrica gerada, diferenciados de acordo com o tipo de sistema implantado (on grid ou off grid) (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Neste tópico, a operação de sistemas off-grid será discutida. Veremos quais são os equipamentos que compõem o sistema de isolamento e como todo o sistema funciona.

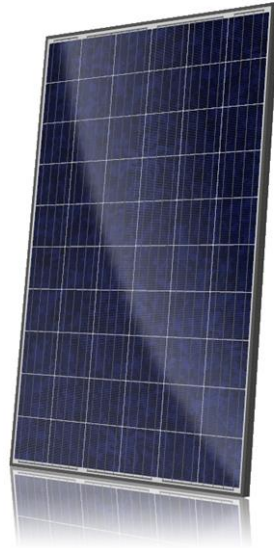
a) Módulos Fotovoltaicos

Os componentes básicos de qualquer módulo fotovoltaico são células fotovoltaicas. O módulo nada mais é do que uma combinação de uma série de células fotovoltaicas (em alguns modelos de painel mais recentes, também existem combinações de células paralelas) (ZANI, 2019).

Cada célula fotovoltaica pode gerar uma pequena quantidade de tensão (aproximadamente 0,25 V a 0,50 V). A tensão total do painel é a soma das tensões de todas as células fotovoltaicas. O número de células fotovoltaicas varia com o modelo do painel. Alguns dos modelos mais comuns têm 30, 36, 60, 72, 120 ou 144 células (ZANI, 2019).

A Figura 24 mostra uma fotografia de um módulo fotovoltaico.

Figura 24: Módulo Fotovoltaico



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 03/12/2020

b) Baterias Estacionárias

Entre vários sistemas, as baterias ou acumuladores são mais comumente usados em sistemas isolados da rede elétrica, ou seja, sistemas *off grid*. Segundo Dazcal & Mello (2008), são eles os dispositivos responsáveis por armazenar a energia elétrica gerada pelos módulos para atender às suas necessidades sem radiação solar. Portanto, podem ser considerados extremamente importantes porque a radiação solar não ocorre à noite, mas diminui quando está nublado.

Existem outros equipamentos que podem realizar funções de armazenamento de energia, mas devido à sua alta eficiência, as baterias ainda são utilizadas em larga escala. É definido como:

(...) um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, conectados em série e/ou paralelo, capazes de armazenar energia elétrica na forma de energia química por meio de um processo eletroquímico de oxidação e redução que ocorre em seu interior (PINHO & GALDINO, 2014, p.164).

O tipo de bateria usado em sistemas fotovoltaicos é uma bateria estacionária. Baterias de automóveis não devem ser utilizadas em sistemas off-grid, pois não operam em sistemas fotovoltaicos (sua durabilidade será bastante reduzida) (ZANI, 2019).

Nas baterias estacionárias, existem vários tipos: baterias de chumbo-ácido comuns (as mais utilizadas por questões de preço), baterias de chumbo-ácido com eletrólito em gel (maior eficiência, durabilidade e menor custo de manutenção) e baterias AGM (eletrólito de fibra de vidro), o vidro também tem excelente eficiência e vida útil (ZANI, 2019).

Existem vários tipos de baterias existentes, que se distinguem pelas células utilizadas, que afetam diretamente a eficiência de armazenamento. Considerando que nem todos os modelos são economicamente viáveis, Messenger & Ventre (2010) propõem como tipo as baterias de chumbo-ácido, que até hoje são as mais utilizadas em sistemas fotovoltaicos.

Em um sistema off-grid, a bateria é o componente com vida útil mais curta. Se o sistema for bem projetado, a vida útil de uma bateria de chumbo-ácido típica é de cerca de 4 a 5 anos. Esta é a principal razão pela qual os sistemas off-grid são muito mais caros do que os sistemas on-grid (ZANI, 2019).

A Figura 25 mostra uma imagem de uma bateria estacionária.



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 03/12/2020

c) Controladores de carga

De acordo com Pereira & Oliveira (2011), os controladores de carga têm como principal função proteger os acumuladores, isto é, as baterias de sobrecargas do sistema. Além disso, se bem regulados, asseguram que o sistema opere em sua máxima eficiência.

Também chamado de regulador de carga, esse componente é normalmente utilizado em sistemas off-grid, ou seja, sistemas que utilizam baterias para armazenamento de energia. De

acordo com a pesquisa de Pereira & Oliveira (2011), a função principal do controlador de carga é proteger a bateria, ou seja, evitar a sobrecarga da bateria. Além disso, se devidamente regulamentados, eles podem garantir que o sistema opere com eficiência máxima.

Messenger & Ventre (2010) ressaltam que, se ajustados corretamente, vão garantir o bom desempenho do sistema de bateria em diversas condições (carga, descarga e variação de temperatura), complementando assim o uso do dispositivo.

O princípio de funcionamento de proteger a bateria pelo controlador de carregamento é evitar que a bateria sofra uma sobrecarga de tensão e que seja completamente descarregada. Ambas as condições podem causar desgaste e, portanto, encurtar a vida da bateria e devem ser controladas (PINHO & GALDINO, 2014).

Evitar a sobrecarga é apenas uma das funções do controlador de carregamento. Além disso, eles também: evitam a corrente reversa da bateria para o módulo fotovoltaico, evitam a descarga total da bateria, realizam compensação térmica e otimizam a potência do módulo para a bateria (somente com função MPPT) (ZANI, 2019).

A Figura 26 mostra uma fotografia de um controlador de carga.

Figura 26: Controladores de carga



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocosolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 03/12/2020

d) Inversores autônomos (off-grid)

Inversor autônomo é o nome de inversor para sistema off-grid. Suas funções são completamente diferentes dos inversores interativos (sistemas on-grid). Como o nome sugere, operam de forma autônoma, ou seja, não há rede de energia elétrica (ZANI, 2019).

Um inversor é um dispositivo eletrônico que pode fornecer energia elétrica na forma de corrente alternada de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (PINHO e GALDINO, 2014).

Segundo Pereira & Oliveira (2011), a energia elétrica na saída do módulo fotovoltaico é em corrente contínua (CC). Isso inviabiliza a sua aplicação direta na maioria dos equipamentos que utilizam apenas corrente alternada (CA). Para solucionar este problema, é utilizado um inversor capaz de converter a tensão contínua em um valor de tensão CA. Além disso, o dispositivo pode ajustar a frequência e o nível da tensão gerada, de forma que o sistema possa ser conectado à rede pública, on grid, na rede elétrica de acordo com as regras em vigor estabelecidas pela Aneel.

Para Zani (2019), a principal função do inversor é converter a corrente contínua (CC) gerada pelo módulo fotovoltaico em corrente alternada (CA). Energia na forma de corrente alternada é o tipo de energia que chega à nossa casa vinda da rede elétrica, ou seja, é o tipo de energia utilizada por nossos equipamentos eletrodomésticos e eletroeletrônicos. Portanto, é necessário converter a corrente contínua em corrente alternada.

Geralmente, os inversores autônomos são inversores de baixa potência porque o objetivo dos sistemas off-grid é apenas fornecer cargas de baixa potência e cargas necessárias (certas luzes, TVs, computadores, geladeiras, etc.) (ZANI, 2019).

Segundo Messenger & Ventre (2010), para a escolha de um inversor adequado para uso em um sistema fotovoltaico, os requisitos que precisam ser analisados são: a forma de onda da carga e a eficiência do próprio inversor.

Os inversores off-grid de 5 kWp foram considerados de alta potência, porém muito caros, enquanto os inversores on-grid de 5 kWp são inversores de baixa potência. O inversor autônomo é conectado entre a bateria e a carga. Como controladores de carga, eles também têm uma função para evitar que a bateria seja completamente descarregada. Atualmente, existem vários modelos de inversores off-grid com controladores de carga integrados (ZANI, 2019).

A Figura 27 mostra uma fotografia de um inversor autônomo.

Figura 27: Inversores autônomos (off-grid)

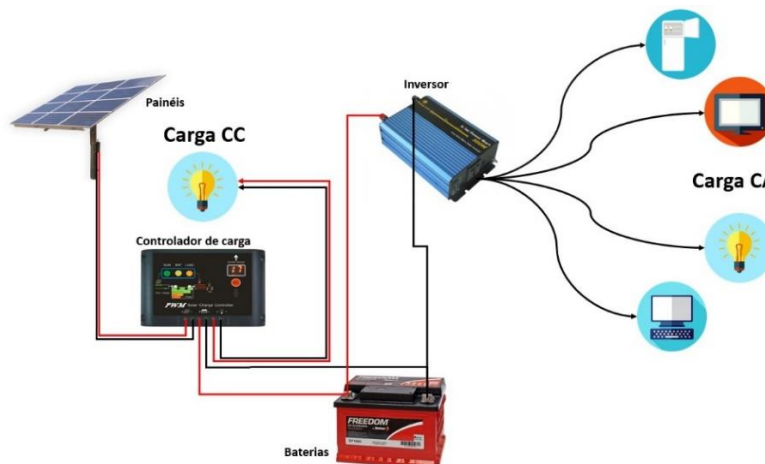


Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 03/12/2020

e) O sistema completo

A figura 28 mostra como os vários componentes de um sistema off-grid são conectados para formar um sistema completo. A linha vermelha representa o polo positivo e a linha preta representa o polo negativo. Desta forma, os módulos fotovoltaicos convertem a luz solar em energia elétrica. A energia gerada passa primeiro pelo controlador de carga, que controla a quantidade de energia fornecida à bateria (ZANI, 2019).

Figura 28: O sistema completo



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 03/12/2020

Segundo Zani (2019), se houver cargas CC a serem alimentadas (cargas que consomem corrente CC e não CA), essas cargas serão alimentadas diretamente pelo controlador de carga. O excesso de energia gerada é armazenado na bateria. A energia da bateria chega ao inversor na forma de corrente contínua. O inversor converte corrente contínua em corrente alternada e fornece a corrente alternada para a carga.

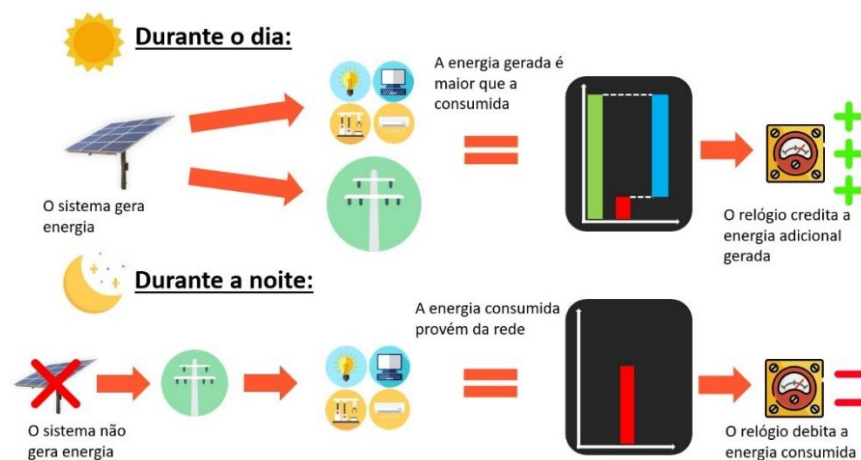
IV. Sistemas conectados (On-grid): sistema de compensação de energia

O sistema de compensação de energia traz vantagens para a instalação de sistemas de geração distribuída de energia fotovoltaica (GD). Após a instalação do sistema fotovoltaico GD em qualquer unidade do usuário (residencial, comercial ou industrial), o relógio da unidade do usuário será alterado para o modelo bidirecional. O modelo bidirecional pode medir a energia injetada na rede e a energia consumida pelo sistema (ZANI, 2019).

No final do mês, se o balanço energético do usuário de eletricidade for positivo (mais energia injetada do que consumida), a unidade consumidora receberá um crédito de energia. Se o balanço de energia no mês seguinte for negativo (mais energia consumida do que injetada), os créditos gerados no mês passado podem ser usados para ajudar a reduzir a conta de energia (ZANI, 2019).

Na figura 29 pode-se ver de forma esquematizada o que foi explicado sobre a compensação de energia.

Figura 29: Sistema de compensação de energia



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 03/12/2020

Segundo Zani (2019), essa troca de pontos de energia é sempre em kWh. Nenhum crédito pode ser trocado por reais, pois é impossível vender energia em um sistema de geração distribuída. Portanto, o sistema fotovoltaico GD pode fazer dinheiro para você, economizando custos de energia. Ressalta-se que é impossível “zerar” a conta de energia. Uma taxa mínima (chamada taxa de disponibilidade) deve ser paga a cada mês. Se a instalação elétrica da unidade consumidora for trifásica, essa taxa é equivalente a 100 kWh de energia elétrica; se for bifásica, é equivalente a 50 kWh; se for monofásica, é equivalente a 30 kWh.

O sistema de compensação de energia surgiu em 2012, quando a ANEEL publicou a Resolução Normativa 482 (alterada pela Resolução 687 em 2016). Antes de 2012, era impossível ter sistemas fotovoltaicos de geração distribuída (ZANI, 2019).

V. Sistemas conectados (On-grid): componentes e funcionamento

Neste tópico, a parte técnica do sistema on-grid foi apresentada somente o que tem de diferente do off grid e no final mostrou como o mesmo funciona.

a) Inversores interativos

De acordo com Zani (2019), o inversor interativo é o nome do inversor no sistema on-grid. Eles receberam esse nome porque interagem com a rede elétrica, ou seja, trabalham em paralelo com a rede. Como o inversor autônomo, a principal função do inversor interativo é converter a corrente contínua do módulo fotovoltaico em corrente alternada. Além disso, o inversor interativo garante que a carga seja sempre fornecida com potência máxima (função MPPT).

A Figura 30 mostra uma fotografia de um inversor interativo.

Figura 30: Inversor interativo



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 16/12/2020

O inversor conectado à rede registra todos os dados de produção do sistema fotovoltaico: em suma, todos os dados relevantes sobre a energia, potência, corrente e tensão gerada. Todos esses dados podem ser acessados na própria tela do inversor. Também é possível conectar o inversor ao WiFi local e acessar remotamente todos esses dados via smartphone ou computador (ZANI, 2019).

Se houver uma falha de energia, o inversor interativo não funcionará. Necessita da eletricidade da rede pública como referência para o seu funcionamento. Além disso, esses inversores sempre fornecem energia na mesma tensão e frequência da rede, de modo a não afetar a qualidade do desempenho da rede (ZANI, 2019).

b) Dispositivos de proteção (string box)

Segundo Zani (2019), no sistema on-grid, existem duas caixas contendo os equipamentos de proteção do sistema. Uma caixa contendo um dispositivo de proteção de corrente contínua (CC) está localizada entre o painel fotovoltaico e a entrada do inversor interativo. A outra caixa contém dispositivos de proteção de corrente alternada (CA) localizados entre a saída do inversor interativo e a conexão à rede. Essas caixas são chamadas de caixas de string box. Na string box CC está a chave seccionadora e o DPS específico para energia solar. Na string box CA são comumente usados disjuntores e DPS.

A Figura 31 mostra uma fotografia de um String Box.

Figura 31: String Box



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 16/12/2020

A seguir foi discriminado o funcionamento de cada um desses dispositivos.

c) Chave seccionadora

A função da chave seccionadora é abrir e fechar com segurança o sistema fotovoltaico. Em outras palavras, interromperá a passagem da corrente contínua. É como um interruptor especial para corrente contínua. A característica da corrente contínua é que, quando interrompida, tende a continuar por uma fração de segundo. Isso cria um arco elétrico (micro-raio). Portanto, um interruptor de isolamento deve ser usado para desconectar com segurança o sistema fotovoltaico. Porque a chave irá interromper a corrente contínua sem arco voltaico (ZANI, 2019).

A Figura 32 mostra uma fotografia de uma chave seccionadora.

Figura 32:Chave Seccionadora



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 16/12/2020

d) DPS

Zani (2019) afirma que a função do DPS é proteger o sistema contra surtos de tensão. Picos de tensão repentinos são causados por quedas de raios perto do sistema, causando tensão na fiação do sistema. Então, O DPS deve ser usado tanto na string box CC quanto na string box CA. A diferença é que o DPS na string box CC box é um DPS específico para energia solar, enquanto o DPS na string box CA é um DPS comumente usado, que pode ser encontrado em qualquer loja de elétrica.

Quando isso acontece, deve-se escoar a alta corrente que resultará da tensão induzida para o terra (não basta somente interromper o circuito com um fusível ou disjuntor). Portanto, o DPS fica

conectado ao terra. Se o aterramento não estiver bem feito, o DPS não adiantará de nada. Para proteger bem, o DPS deve estar bem aterrado (ZANI, 2019).

A Figura 33 mostra uma fotografia de um DPS.

Figura 33: DPS



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 16/12/2020

e) Disjuntor CA

O disjuntor AC protege a saída do inversor de picos de corrente. Se ele detectar que a corrente que flui pelo condutor é maior do que deveria, ele interromperá automaticamente o circuito. Uma vez que a rede é afetada por picos de corrente, é necessário proteger a saída do inversor (em contato direto com a rede) de picos de corrente. Ao contrário dos surtos de tensão, para proteger o inversor de picos de corrente, apenas o circuito precisa ser interrompido (ZANI, 2019).

A Figura 34 mostra uma fotografia de um disjuntor CA.

Figura 34: Disjuntor CA



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 16/12/2020

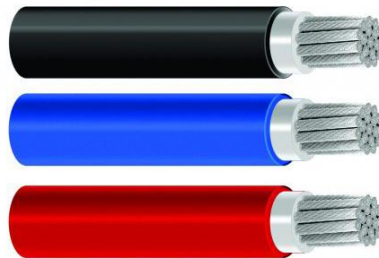
f) Cabeamento solar

O último componente do sistema on-grid é o cabeamento solar. Na parte CC do sistema fotovoltaico (da saída do painel à entrada do inversor), deve ser usada uma fiação especial: cabo solar. Os cabos solares possuem isolamento duplo, para que possam ser expostos às intempéries (sol e chuva) sem deterioração ou superaquecimento (ZANI, 2019).

Além disso, os cabos solares são estanhados. A passagem de corrente contínua em fios de cobre comuns fará com que o cobre oxide muito rapidamente (formação de zinabre). Além de superaquecer o cabo, esse óxido de cobre ou zinabre também faz com que o cabo comece a ter mais perdas. Porém, como os cabos solares são estanhados, o problema de formação do zinabre é eliminado (ZANI, 2019).

A Figura 35 mostra uma fotografia de um cabeamento solar.

Figura 35: Cabeamento solar



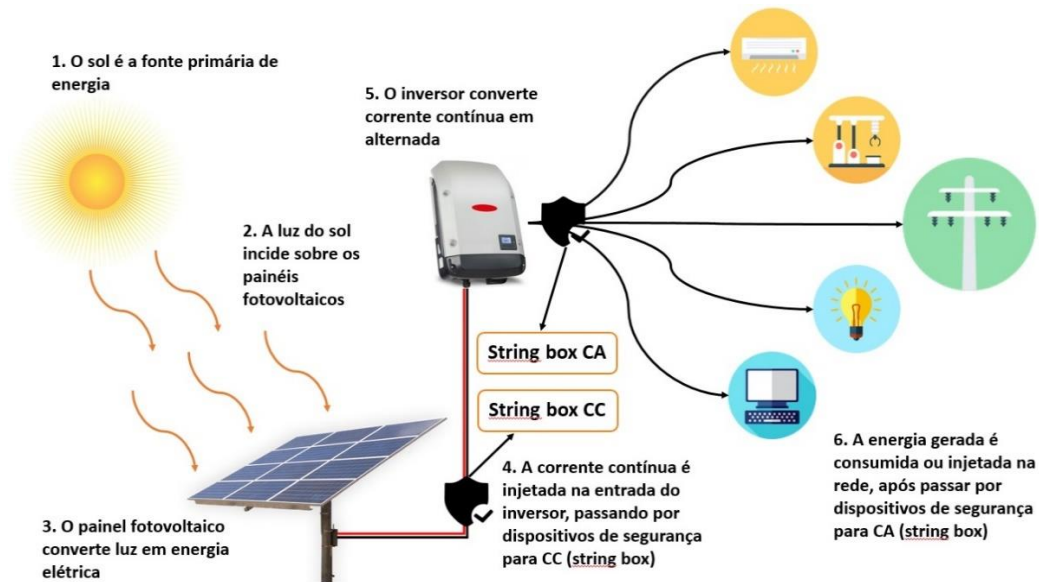
Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 16/12/2020

g) O sistema completo

O diagrama apresentado na Figura 36, mostra como ficam conectados os dispositivos do sistema on-grid.

Como os sistemas off-grid, os módulos fotovoltaicos convertem a energia da luz solar em energia elétrica. A energia elétrica CC passa pelo dispositivo de proteção CC antes de entrar no inversor. O inversor converte a corrente contínua em corrente alternada. A energia CA passa pelo dispositivo de proteção CA antes de ser passada para a carga e a rede de energia elétrica (ZANI, 2019).

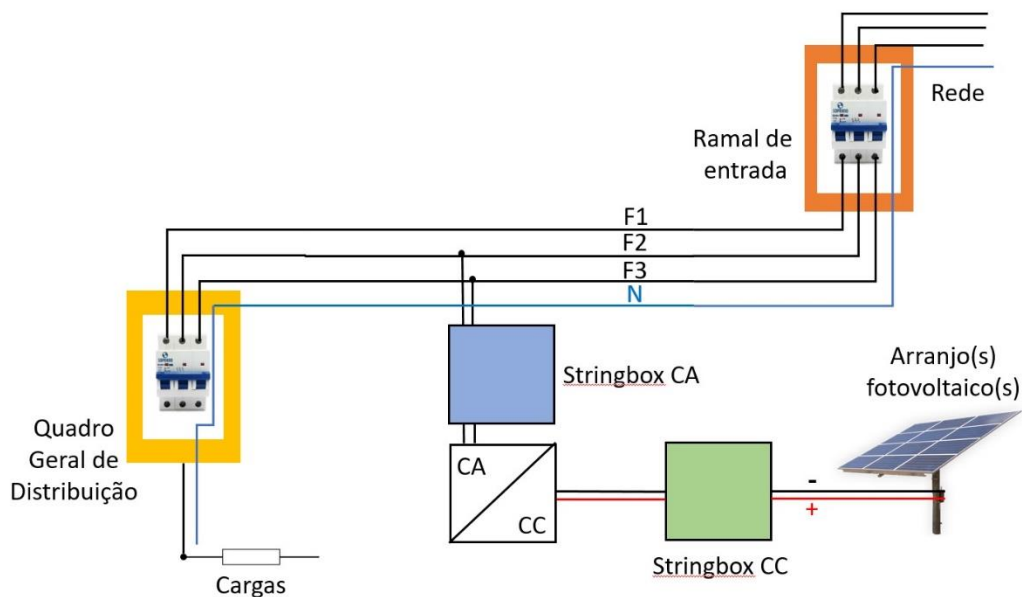
Figura 36: O sistema completo



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 16/12/2020

O diagrama da Figura 37 também representa o sistema fotovoltaico on-grid, porém de forma diferente.

Figura 37: O sistema completo 2



Fonte: ZANI (2019). Disponível em: < <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 16/12/2020

4.8 Legislação

Neste tópico, foi abordado os aspectos normativos para sistemas de Geração Distribuída Fotovoltaico, tanto nacionais quanto internacionais.

De acordo com Waenda e Pinto (2016) a primeira coisa a considerar ao instalar um sistema fotovoltaico é a segurança do pessoal de instalação e instalação. Portanto, é recomendado observar fielmente todos os padrões nacionais atuais relacionados ao processo de instalação. Na ausência de padrões nacionais, padrões internacionais relevantes devem ser adotados. Essa preocupação se deve em parte ao fato de que o módulo fotovoltaico não pode ser desligado quando o módulo fotovoltaico está aceso, mantendo assim a tensão em seus terminais.

✓ Normas Nacionais

Além dos regulamentos técnicos da concessionária local e dos documentos expedidos pela ANEEL, o Brasil também possui algumas regras para o tratamento de sistemas fotovoltaicos. Eles são normas ditadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) conforme foram descritas a seguir:

- ABNT NBR IEC 62116/2012- Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Vigente desde 06/04/2012.

Essa norma descreve todos os equipamentos de teste a serem usados e suas especificações, bem como procedimentos de teste e requisitos mínimos para repetibilidade permitida. Fornece um procedimento de teste para avaliar o desempenho de medidas anti-ilhamento utilizadas em sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR). Os procedimentos incluídos nesta norma são inversores monofásicos ou multifásicos usados em SFCR. Porém, após uma análise técnica, a norma pode ser aplicada a outros tipos de sistemas conectados à rede, como inversores, que têm como fonte primária microturbinas e células a combustível, motores síncronos e de indução com microturbinas e células a combustível como fonte principal (WAENDA; PINTO, 2016).

Segundo Waenda e Pinto (2016), o ilhamento é uma situação em que uma parte do equipamento elétrico (incluindo cargas e geradores) é isolada do resto da rede. Para evitar o ilhamento, deve ser utilizado um inversor que detecte esta situação e atue a tempo. Por este motivo, o inversor deve ser testado para melhorar o desempenho.

- ABNT NBR 16149/2013 - Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Vigente desde 01/03/2014.

Essa mesma norma estabelece recomendações específicas para interface de conexão entre sistemas fotovoltaicos e redes de distribuição. Descreve os parâmetros compatíveis com a rede, como: tensão, potência, frequência, faixa de operação normal de tensão e frequência, oscilação, proteção de injeção de componente C.C. na rede elétrica, harmônicos e distorção de forma de onda e fator de potência e injeção/demanda de potência reativa. Além disso, a norma também envolve segurança pessoal e proteção de sistemas fotovoltaicos, controle externo e requisitos para suporte de sobtensões devido a falhas de rede (WAENDA; PINTO, 2016).

No escopo desta norma, as seguintes são duas considerações importantes:

- NOTA 1: Não contempla compatibilidade eletromagnética e os procedimentos de ensaio de anti-ilhamento.
 - NOTA 2: Os requisitos para a conexão dos sistemas fotovoltaicos à rede podem variar quando é utilizado um sistema de armazenamento de energia ou os sinais de controle e comando são provenientes da distribuidora.
- ABNT NBR 16150/2013 - Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade. Vigente desde 04/04/2013.

Esta norma relaciona os instrumentos de medição e seus requisitos, bem como todos os procedimentos de teste mínimos exigidos. Ela trata de procedimentos de teste para verificar se os equipamentos utilizados na interface de conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede de distribuição de energia atendem aos requisitos da NBR16149. É adequado para conversores estáticos monofásicos ou multifásicos usados em sistemas fotovoltaicos para conexão à fonte de alimentação e outros componentes usados na interface de conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede de distribuição (WAENDA; PINTO, 2016).

- ABNT NBR 11704/2008 - Sistemas fotovoltaicos – Classificação. Vigente desde de: 21/02/2008.

A norma refere-se à classificação da interconexão de sistemas fotovoltaicos e sistemas de alimentação pública, à configuração (sistema puro ou híbrido), e inclui alguns exemplos de classificação, incluindo tipos de sistemas, consumo de eletricidade e, quando necessário, classificação de armazenamento de energia. Energia, componentes básicos e aplicações típicas (WAENDA; PINTO, 2016).

- ABNT NBR 16274/2014 – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Válida a partir de 06/04/2014.

A norma tem os seguintes três pontos principais: requisitos de documentos, que especificam as informações mínimas que devem ser incluídas nos documentos fornecidos após a instalação do sistema fotovoltaico na rede; verificação, que representa a informação mínima que deve ser fornecida após a ou regular) verificação do sistema, Inclui requisitos mínimos para testes de inspeção e comissionamento; avaliação de desempenho, que detalha os procedimentos mínimos necessários para avaliar o desempenho dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede após o início da operação (WAENDA; PINTO, 2016).

- ANEEL Resolução Normativa 482/2012.

Essa resolução estabelece as condições gerais de microgeração e minigeração de energia distribuída, sistema de distribuição de energia de acesso, sistema de compensação de energia elétrica e outras medidas adotadas. Ela entrou em vigor a partir de 17 de abril de 2012 e foi alterada pela Resolução Normativa 687/2015, sendo que os itens alterados têm validade a partir de 1º de março de 2016 e suas alterações entraram em vigor em 1º de março de 2016 (WAENDA; PINTO, 2016).

- ANEEL Resolução Normativa 687/2015, altera a resolução de 2012 e entrou em validade a partir de 1º de março de 2016 (WAENDA; PINTO, 2016).

De acordo com a nova regulamentação que entrou em vigor em 1º de março de 2016, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada. Isso se chama microgeração distribuída de energia, e sua potência instalada é de até 75 quilowatts (KW) e Micro

geradores distribuídos, com potência superior a 75 kW e inferior ou igual a 5 MW, são instalados e conectados à rede de distribuição por meio de unidades usuárias (ANAEEL, 2018).

Segundo a ANEEL (2018) quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto”.

Outra inovação do padrão envolve a possibilidade de instalação de geração distribuída em apartamentos (projetos de unidades múltiplas ou condomínios). Nessa configuração, a energia gerada pode ser distribuída entre os condomínios em um percentual definido pelo consumidor (ANAEEL, 2018).

A ANAEEL também criou o conceito de “geração compartilhada de energia”, permitindo que múltiplas partes se associem a um consórcio ou cooperativa, instalem micro ou pequena geração distribuída e usem a energia gerada para reduzir o faturamento de consorciados ou cooperativas. Em relação aos procedimentos necessários para conectar a micro ou minigeração distribuída à rede da distribuidora, a ANEEL estabeleceu regras para simplificar o processo: foi desenvolvido um formulário padrão para os consumidores solicitarem direitos de acesso e um prazo total para as distribuidoras se conectarem. O prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW (anteriormente 82 dias) foi reduzido para 34 dias. Além disso, a partir de janeiro de 2017, os consumidores poderão fazer pedidos aos distribuidores pela Internet e acompanhar o andamento dos pedidos (ANAEEL, 2018).

De acordo com a ANAEEL (2018), caso a energia injetada na rede seja superior à energia consumida, será criado um “crédito de energia”, que não pode ser compensado em dinheiro, mas pode ser utilizado para reduzir o consumo de outras unidades nos próximos meses ou na unidade (desde que todas as unidades estejam na mesma área de concessão) e o período de validade é de 60 meses.

Os consumidores são responsáveis pela instalação de micro ou minigeração distribuída - a ANEEL não determinará o custo do gerador ou quaisquer condições de financiamento. Portanto, os consumidores devem analisar a relação custo / benefício da instalação de geradores com base

em diversas variáveis: o tipo de energia (painéis solares, turbinas eólicas, geradores de biomassa, etc.), tecnologia do equipamento, tamanho da unidade consumidora e equipamentos de geração de energia, Localização (rural ou urbana), o preço da eletricidade do usuário de eletricidade, as condições de pagamento / financiamento do projeto e a existência de outros usuários de eletricidade que podem se beneficiar do crédito do sistema de compensação de energia (ANAEEL, 2018).

A ANAEEL (2018) ressalta que é importante que as unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Já para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A), a parcela de energia da fatura poderá ser zerada (caso a quantidade de energia injetada ao longo do mês seja maior ou igual à quantidade de energia consumida), sendo que a parcela da fatura correspondente à demanda contratada será faturada normalmente.

- COPEL NTC 905200 – Acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema da Copel. Emitida em fevereiro/2014 e revisada em agosto/2014. – Para os casos em que a unidade geradora seja atendida pela Copel Distribuição S.A.

A NTC (Norma Técnica Copel) trata do acesso à micro e microgeração de energia distribuída pelo sistema, principalmente da Copel. Os regulamentos específicos incluem requisitos técnicos, disposições de conexão e especificações de equipamento dos requisitos gerais de conexão ao sistema de medição (WAENDA; PINTO, 2016).

- ABNT NBR 5410:2005 – Instalações elétricas de baixa tensão. Válida a partir de 31/03/2005

O objetivo desta norma é estabelecer condições para implantação de instalações elétricas de baixa tensão em diversos aspectos. Porém, eles se destacam nos itens 6.4.1 a 6.4.7 envolvendo questões de aterramento (WAENDA; PINTO, 2016).

- ABNT NBR 5419:2005 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Válida

Esta norma descreve a definição, características gerais e específicas e inspeções de sistemas de proteção contra raios SPDA - Sistemas de Proteção contra Descarga Atmosférica (WAENDA; PINTO, 2016).

4.9 Viabilidade Econômica e Financeira de Projetos

O custo inicial de instalação e captação de projetos de energia solar é bastante elevado e se faz necessário prever e analisar a viabilidade econômica e financeira da implantação desse tipo de projeto. O estudo de viabilidade do projeto fornece uma estimativa do valor agregado ao negócio da empresa ou do indivíduo, com seu retorno através do tempo (DE SOUZA JÚNIOR et al., 2019).

Hirschfeld (2009) explicou que, para manter a viabilidade, os benefícios resultantes do investimento devem ser maiores que os custos aplicados.

De acordo com Miranda (2014), para realizar um estudo de viabilidade de todo o sistema fotovoltaico é necessário recorrer sempre à legislação implementada no local. Afinal, uma vez que uma análise econômica representa os benefícios financeiros do projeto, deve-se sempre entender a compensação legalmente exigida, aplicável à escala da planta fotovoltaica em estudo.

Os principais indicadores econômicos usados para a análise do projeto são o fluxo de caixa, o retorno sobre o investimento (Payback), amortização, VPL (valor presente líquido) e TIR (taxa interna de retorno).

A) Fluxo de Caixa

Para iniciar a análise de investimento, o primeiro passo é determinar o fluxo de caixa, que representa os valores de entrada e saída durante a vida (ou período de análise) do sistema fotovoltaico. Em termos de investimento, é necessário converter o valor de todas as transações para o valor da mesma data. Assim, eles podem ser comparados (CASARIN, 2019).

Segundo Casarin (2019), a técnica que converte todo o valor futuro para a data de início do investimento é chamada de Valor Presente. Em alguns casos, é necessário comparar o valor do investimento no final do período da aplicação. Esta conversão é denominada Valor Futuro.

B) Amortização

A amortização é um processo de liquidação de dívidas, neste caso, é o investimento inicial realizado com a implantação de equipamentos de microgeração, cujo método consiste em quitar a dívida com o pagamento dos lucros decorrentes da geração de energia. Existem vários sistemas de amortização (pagamento único, variável, Americano, SAC, PRICE, etc.) (MIRANDA, 2014).

Para a análise, usaremos o sistema SAC (sistema de amortização constante), no qual consideraremos os juros da poupança, a taxa de inflação e a taxa de juros Selic separadamente dos juros que representam o montante do investimento implementado.

$$D_n = D_{n-1} - Amortização_{n-1},$$

$$Amortização_n = (R_n - C_n) - D_n \cdot i,$$

Onde:

n: Ano referência;

D_n: Dívida Restante do ano referência;

R: Receita (valor anual);

i: Taxa de juros a ser considerada.

C) Payback

O payback é o período de tempo necessário para obter todos os retornos do investimento em qualquer aplicação. O termo é amplamente utilizado em aplicações de eficiência elétrica e energética para analisar sua viabilidade econômica. Embora seja um método analítico geral, é extremamente limitado. Este indicador não considera riscos, correções cambiais ou financiamentos. É o valor do lucro líquido igual ao valor investido no investimento analisado (MIRANDA, 2014).

Famá e Bruni (2003) apontam que este é um método simples, conveniente e direto para estimar o prazo de retorno e não utiliza o custo de capital do investimento. Para obter um retorno de investimento simples em um projeto de investimento, basta verificar o tempo necessário para que o saldo do investimento seja igual a zero.

Em razão do custo de capital não utilizado, a soma do saldo do investimento é derivada do valor nominal para comprovar a viabilidade do projeto com base no “retorno”, que deve ser inferior ao período de retorno do investimento. Quando o valor do período de retorno é igual ao período de recuperação, a aceitação do projeto será diferente; se o período de retorno for maior que o período de retorno, o projeto não será viável e não deve ser aceito (DE SOUZA JÚNIOR et al., 2019).

Cherobim, Lemes e Rigo (2017) abordam em seus estudos que o Payback descontado é um método de análise que pode mostrar o tempo necessário para recuperar o investimento inicial. Os autores afirmam que este método leva em consideração o valor monetário do tempo, pois utiliza

uma taxa de desconto para verificar o número exato de ciclos em que o projeto pode recuperar o valor inicial do investimento.

Normalmente, a taxa de desconto utilizada é a taxa mínima de atratividade, que é determinada pelo próprio investidor como parâmetro de seu retorno de capital. Por se tratar de um método muito simples, recomenda-se o uso de Payback descontado na análise de investimentos, complementados por outros indicadores, como valor presente líquido ou taxa interna de retorno (DE SOUZA JÚNIOR et al., 2019).

A seguir tem-se a fórmula para se calcular o Payback.

$$\text{Payback} = n, \text{ tal que } \sum_{t=0}^n FC_n = I_o ,$$

Onde:

n: número de anos;

I_o: Investimento Inicial;

R: Receita (valor anual);

FC_n: Fluxo de Caixa do ano referência (R_n).

D) Valor presente líquido – VPL

O valor presente líquido (VPL) é o critério mais comumente usado na análise de investimentos, que visa quantificar o valor da riqueza que um projeto irá gerar com seu valor atual. É necessário conhecer a taxa de juros para trazer o valor do dinheiro no tempo a valor presente (CASARIN, 2019).

De acordo com Casarin (2019), a análise consiste em trazer todas as entradas e saídas futuras a valor presente, no decorrer da vida útil do projeto e deduzir do valor do investimento. Logo, quando o VPL for positivo no valor atual, significa que o investimento gera riqueza. Se o valor for zero, é considerado irrelevante para o investimento. Finalmente, para valores negativos, isso significa que a riqueza foi perdida e o valor destruído.

O valor presente líquido de um investimento é a soma de todos os fluxos de investimento até o valor presente (no início do projeto), portanto, pode ser calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_n}{(1+i)^n} = -I_o + (R - C) \cdot \left(\frac{1-a^n-1}{a \cdot (a+1)^n} \right) ,$$

Onde:

n: Número de anos;
Io: Investimento Inicial;
R: Receita (valor anual);
C: Custos (manutenção);
a: Taxa de juros a ser considerada;
FCn: Fluxo de caixa do ano referência ($R_n - C_n$).

De acordo com a análise de Famá e Bruni (2003), o cálculo VPL é importante porque este método leva em consideração todos os fluxos de caixa gerados pelo projeto além do custo de capital. Além do mais, outra vantagem do VPL é que o custo de capital implica o custo de risco inerente.

É importante ressaltar que o VPL é o método de análise de investimento em projetos mais comumente utilizado por profissionais da área financeira, pois pode facilitar a compreensão dos resultados (ABREU FILHO et al., 2003).

E) Taxa interna de retorno – TIR

Conforme Miranda (2014), a TIR representa um tributo e, se for usada como taxa de desconto, obtém-se o $VPL = 0$ (O lucro líquido pagaria o investimento inicial na vida útil do projeto). Tendo em conta o risco de cada investimento acrescido de taxas de juro atrativas, a aceitação de projetos através da TIR também é efetuada através da TMA (taxa mínima atrativa).

Para cada TMA, o valor do VPL pode ser positivo, zero ou negativo. A taxa interna de retorno (TIR) é obtida a partir do VPL, de modo que $VPL=0$ e $i=TIR$. Por definição, a TIR é a taxa na qual o VPL é nulo. Por meio desse método de análise, é viável investir quando a TIR for maior ou igual a TMA, ou seja, nesta análise, maior ou menor do que a proporção de investimento de renda fixa no tesouro direto do país, que é um investimento muito comum hoje (CASARIN, 2019).

Para avaliar a proposta de investimento, através do cálculo da TIR, é necessário conhecer o dispêndio de capital e o fluxo de caixa líquido gerado pela decisão. A taxa interna de retorno expressará a rentabilidade do projeto em termos de taxas de juros (ASSAF NETO, 2003).

A fórmula que se calcula a TIR é a seguinte:

$$0 = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC_t}{(1 + Tir)^n}$$

Onde:

TIR: Taxa interna de retorno;

FCt: Fluxo de caixa líquido no momento n;

n: duração do projeto.

Desta forma, De Souza Júnior et al. (2019), apresenta em seus estudos que a TIR caracteriza a taxa de remuneração do capital investido, pois, representa a taxa de juros para a qual o valor presente das entradas de caixa resultantes do projeto iguala o valor presente dos desembolsos do mesmo.

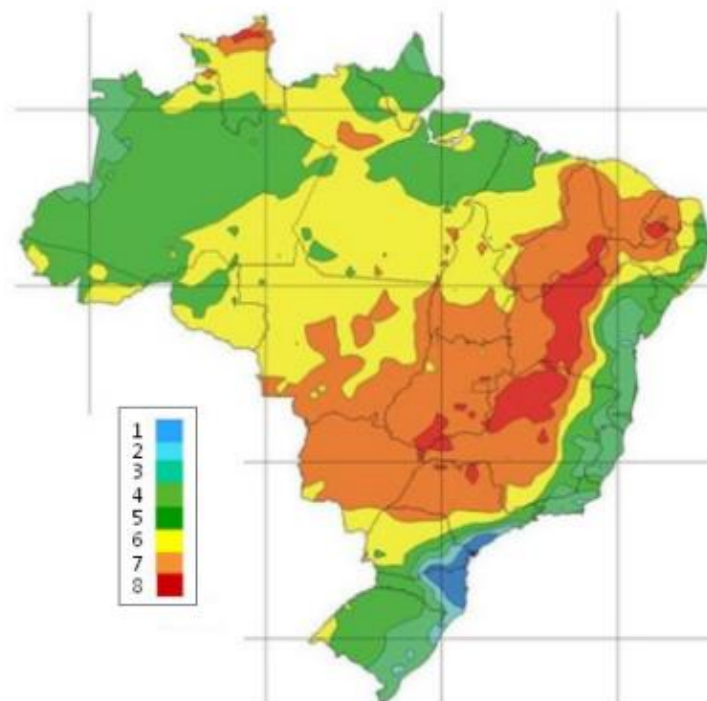
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Potencial Nacional de Energia Solar

Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar), até janeiro de 2020, a capacidade instalada de geração distribuída de energia (GD) no Brasil atingiu o número 2 GW (gigawatts). Ainda assim, Absolar afirma que o total inclui microgeração e minigeração distribuída, incluindo residências e indústrias, instituições comerciais, propriedades rurais, serviços públicos e pequenas terras. Isso significa que a fonte de energia solar fotovoltaica representou 99,8% das instalações de GD (geração distribuída) total do país, totalizando mais de 171 mil sistemas fotovoltaicos on-grid (conectados à rede), com um investimento de mais de 10 bilhões de reais desde 2012, nas cinco regiões do território nacional (PORTAL SOLAR, 2021).

A Figura 38 mostra o mapa de irradiância global do plano inclinado, baseado no Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006) onde as cores indicam oito níveis de irradiação diferentes.

Figura 38: Irradiação solar do Brasil para o plano inclinado



Fonte: Adaptado do Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2006

Avaliar o potencial dos recursos de energia solar em uma região envolve basicamente três componentes: distribuição espacial, sua variabilidade temporal e a incerteza associada aos dois primeiros componentes. Essas três partes são essenciais para especificar cenários de aplicação e conduzir pesquisas preliminares de viabilidade de aproveitamento de energia solar (PEREIRA *et al.*, 2017).

A produtividade expressa em Wh/Wp/ano produz um coeficiente de capacidade, que é um parâmetro básico para a análise da competitividade da geração solar fotovoltaica. Depende do índice de radiação solar, o que significa que o índice de radiação solar é diferente para as diferentes partes do país (EPE, N. T. 2012).

De acordo com o mapa apresentado na Figura 38, as áreas de maior irradiação solar são as áreas 5 a 8, nas quais a produtividade média varia entre 1.260 e 1.420Wh/Wp/ano, o que significa um fator de capacidade médio entre 14,4% e 16,2%, conforme indicado na Tabela 3.

Tabela 3: Produtividade média específica da geração fotovoltaica em áreas selecionadas do território brasileiro

Área	Produtividade Média Wh/Wp/ano)	Fator de capacidade médio (1)
5	1260	14,4%
6	1320	15,1%
7	1370	15,6%
8	1420	16,2%

(1) Tomando como referência 8.760 horas por ano

Fonte: Adaptado de EPE, N. T. (2012).

Conforme proposto por EPE, N. T. (2012) o modelo usado para calcular a geração de energia solar fotovoltaica de cada nível foi o PVWATTS, do National Renewable Energy Laboratory – NREL, que é uma entidade afiliada ao Departamento de Energia dos EUA (DoE), serve como a produtividade média da cidade em cada nível de radiação. Deve-se notar que dentro de cada região, haverá alguns locais cujos valores são maiores e menores do que o valor médio de uma determinada região do país. Portanto, os resultados quantitativos para geração de energia distribuída mostrados

nesta descrição técnica podem ser considerados como valores médios, mas não são necessariamente aplicáveis a locais e situações específicas.

De maneira geral, o território brasileiro possui grande potencial de captação de energia solar. Em contrapartida, por sua localização mais próxima do Equador, a região com maior taxa de utilização de energia é o Nordeste, seguido pelo Centro-Oeste e Sudeste e por último a região Norte. (EPE, N. T. 2012).

A Tabela 4 apresenta os principais estados com capacidade instalada (kW) em geração distribuída.

Tabela 4: Estados com maior capacidade instalada (kW) em geração distribuída.

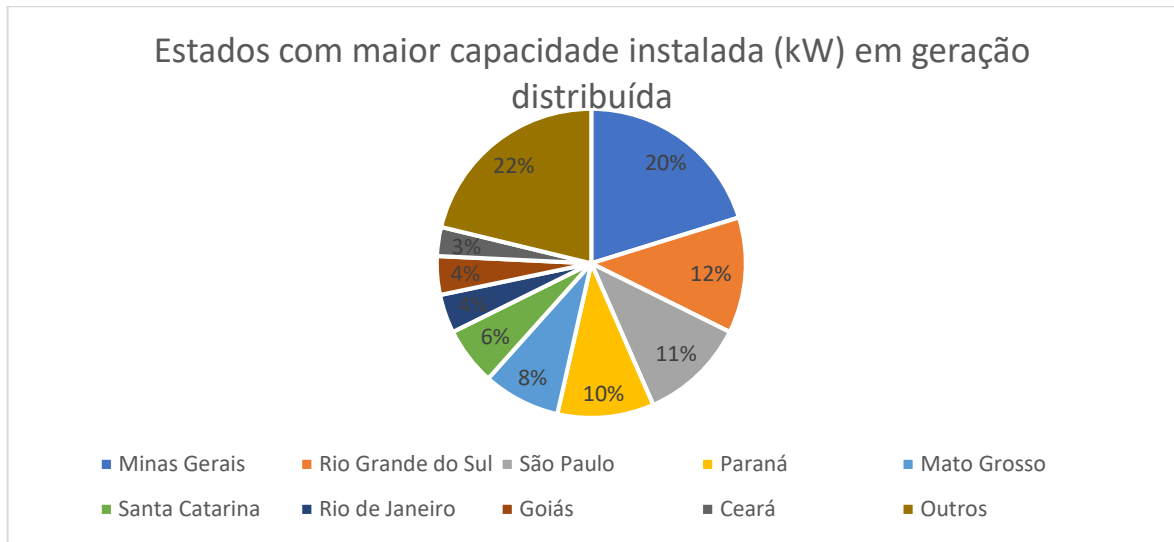
Estado	Potência
Minas Gerais	453.868
Rio Grande do Sul	276.812
São Paulo	253.256
Paraná	215.086
Mato Grosso	176.644
Santa Catarina	132.948
Rio de Janeiro	88.637
Goiás	83.781
Ceará	78.033
Outros	475.618

Fonte: Adaptado de Aneel, 2020.

Com o objetivo de acompanhar de perto o desenvolvimento da microgeração e da minigeração distribuída de energia solar fotovoltaica nos estados brasileiros, a ABSOLAR desenvolveu o "Ranking Nacional Solar Fotovoltaico", que compara a potência instalada por diversos departamentos federais.

No gráfico 1, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo e Paraná mantiveram as primeiras posições no ranking, enquanto Mato Grosso subiu para a quinta posição, ultrapassando Santa Catarina, que passou para o sexto lugar.

Gráfico 1: Estados com maior capacidade instalada (kW) em geração distribuída.



Fonte: Elaboração da própria autora.

O estado de Minas Gerais se destaca por dois fatores: irradiação favorável e políticas públicas de incentivo único. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), a unidade federal está localizada no chamado "cinturão solar", que é a região com maiores irradiâncias do país. Segundo a MG 22.549 / 2017, a compensação na conta do consumidor está isenta do recolhimento de ICMS, ou seja, a compensação ao consumidor inclui créditos de energia incluindo impostos (NETO *et al.* 2020).

Tendo em vista a relevância da categoria residencial, seja no mercado de produtos de consumo no Brasil ou no mercado de GD (Geração Distribuída), bem como a representatividade mineira, analisar a potência instalada e a adoção de políticas públicas que favoreçam a energia fotovoltaica considerando as possíveis alterações da REN 482, verifica-se que a viabilidade do mercado afetou a sua situação econômico-financeira (NETO *et al.* 2020).

5.2 Exemplos de Geração Distribuída no Brasil

5.2.1 Minas Gerais

O Brasil é um país com grande potencial para a energia solar, e Minas Gerais é um estado que faz pleno uso dessa energia renovável. Minas Gerais sempre se destacou na chamada geração distribuída de energia fotovoltaica. O estado possui o maior número de micro e mini usinas solares instaladas na cobertura de residências e empresas (PORTAL SOLAR, 2016).

Minas Gerais está localizado na região Sudeste do Brasil e sua capital é Belo Horizonte. O Estado possui 853 municípios, o que faz dele o estado brasileiro com o maior número de municípios (BEZERRA, 2020).

A figura 39 mostra o mapa de Minas Gerais

Figura 39: Mapa de Minas Gerais



Fonte: Geografia na Internet: www.geogeral.com/ (2006).

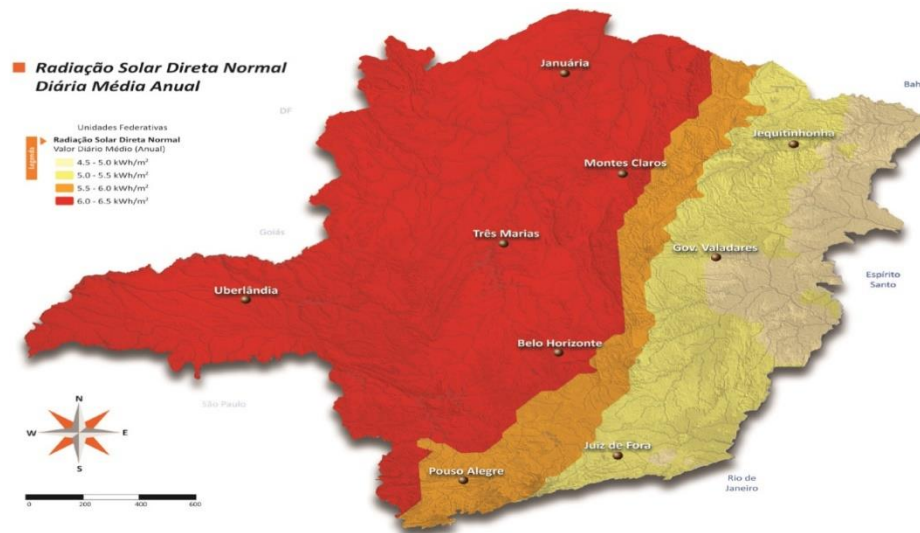
Conforme o Canal – Jornal da Bioenergia (2021), o estado de Minas Gerais lidera o ranking da geração solar distribuída no Brasil e superou recentemente a marca de 800 megawatts (MW) instalados em telhados, fachadas e pequenos terrenos de residências, comércios, indústrias, propriedades rurais e prédios públicos do território mineiro, segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). Segundo a entidade, só Minas Gerais responde por 19,6% do total da capacidade instalada de energia solar distribuída.

No total, Minas Gerais possui mais de 68.000 conexões operacionais, cobrindo aproximadamente 98% das 853 cidades da região. Ou seja, quase não há local no Estado de Minas onde não funcione pelo menos um sistema fotovoltaico. Atualmente, além de mais liberdade de escolha, previsibilidade e proteção contra reajustes de preços de energia elétrica, cerca de 96 mil

consumidores de energia elétrica reduziram suas contas de energia elétrica (JORNAL DA BIOENERGIA, 2021).

A figura 40, desenvolvida pelo governo de Minas Gerais em cooperação com a CEMIG, mostra o índice médio de radiação solar de todo o território mineiro.

Figura 40: Radiação Solar Médio Diário de Energia Solar no Estado de Minas Gerais.



Fonte: Atlas Solarimétrico de Minas Gerais

A radiação solar na maioria das áreas de MG é tão alta quanto a radiação solar do Nordeste do Brasil, ou seja, a radiação solar de Belo Horizonte e de outras cidades de Minas Gerais tem grande potencial e vale a pena explorar. O potencial de geração de energia solar fotovoltaica de BH no seu pior dia de ocorrência é melhor do que no melhor dia de produção solar Alemanha. A Alemanha possui energia solar fotovoltaica para suprir todo o consumo de eletricidade de MG, e ainda mantê-la (PORTAL SOLAR, 2015).

A figura 41 mostra a Usina solar instalada no estádio Mineirão de Belo Horizonte. Conforme Portal solar (2015), a usina solar fotovoltaica foi construída pela Companhia de Energia Elétrica de Minas Gerais (Cemig) em cooperação com o banco alemão KfW e a Minas Arena, administradora do Mineirão. Todos os equipamentos estão instalados na cobertura do estádio, ocupando uma área de 11,5 mil m². A capacidade total instalada dos 6.000 painéis solares é de 1,42

MWp, o suficiente para abastecer 1.200 residências em Belo Horizonte. O torcedor não consegue ver a estrutura de todo o sistema e respeitar a arquitetura do estádio, que é um patrimônio histórico.

Figura 41: Usina solar no Mineirão em Belo Horizonte



Fonte: Portal solar (2015).

4.2.1.1 Estudo de Caso: Um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG.

O estudo de caso apresentado faz parte de um estudo realizado por Santos *et al.* (2016), onde teve por objetivo analisar a viabilidade econômica de um projeto de geração de energia solar por meio de painéis fotovoltaicos (painéis fotovoltaicos, conversores, chaves, etc.) ligados a rede da concessionária responsável pelo fornecimento CEMIG, em uma área residencial do bairro Iguaçu, na cidade de Ipatinga, no interior de Minas Gerais.

Na primeira parte do estudo foi coletado dados sobre o consumo de energia elétrica de uma residência localizada no bairro Iguaçu, município de Ipatinga, no estado de Minas Gerais e o valor pago nos últimos 12 meses de fornecimento de eletricidade da concessionária CEMIG. Além disso, os dados obtidos na fatura foram agregados em uma tabela que cobre o mês de consumo, o KWh total utilizado, o preço efetivo da eletricidade por KWh (incluindo impostos) e o valor total da fatura do serviço (SANTOS *et al.*, 2016).

Considerando os últimos 12 meses (junho de 2014 a maio de 2015), a residência em estudo contém 2 moradores com um consumo médio mensal de 138 kWh, tendo em conta os últimos 5 meses (janeiro a maio de 2015), o custo médio é 119,23 reais. No cálculo do custo, foram levados em consideração os cinco últimos meses, em função do aumento da tarifa de energia elétrica cobrada pela concessionária responsável pelo fornecimento de energia elétrica, o valor será reajustado para uma estimativa mais próxima da situação futura (SANTOS *et al.*, 2016).

Dessa forma, foram coletados os dados das contas do consumidor das últimas 12 contas (junho de 2014 a maio de 2015) emitidas pela CEMIG, conforme tabela a seguir:

Tabela 5: Dados de consumo e custo com energia elétrica da residência

MÊS	CONSUMO KWH/MÊS	VALOR KWH (COM IMPOSTO)	CUSTO CONTA/MÊS
JUNHO DE 2014	126	0,6078	R\$ 87,95
JULHO 2014	129	0,6101	R\$ 90,06
AGOSTO 2014	140	0,5892	R\$ 93,86
SETEMBRO 2014	133	0,6015	R\$ 91,38
OUTUBRO 2014	107	0,6008	R\$ 75,66
NOVEMBRO 2014	176	0,6101	R\$ 117,67
DEZEMBRO 2014	157	0,5981	R\$ 103,69
JANEIRO 2015	138	0,6463	R\$ 101,42
FEVEREIRO 2015	153	0,6461	R\$ 111,10
MARÇO 2015	139	0,7896	R\$ 126,31
ABRIL 2015	144	0,8358	R\$ 138,38
MAIO 2015	116	0,8700	R\$ 118,93
Média	138,16		R\$ 104,70

Fonte: Dados da conta de Luz do consumidor emitido pela CEMIG (adaptado)

Pode-se observar na Tabela 5 que desde janeiro de 2015, o número de KWh pagos começou a aumentar, passando de 0,5981 reais em dezembro de 2014 para 0,66463 reais em janeiro de 2015, e até maio de 2015 para chegar a R\$ 0,8700, o valor das tarifas pagas (impostos incluídos) aumentou cerca de 45,47%. Além disso, desde janeiro de 2015, o sistema tarifário de bandeira (verde, amarelo e vermelho), aumentando ainda mais o custo dos usuários de eletricidade (SANTOS *et al.*, 2016).

Conforme Santos *et al.*, 2016, na tabela também foi realizado o cálculo do consumo médio de KWh / mês, atingindo 138,16 KWh / mês, e também calculou o valor médio do custo total dos serviços de fornecimento de energia, atingindo o valor de R \$ 104,70. No entanto, para a pesquisa envolvida, foi usado para cálculo das ferramentas de análise de investimento, a média dos últimos cinco meses que representa o aumento dos custos globais. Portanto, o valor médio de janeiro de 2015 a maio de 2015 é de R \$ 119,23.

Para fazer o estudo de viabilidade econômica de instalação de sistemas de energia fotovoltaica, Santos *et al.*, (2016) utilizou os métodos praticados pela maioria dos profissionais da área da economia e gestão financeira. No estudo foi usado o payback simples, a TIR e o VPL para análise de investimento do projeto em questão, levando em consideração uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) que foi baseada nos ganhos de uma aplicação financeira.

De acordo com Santos *et al.*, (2016), para analisar o retorno do investimento do projeto, é necessário utilizar uma tabela que mostra a depreciação do valor do investimento x o valor economizado na conta de luz. Para um melhor entendimento, o estudo apresentou o fluxo de caixa do período durante a operação do projeto. O custo dos equipamentos completos (equipamentos, instalação, adequação da rede) do sistema fotovoltaico foi estimado em R\$ 10.841,00 (usando o simulador do portal solar), e o valor de manutenção por 25 anos é de R \$ 6.000. 00, o investimento total é de R \$ 16.841,00. O prazo de 25 anos do projeto refere-se à garantia do fabricante do painel fotovoltaico, ou seja, os componentes que compõem o painel irão aumentar o custo do sistema, e é garantido o funcionamento por pelo menos 25 anos (conforme garantido pelo fabricante). O fluxo de caixa anual será a média dos últimos cinco meses que a CEMIG gastou com fornecimento de energia elétrica (de janeiro de 2015 a maio de 2015, gerando 119,23 reais) multiplicada por 12 meses. A tabela a seguir usará o sistema de payback simples:

De acordo com os dados da Tabela 6, o retorno do investimento do projeto de instalação se dá no 12º ano, ou seja, o projeto só receberá o retorno do investimento no 12º ano após a instalação.

Após esse período, pode-se calcular que o valor remanescente do próximo fluxo de caixa trará lucro aos investidores, ou seja, ao final de 25 anos, a implantação do sistema renderá R \$ 18.909,00. No entanto, apenas a análise do período de payback simples não fornece condições para aceitação do projeto, pois não considera o valor monetário durante o período do projeto. Portanto, o próximo passo foi realizar uma análise de investimento, considerando o valor dos recursos com 25 anos na aplicação do projeto (SANTOS *et al.*, 2016).

Tabela 6: Fluxo de caixa e Payback

	Valor Investimento no Projeto (25 anos)	Fluxo de caixa	Payback
Ano 0	-R\$ 16.841,00		
Ano 1		R\$ 1.430,00	- R\$ 15.411,00
Ano 2		R\$ 1.430,00	- R\$ 13.981,00
Ano 3		R\$ 1.430,00	- R\$ 12.551,00
Ano 4		R\$ 1.430,00	- R\$ 11.121,00
Ano 5		R\$ 1.430,00	- R\$ 9.691,00
Ano 6		R\$ 1.430,00	- R\$ 8.261,00
Ano 7		R\$ 1.430,00	- R\$ 6.831,00
Ano 8		R\$ 1.430,00	- R\$ 5.401,00
Ano 9		R\$ 1.430,00	- R\$ 3.971,00
Ano 10		R\$ 1.430,00	- R\$ 2.541,00
Ano 11		R\$ 1.430,00	- R\$ 1.111,00
Ano 12		R\$ 1.430,00	R\$ 319,00
Ano 13		R\$ 1.430,00	R\$ 1.749,00
Ano 14		R\$ 1.430,00	R\$ 3.179,00
Ano 15		R\$ 1.430,00	R\$ 4.609,00
Ano 16		R\$ 1.430,00	R\$ 6.039,00
Ano 17		R\$ 1.430,00	R\$ 7.469,00
Ano 18		R\$ 1.430,00	R\$ 8.899,00
Ano 19		R\$ 1.430,00	R\$ 10.329,00
Ano 20		R\$ 1.430,00	R\$ 11.759,00
Ano 21		R\$ 1.430,00	R\$ 13.189,00
Ano 22		R\$ 1.430,00	R\$ 14.619,00
Ano 23		R\$ 1.430,00	R\$ 16.049,00
Ano 24		R\$ 1.430,00	R\$ 17.479,00
Ano 25		R\$ 1.430,00	R\$ 18.909,00

Fonte: (SANTOS *et al.*, 2016)

Por esse motivo, o cálculo do VPL e da TIR permitirá decidir se será aceito ou não o projeto. Portanto, de acordo com Macedo (2014, p.63), a fórmula do VPL é:

$$VPL = -CF_0 + \sum \frac{CF_j}{(1+i)^n}$$

Na fórmula do VPL, o fluxo de caixa inicial (-CF₀) representa o investimento inicial do projeto, é, portanto, negativo, seguido pela soma dos fluxos de caixa (CF_j), descontado de acordo com o período de aplicação até a linha do período zero. Portanto, o VPL será apurado por meio do fluxo de caixa inicial - R\$ 16.841,00 mais o somatório de R \$ 1.430,00 descontando a taxa de 7,39% para 25 períodos (25 anos). Após o cálculo, o VPL atingiu o valor de -R\$ 745,86, o que significa que o projeto não é viável, o VPL deve ter um valor positivo, para que ele seja aceito, ou seja, VPL > 0 (SANTOS *et al.*, 2016).

Seguindo com a análise, a fórmula utilizada para obter o valor da TIR é representada pela seguinte equação:

$$CF_0 \sum \frac{CF_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

Onde:

TIR = Taxa Interna de Retorno

CF = Fluxo de Caixa

n = Período do movimento no Fluxo de caixa

Portanto, o fluxo de caixa inicial é de -R\$ 16.841,00, seguido pelo fluxo de caixa de R\$ 1.430,00 para 25 períodos (25 anos). Por fim, o valor do TIR foi de 6,88%, portanto, foi inferior à taxa de atratividade de investimento estabelecida de 7,39%, levando ao insucesso do projeto relacionado (SANTOS *et al.*, 2016).

Nesse estudo elaborado pelos autores Santos, Souza e Dalfior (2016), foi possível verificar que a instalação de sistemas de geração de energia fotovoltaica é uma oportunidade de investimento que irá gerar benefícios ao longo do tempo. Porém, no estudo citado anteriormente, mesmo que o

retorno seja alcançado em 12 anos e o caixa seja gerado nos próximos 18.909,00 reais, o projeto torna-se inviável considerando o valor do dinheiro ao longo tempo porque o indicador não atinge o valor mínimo determinado como VPL, mínimo atingiu um valor negativo de -R\$ 745,86 e TIR, resultando em um valor de 6,8% em detrimento da taxa de atratividade estabelecida de 7,39%, ou seja, investir na aplicação financeira é melhor do que instalar sistema de geração de energia Fotovoltaico. Por outro lado, como o valor esperado não foi atingido, o projeto não pode ser totalmente abandonado, pois com o passar do tempo, o aumento dos impostos e taxas relacionadas ao fornecimento de energia tende a ocorrer em uma determinada frequência, às vezes mais do que o normal estabelecido pelas agências controladoras.

Na pesquisa os autores Santos, Souza e Dalfior (2016), fizeram algumas recomendações sobre o projeto, listadas a seguir:

- No estudo, se levou em consideração primordialmente aspectos econômicos do projeto, visto que, nos tempos atuais este recurso se torna cada vez mais escasso. Todavia, a abordagem de outros fatores pode levar a viabilizar o projeto com o propósito de se analisar o contexto geral vivido.
- Certamente, ao se pensar em desenvolvimento sustentável ou no risco de ocorrer racionamento de energia pode contribuir para uma análise mais abrangente sobre o investimento no projeto e uma nova avaliação do risco no atual cenário vivenciado no país, tornando o projeto atrativo.
- O valor obtido com o investimento se aproxima do valor apurado para tornar o projeto aceitável. Qualquer aumento nos próximos meses pode alterar a aceitação do projeto.
- Para consumidores com alto custo de energia elétrica, o projeto já é viável, mas por questões técnicas, como a localização do imóvel, o espaço da placa de instalação e a distância de conexão com o franqueado, é impossível analisá-lo apenas a partir de do ponto de vista econômico. A rede da concessionária é um elemento que altera substancialmente o custo de um sistema fotovoltaico.
- Portanto, não há como excluir incentivos do governo para expandir o uso de sistemas de energia solar por meio de painéis fotovoltaicos, como isenções fiscais, incentivos de crédito e mudanças legislativas para viabilizar novos negócio.

5.2.2 Rio Grande do Sul

O Rio Grande do Sul é o nono maior estado do Brasil. O território cobre uma área de 281.737.888 km², correspondendo a mais de 3% do território brasileiro. Dividida em 497 cidades, tem 11,329 milhões de habitantes conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), correspondendo ao quinto estado mais populoso. Sua densidade demográfica é de 37,96 habitantes/km² (HAAG, 2018).

A figura 42 mostra o mapa do Rio Grande do Sul.

Figura 42: Mapa de localização do Estado do Rio Grande do Sul.



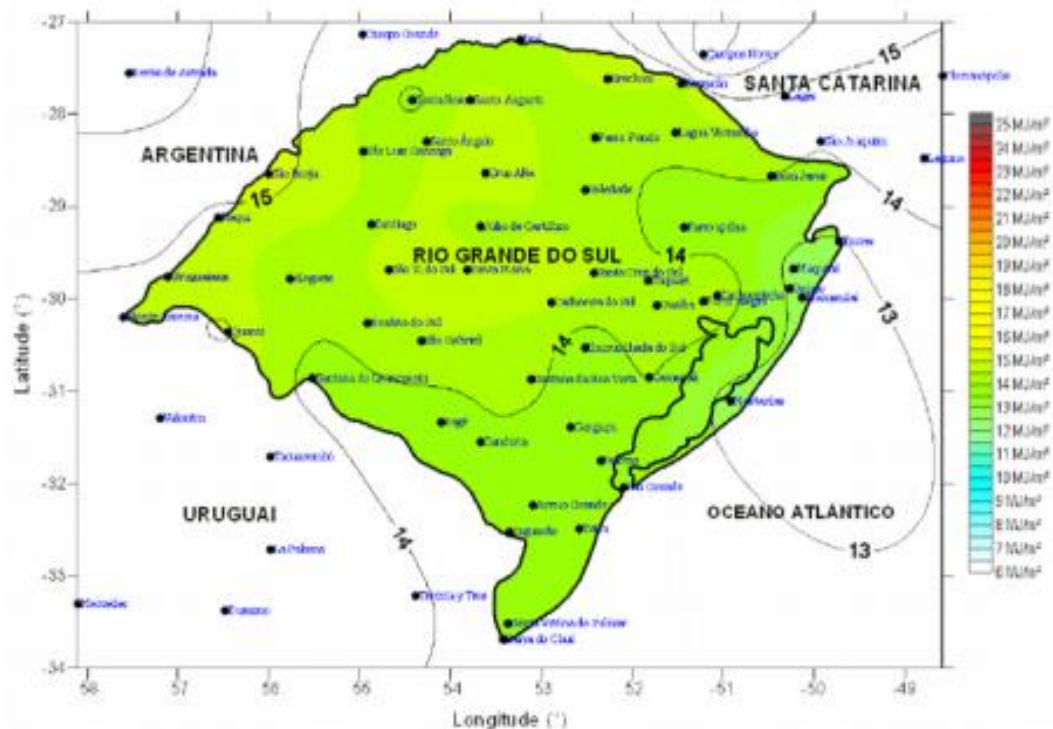
Fonte: Infoescola (2021).

O Rio Grande do Sul está em 2º lugar no ranking nacional em microgeração de energia solar, atrás apenas de Minas Gerais, que recentemente alcançou a marca de 600 MW. A posição inclui indústrias, comércios, empresas, casas, zonas e produtores rurais, bem como edifícios públicos.

Em 2004, Martinazzo coletou dados e forneceu mapas de 24 estações meteorológicas da FEPAGRO e do INMET do Rio Grande do Sul apresentando mapas mensais e anuais de insolação global horizontal e insolação para o estado. O banco de dados para confecção desses mapas é uma combinação de medidas obtidas por actinógrafos e heliógrafos do tipo CampbellStokes. Essas medidas fornecem apenas informações sobre o número de horas de sol em uma determinada data, ou seja, o período de tempo em que o disco solar não está coberto pelas nuvens (HAAG, 2018).

A Figura 43 mostra o mapa de radiação solar global horizontal média diária para o Rio Grande do Sul.

Figura 43: Mapa de radiação solar global horizontal média anual diária para Rio Grande do Sul.



Fonte: adaptado de Martinazzo, 2004.

A energia solar é gerada por meio de grandes usinas e pequenos sistemas instalados e conectados à rede. Porém, no método de geração distribuída, Rio Grande do Sul e Minas Gerais tornaram-se referências. O Rio Grande do Sul possui cerca de 4.000 sistemas com potência total

de 46.000 quilowatts. Seguindo os estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul está o estado de São Paulo, que possui uma capacidade de geração de energia distribuída de 37.000 kW (PORTAL SOLAR, 2018).

Conforme Haag (2018), desde a década de 1970, o Rio Grande do Sul tem desempenhado um papel importante no desenvolvimento solar do país quando surgiu o grupo de pesquisa da UFRGS na área de energia solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, hoje LABSOL (Laboratório de Energia Solar). O LABSOL formou mais de 60 mestres e doutores na área de energia solar e foi pioneira na implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, tendo instalado uma usina fotovoltaica de 4,8 kWp foi instalada em 2004, conforme mostrado na Figura 44.

Figura 44: Prédio do Laboratório de Energia Solar, LABSOL, da UFRGS.



Fonte: LABSOL, UFRGS (2004).

Conforme a figura 44, pode ser visto os módulos fotovoltaicos que integram o sistema conectado à rede de 4,8 kWp implantado no ano de 2004.

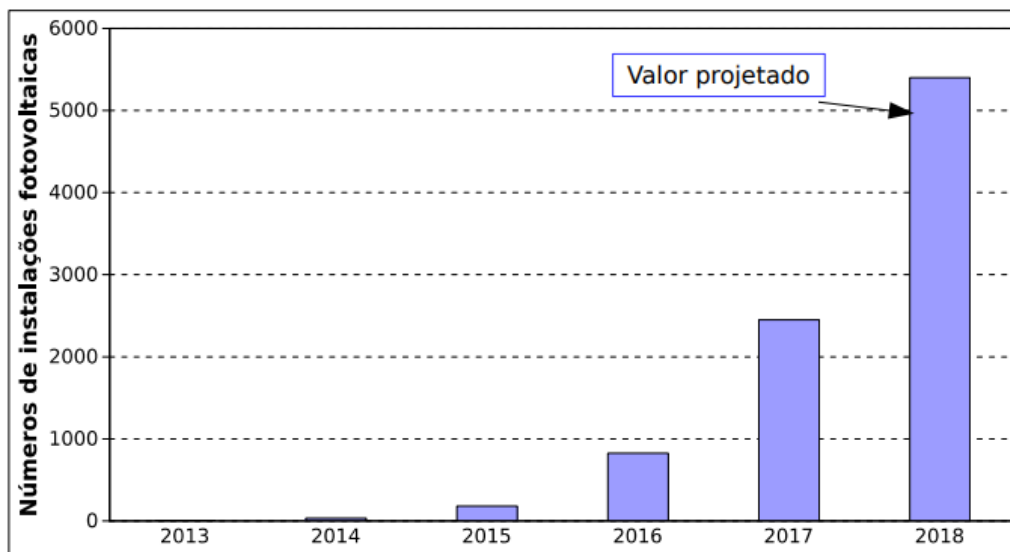
Ainda na PUC-RS de Porto Alegre, existe um núcleo de tecnologia de energia solar (NT-Solar), conforme convênio firmado em maio de 2004 de cooperação científica e tecnológica, foi

criado o Centro Brasileiro de Desenvolvimento de Energia Solar Fotovoltaica (CB-Solar). O CB Solar pesquisa e desenvolve baterias e módulos fotovoltaicos em linha pré-industrial em processos de fabricação de baterias de alta eficiência (17%) (HAAG, 2018).

O Rio Grande do Sul sempre desempenhou um papel importante desde a publicação da Resolução nº 482 da ANEEL que estabelece as condições gerais para o acesso da microgeração e microgeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia, o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012).

A figura 45 descreve o crescimento no número de instalações de micro e minigeração distribuída no Rio Grande do Sul desde a vigência da RN 482 da ANEEL.

Figura 45: Número acumulado de micro e minigeração distribuída no Rio Grande do Sul.



Fonte: Adaptado de ANEEL (2018).

De acordo com a figura 45, a taxa média de crescimento anual no período de 2013-2017, de novos dispositivos foi de 428%. Prevista pelo modelo de crescimento logístico, estimou-se que até o final de 2018, o Rio Grande do Sul teve mais de 5.400 unidades de microgeradores e microgeradores distribuídos.

Portanto, o Rio Grande do Sul possui um grande potencial de energia solar, tanto em termos de insolação quanto de radiação solar global média diária.

De acordo com o mapeamento da Associação Brasileira de Solar Fotovoltaica (Absolar, 2020), o Rio Grande do Sul ultrapassou a marca de 400 MW de operação para geração distribuída de energia (energia produzida pelos próprios consumidores, esse modelo está amplamente difundido no Brasil por meio de painéis fotovoltaicos). A capacidade é responsável por cerca de 10% da demanda média de eletricidade dos gaúchos.

Segundo o Jornal de economia e negócios do RS (2020), o Rio Grande do Sul possui atualmente 34.674 sistemas de energia solar em operação em imóveis residenciais, corporativos, industriais, rurais e prédios públicos. Eles atendem 41.852 consumidores em 493 cidades. Com isso, 99,4% dos municípios do estado já operam pelo menos um sistema solar fotovoltaico.

Segundo a Absolar (2020), a geração solar distribuída no Rio Grande do Sul responde hoje por 13,5% da potência total instalada no Brasil. Um dos destaques do Rio Grande do Sul é a cidade de Caxias do Sul, responsável por 15,4 MW de operação, ocupando a décima posição entre todas as cidades do país em geração distribuída de energia solar fotovoltaica.

4.2.2.1 Estudo de caso: Instalação de um sistema fotovoltaico uma residência na cidade de Caxias do Sul/RS

Todos os dados apresentados nesse tópico, são parte do estudo feito por PENNING (2019), que teve como objetivo realizar um estudo de caso, considerando quais os custos de instalação, período de retorno e vantagens para uma residência convencional localizada na cidade de Caxias do Sul/RS. O município de Caxias do Sul está localizado na Região Nordeste do estado do Rio Grande do Sul, com uma área de aproximadamente 1.588 km².

Os cálculos foram realizados com base em uma residência, cujo custo mensal é de aproximadamente 440 kW. Considerou-se a utilização de células fotovoltaicas do modelo monocristalina com potência de 250 W cada. A escolha pelas placas deve-se a facilidade de de sua localização no mercado e ao custo-benefício (PENNING (2019).

De acordo com Penning (2019), A eficiência média dos painéis fotovoltaicos com 250 W de potência é de 85%, especificado pelo fabricante. Por conseguinte, uma placa de 250 W pode fornecer cerca de 200 W. Usando a potência (W) indicada na fatura de energia elétrica, e levando em consideração o consumo médio mensal (kW / mês), o valor necessário de cerca de 2500 W foi obtido para 6 horas de insolação. Neste cálculo, foi considerado os dados de insolação mínimo e máximo para a cidade de Caxias do Sul. Tomando como base uma placa de 250 W, com capacidade

de gerar cerca de 36 kW de potência, equivalente a 85% de eficiência, devem ser instaladas 13 placas para suprir todo o consumo mensal da residência.

Para o cálculo do custo do sistema fotovoltaico foi considerado o valor médio de cada painel, e seu custo estimado é de R \$ 900,00. Portanto, o custo total dessas 13 placas é de aproximadamente R\$ 12.000,00. Para a instalação do sistema é necessário considerar o valor do inversor, fundamental para a conversão de corrente contínua (CC) em corrente alternada (AC). Nesse caso, basta instalar um inversor de 5000W. O custo médio desse tipo de inversor é de R\$ 3.000,00, não sendo considerados aqui os custos de suporte e instalação do sistema. Portanto, o custo total do sistema será de aproximadamente R \$ 15.000,00 (PENNING (2019)).

Segundo Penning (2019), para que o proprietário comece a colher retornos financeiros, o tempo estimado é cerca de 4 anos. Ressalta-se que neste estudo, trata-se de uma Microgeração de energia, no caso, o governo do Rio Grande do Sul (RS) estabelece total isenção do ICMS sobre qualquer excesso de energia que seja gerado e injetado na rede. Os usuários domésticos precisarão investir em medidores bidirecionais.

Os incentivos também abrangem a não incidência da alíquota de 30% do imposto produzidos em instalações residenciais e/ou comerciais quando se tratar de energias renováveis. Este desconto também se aplica a qualquer energia restante colocada no tanque de armazenamento, que permite aos consumidores que estão gerando eletricidade obter créditos que podem ser usados para o consumo em um prazo determinado pelo seu distribuidor (AMBIENTE ENERGIA, 2018).

5.2.3 São Paulo

São Paulo (SP) é um estado brasileiro localizado no sudeste do Brasil, fazendo fronteira com o Rio de Janeiro ao nordeste. Com Minas Gerais ao norte, Mato Grosso Sul ao oeste e Paraná ao sul. Nas regiões leste e sudeste, é banhada pelo Oceano Atlântico. Seu território é de 248.222 quilômetros quadrados, com aproximadamente 46.670.000 habitantes habitados, com uma densidade populacional total de 166 habitantes por quilômetro quadrado (PENA, 2020).

São Paulo é o estado mais populoso e rico economicamente do país, com o maior Produto Interno Bruto do Brasil. Possui muitas indústrias e atividades produtivas também diversificadas. Seu PIB é composto por intensa atividade industrial (46%), amplo desempenho do comércio e serviços (47%) e atividades agrícolas de alta tecnologia (7%) com relevância comercial (PENA, 2020).

A figura 46 mostra o mapa do estado de São Paulo.

Figura 46: O Estado de São Paulo



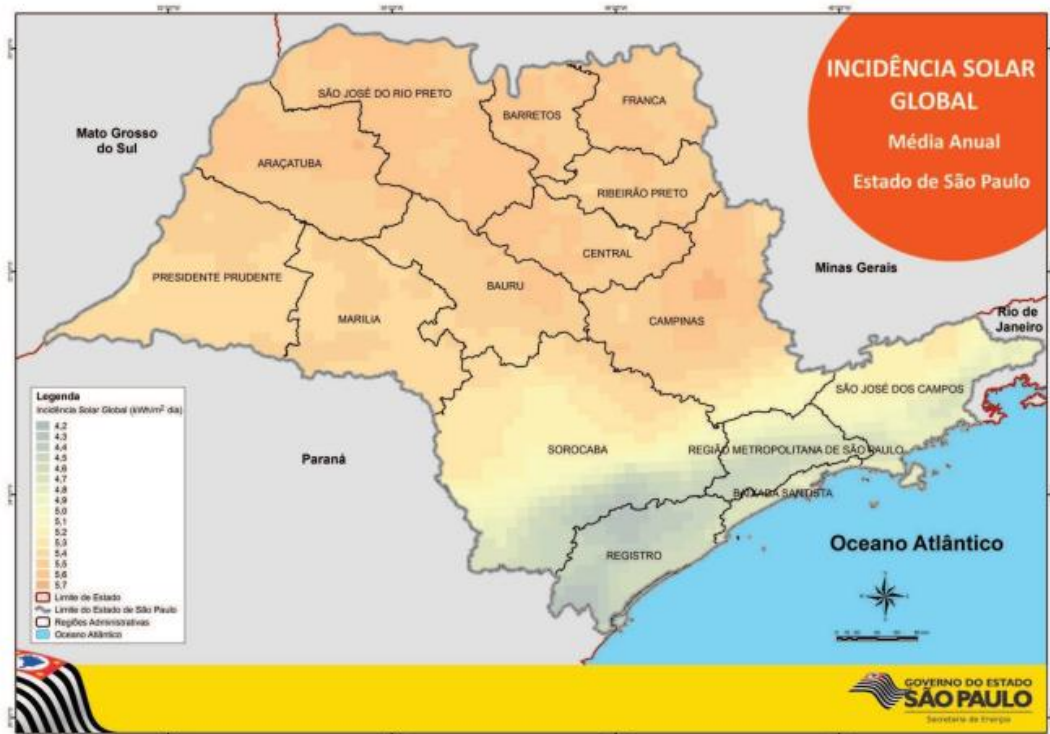
Fonte: Sanderlei.com.br

O Estado de São Paulo, assim como o Brasil, possui condições favoráveis para o desenvolvimento da fonte de energia fotovoltaica, por apresentar condições climáticas, extensão territorial, peculiaridades no seu sistema elétrico, disposição de recursos naturais e infraestrutura já presentes (SÃO PAULO, 2013).

Segundo o Portal Solar (2021), o Estado de São Paulo está em 3º lugar no ranking nacional em microgeração de energia solar, atrás dos estados do Rio Grande do Sul e de Minas Gerais; o estado possui potência 37 mil KW instalados na geração distribuída.

A figura 47, mostra a incidência solar global média anual no estado de São Paulo. O estado de São Paulo possui insolação média (h) e radiação solar global média (MJ/m² dia) igual às encontradas no nordeste brasileiro que contém grandes áreas de referência (São Paulo, 2013).

Figura 47: Incidência solar global média anual — Estado de São Paulo



Fonte: SÃO PAULO, 2013.

A divisão de incidência de energia global no estado de São Paulo é dividida da seguinte forma: pode ser dividida em faixas, cada faixa corresponde a uma área do território do estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2013). A energia de incidência global pode ser usada em partes em equipamentos para a produção de eletricidade solares (SÃO PAULO, 2013).

4.2.3.1 Estudo de Caso: Primeira Usina de Geração Distribuída no Município de Orindiúva- SP

No dia 02 de fevereiro de 2021, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) inaugurou no município de Orindiúva a primeira usina de geração de energia solar do programa de geração distribuída da companhia (SÃO PAULO, 2021).

A Usina de geração de energia solar do município de Oriundiúva tem capacidade de 1 megawatt (MW), e seu potencial de geração está em torno de 1,9 milhões de quilowatt-hora (kwh) ao ano, esse volume é apto para abastecer 780 residências, ou seja, capacidade para atender 44% da população do município (SÃO PAULO, 2021). Um dos fatores para a escolha desse local para

o empreendimento foi o alto índice de irradiação solar local média anual, que é superior a 5,0 kWh/m²/dia.

O investimento inicial feito pelo Programa de Geração de Energia Fotovoltaica por geração distribuída foi de R\$ 250 milhões, o financiamento foi feito pelo BID invest, foram implantadas 33 usinas fotovoltaicas na extensão da companhia em conjunto com às instalações operacionais, com potência entre 1 a 4 MW, totalizando nas unidades cerca de 73 (megawatt-pico) de potência (SÃO PAULO, 2021).

Dessa forma, a energia gerada é capaz de suprir 4,5% da energia consumida pela Sabesp, a economia é de cerca de R\$ 50 milhões por ano nos gastos com energia. A atuação da Sabesp é importante porque o consumo de energia está intimamente relacionado à prestação de serviços de saneamento básico (principalmente estações elevatórias de água e esgoto), um dos maiores gastos das empresas do setor (SÃO PAULO, 2021).

5.2.4. Tocantins

O Estado do Tocantins está localizado na região Norte do Brasil e tem como sua capital Palmas. O Estado do TO (Tocantins) faz fronteira com o Maranhão ao Norte, com Piauí e Bahia ao leste, Goiás ao sul e Oeste com Pará e Mato Grosso. Seu território é de 227.720,569 quilômetros quadrados, com aproximadamente 1,5 milhão de habitantes, com base na previsão do IBGE para 2015 (TODA MATÉRIA, 2021).

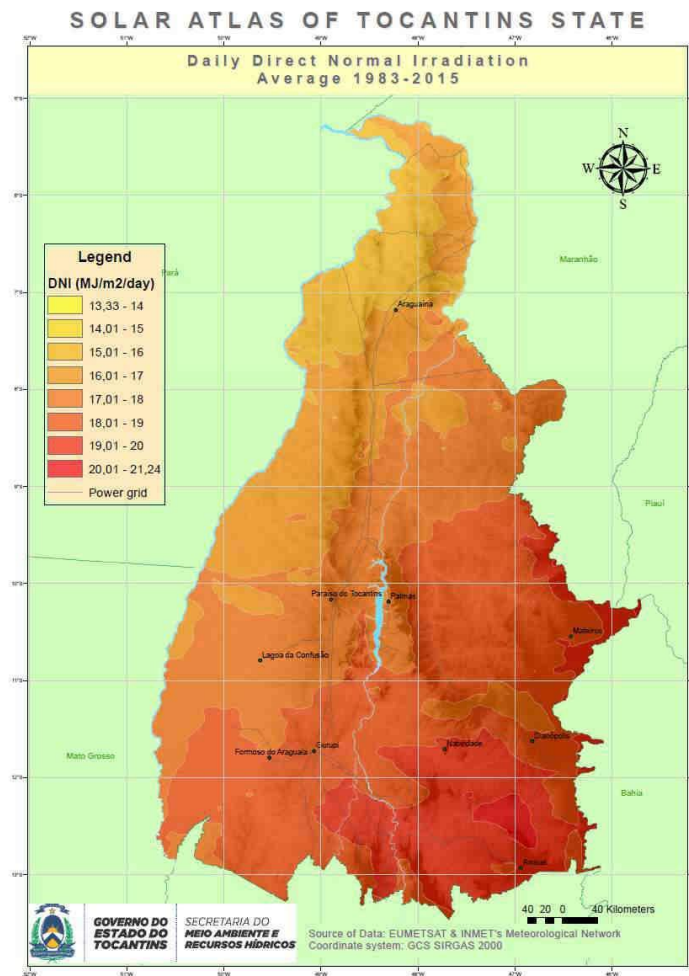
O Tocantins está em 18º no Ranking em energia solar do Brasil. Segundo o Atlas Solarimétrico do Tocantins (2018), a taxa de incidência solar no Estado do Tocantins é alta, o que contribui diretamente para a melhoria da eficiência dos painéis fotovoltaicos e geração de energia limpa, gratuita e renovável. Portanto, o Tocantins é o estado com melhor radiação solar da região norte do país e continua desenvolvendo o uso da tecnologia em milhares de residências e estabelecimentos comerciais.

De acordo com o Portal Solar (2018), Moradores do Tocantins apostam na energia solar como solução durante a estiagem e também como forma de reduzir a conta de luz. Um morador de Palmas reduziu sua conta em 90%. Em média, ele pagava R\$ 450,00 na conta de energia e agora R\$ 63,00 por mês após a instalação dos painéis solares. Quem possui sistema solar também pode usufruir de descontos no ITPU.

A figura 48 mostra o mapa do estado do Tocantins.

do programa e instalaram o sistema de 2016 até a atualidade, com um total de 2.508,09 Watt-pico de potência, unidades relacionadas aos módulos solares. Isso equivale a mais da metade da potência instalada de Palmas durante o mesmo período (PORTAL SOLAR, 2019).

Figura 49: Mapa Solar do Tocantins



Fonte: Atlas Solar do Tocantins (2018)

Segundo o Portal Solar (2018), além de reduzir o custo de pagamento da conta de energia mensal e reduzir as emissões de gás CO₂, o excedente de energia gerado também pode ser creditado para os próximos meses. A Prefeitura de Palmas oferece incentivos fiscais e incentivos para os usuários de energia solar fotovoltaica, tais como: IPTU, por cinco anos, bem como, no Imposto Sobre a Transmissão de Bens Imóveis (ITBI), na primeira transferência de imóvel e no Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISSQN).

Nos últimos dois anos, a capital do Tocantins recebeu mais de 2,55 milhões de reais em investimentos para serviços e projetos de geração de energia solar fotovoltaica por meio do Programa Palmas Solar. O valor refere-se a investimentos de comerciantes e moradores de Palmas-TO que aderiram ao programa, que incentiva o uso e a geração de energia solar, e oferece incentivos fiscais para os interessados em energia sustentável (PORTAL SOLAR, 2018).

Essas ações incentivam o uso da energia solar para captação de energia solar em residências, indústrias e empresas. O Programa Palmas Solar permite o desenvolvimento de projetos inovadores. Palmas tem uma posição central no país porque a capital possui políticas públicas modernas de incentivo à produção de energia renovável. O Parque Solar é um desses projetos inovadores, com o objetivo de fornecer energia suficiente para todos os órgãos públicos municipais (PORTAL SOLAR, 2018).

De acordo com o Portal Solar (2018), outro exemplo de investimento em energia solar é a Escola de Tempo Integral Almirante Tamandaré (ETI). Esta é uma escola pública administrada pela Prefeitura de Palmas e pela Marinha do Brasil, é a escola pública com a maior capacidade de geração de energia fotovoltaica do Brasil, possui 160 painéis fotovoltaicos para captação de energia solar e pode economizar cerca de 5 mil reais por mês. O valor economizado é usado para pagar outras despesas internas. O governo do Tocantins também formulou uma política nacional de incentivo à geração e utilização da energia solar, a Pró-Solar, que também incentiva os consumidores a buscarem a energia solar.

O governador do Tocantins, Mauro Carlesse (DEM), assinou um projeto de lei que garante o uso da energia solar nas novas escolas da Rede Nacional. Essa cláusula alterou a Lei nº 3.179 de 2017, que estabeleceu uma política (Pró-Solar) que incentiva a geração e o uso de energia solar. Agora, todos os novos edifícios, reformas ou edifícios públicos, incluindo escolas, devem fornecer instalações solares fotovoltaicas e solares fototérmicas (PORTAL SOLAR, 2020).

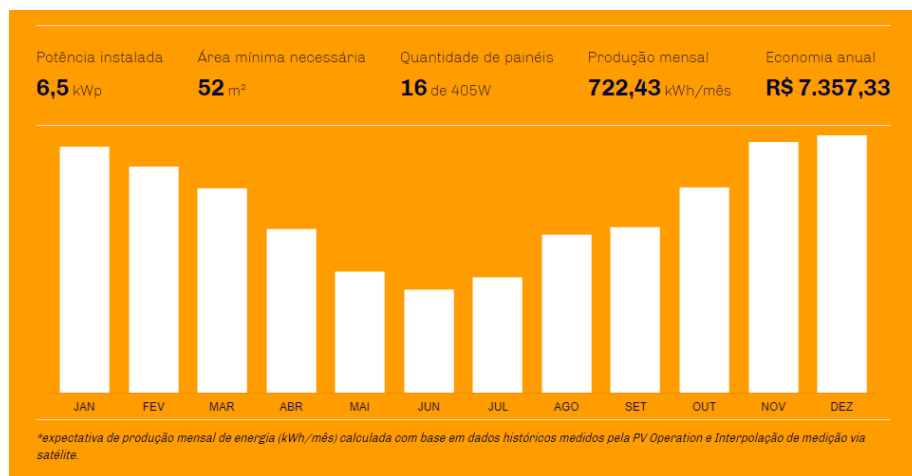
Para o vice-presidente do projeto de lei, Issam Saado (PV), devido ao consumo massivo de energia nas escolas públicas, economizar recursos financeiros é muito importante para os cofres públicos que utilizam a energia solar. A viabilidade técnica e econômica está sendo estudada em detalhes para iniciar a instalação de sistemas de captação e aproveitamento de energia solar (PORTAL SOLAR, 2020).

4.2.4.1 Estudo de Caso: Implantação de um Sistema Fotovoltaico em uma residência em Palmas-TO

O Portal Solar possui um Simulador de Energia Solar que permite simular quanto custa para instalar um sistema fotovoltaico em uma residência. Com isso, foi preenchido um formulário com as informações de consumo de energia de uma residência localizada em Palmas (TO) e o Simulador Solar fez todo o cálculo, mostrando as informações de quantos painéis solares serão necessários e quanto custa instalar energia solar na minha própria residência.

Através dos dados fornecidos no formulário do "Cálculo Solar", foi estimado a potência do sistema solar que precisa ser instalado no exemplo residencial utilizado.

Gráfico 2: Cotação para Implantação de Projeto de Energia Solar Residencial (kWh/mês)



Fonte: Portal Solar (2021).

De acordo com o Gráfico 2, a área mínima necessária para a instalação do sistema fotovoltaico é de 52m² e serão necessários 16 painéis de 405W. Com base no consumo de energia elétrica mensal residências é de R\$600,00. Esse exemplo tem os dados de uma casa térrea real. Segundo a cotação recebida a energia gerada mensal pelos painéis solares seria de 722,43 kWh/mês, tem-se uma estimativa de economia anual de R\$7.357,33 gerada após a instalação.

Após essa simulação foi solicitado um orçamento detalhado direto ao Portal Solar apresentado na Tabela 7 com dimensionamento, cotação e indicação da empresa instaladora mais adequada ao consumo mensal médio da residência exemplo.

Tabela 7: Orçamento da Instalação de um Sistema Fotovoltaico

Valor do Equipamento	R\$ 25.017,10
Valor mínimo do sistema	R\$ 34.286,77
Valor máximo do sistema	R\$ 34.979,43
Valor do Frete	R\$ 1.000,70
Valor da Instalação	R\$ 8.615,40
Valor total do sistema	R\$ 34.633,20
Conta de Luz	R\$ 600,00
Economia Anual	R\$ 7.357,33
Produção mensal	722
Potência estimada	6,50
Quantidade de Painéis	16
Onde será instalado	Residência (52m ²)

Fonte: Adaptado de Portal Solar (2021).

Conforme a Tabela 7 onde consta o orçamento da instalação do sistema fotovoltaico, o valor total do sistema seria de R\$ 34.633,20. Desse valor, R\$ 25.017,10 corresponde ao preço do equipamento, R\$ 1.000,70 do frete e R\$ 8.615,40 da instalação.

Esse valor deveria ser pago à vista, por isso, foi calculado quanto tempo levaria o retorno desse valor, levando em consideração a duração do sistema por 20 anos, taxa Selic 0,205984% mensal (valos 10.04.2021), e considerando o valor total do investimento 34.633,20 e considerando que o valor médio da conta da energia elétrica da residência exemplo.

Considerando esses dados no Apêndice A se pode ver os cálculos e o fluxo de caixa, mostrando que o valor inicial pode retornar nas condições estipulado em 5 anos incompleto (57 meses) e a partir dos 59º meses até o final do período de 20 anos (240 meses) tem que se a economia total dos 20 anos será de R\$ 153.395,64. Portanto, se tem que o investimento inicial seria pago em 5 anos e o usufruto do equipamento e de economia da conta de energia elétrica duraria mais 15 anos, após ter pago o investimento. Além dos valores utilizados, existem ainda subsídios no IPTU que não foi incluso no cálculo. Porém, se estimarmos que a manutenção possa chegar a 6000

reais (utilizando a base do projeto CEMIG já citado anteriormente item 4.2.1.1.) Supondo que esse valor seja o total para os 20 anos então a economia total seria 153.395,64 menos esses 6000 reais (que pode ou não ser utilizado, porém incerto).

Porém, se a pessoa tiver esse valor de nas mãos (já que se considerou pagamento a vista) e aplicar no setor financeiro teria maior rendimento (retorno) que aplicar em painel solar. Porém, em Palmas (TO) como a energia é muito cara e o valor do kWh varia muito durante o ano, o investimento em energia fotovoltaica compensa e proporciona retorno financeiro interessante e segurança ao acesso à energia uma vez que pelo menos 5 meses ao ano não chove e tem muito sol e nos outros períodos chove, mas continua tendo sol em boa parte do dia.

5.3 Incentivos à geração fotovoltaica no Brasil

De acordo com o Portal Solar (2021), o Brasil possui alguns incentivos para a Geração Distribuída, tais como:

- ✓ O CONFAZ, através do Ajuste SINIEF 2, revogou o Convênio que orientava a tributação da energia injetada na rede. Cada estado passou a decidir se tributa ou não a energia injetada. Até o momento, os seguintes estados aderiram: SP, PE, GO, CE, TO, RN, MT, BA, DF, MA, RJ, RS, RR, AC, AL e MG;
- ✓ O Governo Federal, através da Lei nº 13.169, isentou o PIS e COFINS a energia injetada na rede;
- ✓ O Governo Federal criou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) com intuito de fomentar a geração distribuída no Brasil;
- ✓ Existe a tendência de que municípios passem a adotar medidas de incentivo para a dedução de IPTU para a geração distribuída como é o caso do município de Palmas em TO;
- ✓ Dedução de imposto de renda por amortização de equipamentos;
- ✓ Foi aprovado na Comissão de Serviços de Infraestrutura do Senado o projeto de Lei 371 de 2015 para o resgate do FGTS para aquisição de sistemas de microgeração;
- ✓ Estão disponíveis no mercado linhas de financiamento para a geração distribuída: Mais Alimentos (Pronaf), Economia Verde (Desenvolve SP), Finem (BNDES), PE Solar (Agefepe), Crédito produtivo energia solar (Goiás Fomento), FNE Sol (BNB), Construcard (Caixa Econômica Federal), CDC Eficiência Energética (Santander), Proger (Banco do Brasil), Consórcio Sustentável (Sicredi) além das empresas que estão oferecendo soluções financiadas através de contratos de performance (ESCO) e aluguéis.

Em maio de 2016, dezesseis estados aderiram aos regulamentos de isenção do ICMS. São eles: Acre, Alagoas, Bahia, Ceará, Distrito Federal, Goiás, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte, Roraima, São Paulo, Tocantins. Porém, entre os estados que ainda não cumpriram a isenção do ICMS, o Paraná possui um alto potencial fotovoltaico. Embora sua capacidade instalada seja de apenas 1.570 quilowatts, sua capital Curitiba possui uma capacidade instalada de aproximadamente 306 quilowatts (ANEEL, 2016a; 2016b).

Dessa forma, TIEPOLO (2016) elencou em seu estudo algumas diretrizes nos níveis estadual e municipal que podem auxiliar na formulação de políticas públicas de incentivo a esta importante energia renovável, como:

- ✓ No cálculo da conta de luz, a alíquota do ICMS é isenta no modelo de compensação de energia;
- ✓ Oferecer descontos de IPTU (Imposto Territorial Urbano) aos proprietários que tenham instalado fontes de energia solar fotovoltaica em suas propriedades;
- ✓ Disponibilizar financiamentos específicos para projetos de geração distribuída para micro e minigeração de energia elétrica;
- ✓ Reduzir impostos sobre produtos que utilizam eletricidade gerada de forma distribuída por meio de fontes renováveis de energia no processo produtivo;
- ✓ Obrigatoriedade de que em “novos projetos” de prédios públicos, parte da energia elétrica consumida seja gerada através de SFVCR (sistema fotovoltaico conectado à rede);
- ✓ Com a implantação do SFVCR (sistema fotovoltaico conectado à rede) nas suas instalações, adaptar-se aos edifícios públicos existentes de curto, médio e longo prazo para gerar parte do consumo de eletricidade;
- ✓ Ajustar os currículos de escolas públicas e universidades para fornecer tópicos relacionados à sustentabilidade, desenvolvimento sustentável e temas de energia renovável.

É compreensível que a partir da política pública nacional, incluindo algumas das contribuições descritas, seja possível estimular a inserção desta importante fonte de energia renovável para a geração de energia elétrica na matriz elétrica do Brasil, mas também para conscientizar a sociedade sobre as necessidades do desenvolvimento sustentável (TIEPOLO *et al.* 2016).

5.4 Vantagens e Desvantagens Econômicas e Ambientais do Sistema Fotovoltaico

A energia solar fotovoltaica é considerada uma tecnologia energética promissora. As células solares convertem a energia solar (a fonte de energia renovável mais abundante) diretamente em eletricidade. O processo de geração realizado pelo dispositivo semicondutor não possui partes móveis, não produz cinzas ou outros resíduos e, por não liberar calor residual, não altera o equilíbrio da biosfera. Por não envolver a queima de combustível, o efeito estufa é totalmente evitado (BRAGA, 2008).

Pode-se observar na Tabela 8 as várias vantagens e desvantagens da instalação de um sistema fotovoltaico.

Tabela 8: Vantagens e Desvantagens Gerais do Sistema Fotovoltaico

Vantagens da Energia Solar	Desvantagens da Energia Solar
A energia solar não polui, é renovável, limpa e sustentável	Alto custo de aquisição
Energia alternativa ao petróleo	Não gera energia à noite
A energia solar é silenciosa	Sistema Anti-ilhamento
É uma fonte de energia gratuita	
A energia solar fotovoltaica é o sistema de autogeração mais barato	
Necessidade mínima de manutenção	
Fácil de instalar e barata de manter	
Vida útil de mais de 25 anos, pagando-se em até 7 anos	
Economia de até 90% da conta de luz	
Queda de preços devido ao avanço da tecnologia	
Ocupa pouco espaço e valoriza o imóvel	
Placas solares são resistentes às intempéries	
Pode ser usada em áreas isoladas da rede elétrica	
Equipamentos fotovoltaicos podem ser reciclados	

Fonte: Adaptação do Portal Solar (2021).

Segundo a Tabela 8 as vantagens são muitas quando comparada as desvantagens, é uma energia limpa e sustentável, dessa forma causa um impacto ambiental mínimo, sua vida útil é de mais de 25 anos, sendo que o cliente vai pagar apenas até o sétimo ano, além disso ela ocupa pouco espaço, diminui os gastos dos clientes com a conta de luz, valoriza o imóvel etc. Já entre as desvantagens estão o alto custo de aquisição, durante a noite não é gerada nenhuma energia, e

possui sistema anti-ilhamento, sendo ele responsável pela interrupção no fornecimento de energia limpa, quando ocorre uma queda de energia da rede pública, podendo causar problemas técnicos no inversor solar (PORTAL SOLAR, 2021)

Pode-se observar na Tabela 9 as vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de instalações quanto ao local de instalação.

Tabela 9: Vantagens e desvantagens das diferentes formas de instalação

Forma de instalação	Vantagens	Desvantagens
No solo	- Fácil instalação. - Fácil manutenção - Estrutura robusta - Indicado para sistemas de qualquer porte.	- Mais propícia a situações de sombreamento. - Mais sujeita a acúmulo de poeira e contato de pessoas, objetos e animais.
No poste	- Fácil instalação. - Menos propícia a situações de sombreamento. - Mais segura contra contato pessoas, objetos e animais.	- Estrutura menos robusta. - Maior dificuldade de manutenção. - Indicada apenas para sistemas de pequeno porte.
Na fachada	- Menos propícia a situações de sombreamento. - Mais segura contra contato pessoas, objetos e animais. - Ajuda a reduzir a carga térmica interna da edificação	- Instalação mais trabalhosa. - Maior dificuldade de manutenção. - Riscos associados ao trabalho em altura. - O porte do sistema deve ser adequado à área e à suportabilidade mecânica da edificação. - Normalmente não há possibilidade de ajuste do ângulo de inclinação do painel, segue-se a orientação vertical da fachada. - Eventuais problemas estéticos.
No telhado	- Menos propícia a situações de sombreamento. - Mais segura contra contato pessoas, objetos e animais. - Estrutura de suporte mais simples.	- Instalação mais trabalhosa. - Maior dificuldade de manutenção. - Riscos associados ao trabalho em altura. - O porte do sistema deve ser adequado à área e à suportabilidade mecânica da edificação.

Fonte: Adaptação de PINHO et. al., 2008

Segundo a Tabela 9 no solo apesar de ser mais fácil instalação e manutenção, ela ainda suportar uma estrutura robusta, e é indicado para sistema de qualquer porte, porém das desvantagens dessa instalação no solo é mais propícia a situações de sombreamento e mais sujeita a acúmulo de poeira e contanto de pessoas, objetos e animais, com maiores chances de ocorrer

danificação no sistema. A instalação feita no poste é menos propícia a situações de sombreamento e mais segura contra contanto de pessoas, objetos e animais, porém, esse tipo de instalação é apenas para sistema de pequeno porte e tem maior dificuldade de manutenção. A instalação na fachada, além de propiciar situações de sombreamento menores, é segura contra pessoas objetos e animais, ajuda a reduzir a carga térmica interna da edificação. Porém, a instalação é mais trabalhosa, maior dificuldade com a manutenção, maior risco associado ao trabalho em altura, o porte do sistema deve ser adequado à área e a suportabilidade mecânica da edificação, está sujeito a eventuais problemas estéticos e normalmente não há possibilidade de ajuste do ângulo de inclinação do painel. A instalação no telhado, é adequada para uma estrutura de suporte mais simples, situações de sombreamento menores e mais segura contra contanto de pessoas, objetos e animais, mas, a instalação é mais trabalhosa, tem maior dificuldade de manutenção, os riscos associados ao trabalho em altura são grandes e o porte do sistema deve ser adequado à área e à suportabilidade mecânica da edificação. O Brasil possui um ótimo recurso solar – 1.550 a 2.350 kWh/m² por ano, porém existem outros benefícios agregados a geração distribuída.

Os sistemas fotovoltaicos não emitem poluentes durante o funcionamento, pelo que se espera que sejam uma alternativa energética sustentável, mas terão impacto no meio ambiente e devem ser considerados. O impacto ambiental mais significativo da geração de energia do sistema fotovoltaico é causado durante seu processo de fabricação e montagem. A maioria dos impactos negativos são produzidos durante a fase de implementação do projeto e são temporários e não ultrapassem o escopo do projeto. Dado que a maioria das influências positivas tem seus efeitos adiado após a fase de implantação e fundido na fase operacional. Por isso, é necessário formular e aplicar procedimentos de controle e monitoramento ambiental, que são os elementos básicos do planejamento e gestão ambiental, objetivando não só minimizar possíveis degradações, mas também compensar os efeitos adversos de implantação e operação no interior de uma usina fotovoltaica para o meio ambiente (FILHO *et al*, 2015).

O sistema de geração de energia solar é uma fonte de energia limpa, ou seja, durante seu funcionamento não são emitidos poluentes para a atmosfera, e é uma alternativa de energia sustentável, apesar disso, são gerados mesmo que mínimos, alguns impactos ambientais, que ocorre principalmente durante a fabricação e montagem das placas de energia solar (FILHO *et al.*, 2015).

Na tabela 10 estão apresentados os demais benefícios da geração distribuída para o Brasil. Dentre eles estão: diversificação da matriz energética; são evitadas perdas por transmissão de

energia; geração de emprego de qualidade; possibilidade de desenvolver cadeia produtiva nacional; equilíbrio de cargas no sistema na rede de distribuição e na fronteira com a rede básica; matriz energética sustentável; melhor aproveitamento dos recursos e maior eficiência energética nos empreendimentos.

Tabela 10: Os benefícios da Geração Distribuída para o Brasil

BENEFÍCIOS
✓ Diversificação da matriz energética; ✓ São evitadas perdas por transmissão de energia, considerando que a geração distribuída é disponibilidade próxima ao consumo; ✓ Geração de empregos de qualidade - 30 empregos diretos e 3,1 empregos indiretos por MW instalado (Fonte ABSOLAR); ✓ Possibilidade de desenvolver cadeia produtiva nacional; ✓ Equilíbrio de cargas no sistema na rede de distribuição e na fronteira com a rede básica; ✓ Matriz energética mais sustentável; ✓ Melhor aproveitamento dos recursos; ✓ Maior eficiência energética nos empreendimentos;

Fonte: Adaptado do Portal Solar (2021).

De acordo com FILHO *et al*, 2015, é necessário realizar uma análise criteriosa da área de planejamento do projeto para estimular medidas preventivas e mitigadoras quanto à eficácia desses impactos ambientais. Por isso, é necessário formular e aplicar procedimentos de controle e monitoramento ambiental, que são os elementos básicos do planejamento e gestão ambiental, objetivando não apenas minimizar possíveis degradações, mas também compensar os impactos ambientais adversos causados pela implantação e operação no interior de uma usina fotovoltaica. Visto isso, é necessárias Licenças ambientais para usinas solares fotovoltaicas para evitar Insegurança jurídica.

De acordo com BORTOLOTO *et al.*, (2017), o retorno sobre o investimento de sistemas off-grid é diferente de sistemas on-grid. Em comparação com o custo de energia na rede pública, os sistemas off-grid podem nem mesmo obter um retorno sobre o investimento, por isso é muito

importante lembrar de não instalar baterias em qualquer lugar. Onde está a bateria, normalmente um sistema fora da rede, deve ser coberto e (de preferência) longe de qualquer pessoa desavisada, especialmente crianças. O local de instalação deve ter um espaço para instalação da bateria (uma sala separada, que só pode ser fechada por pessoal treinado). O sistema fora da rede é ambientalmente insustentável porque a bateria se degradará em um curto espaço de tempo e é feita de materiais altamente poluentes, como chumbo e lítio.

O Tabela 11 descreve algumas das vantagens e desvantagens do sistema on grid.

Tabela 11: Vantagens e desvantagens do sistema on grid

Vantagens	Desvantagens
Dispensa a utilização de baterias e controladores de cargas	Necessita do acesso à rede de distribuição
Possibilita ao consumidor adquirir créditos de energia	Não existe sistema de armazenamento de energia;
Créditos podem ser utilizados em outras unidades consumidoras do mesmo proprietário	Necessidade de pagar conta de luz quando a demanda for maior que a produção e não houver créditos disponíveis

Fonte: BORTOLOTO *et al.*, (2017).

A tabela 12 descreve algumas das vantagens e desvantagens do sistema off grid.

Tabela 12: Vantagens e desvantagens do sistema off grid

Vantagens	Desvantagens
Pode ser utilizado em regiões remotas por ser independente da rede de distribuição de energia	Necessidade da utilização de baterias e controladores de cargas
Não há necessidade de pagar conta de luz	Custos mais elevado
Possui sistema de armazenamento de energia	O sistema de forma geral apresenta-se menos eficiente

Fonte: BORTOLOTO *et al.*, (2017).

Pode-se ver que vários aspectos devem ser observados e analisados antes de escolher um sistema conectado à rede ou fora da rede. É importante que as pessoas físicas ou jurídicas entendam todas as variáveis inerentes ao processo de instalação para que possam tomar a melhor decisão para melhorar a eficiência operacional do sistema e a melhor relação custo-benefício do investimento (BORTOLOTO *et al.*, 2017).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como finalidade analisar os benefícios gerados para a sociedade do uso da energia fotovoltaica residencial. A instalação de um sistema fotovoltaico tem sido uma alternativa para as pessoas que buscam diminuir gastos na conta de energia e em consequência a preservação do meio ambiente, por ser uma fonte limpa, sustentável e que pode atender tanto o consumidor nas grandes cidades como em sistemas isolados.

Este estudo mostrou vantagens e desvantagens da utilização da energia fotovoltaica. Os impactos negativos de um sistema fotovoltaico mais significativos devem-se a intermitência da geração (apenas durante o dia) e o alto custo da tecnologia. Os outros impactos negativos se devem levar em consideração, mas são de menor significado, comparado com os causados para implantação de outras fontes de energia como a hidrelétrica, por exemplo.

Com a apresentação dos estudos de caso, foi possível identificar que o investimento em sistemas de energia fotovoltaica tem retorno de aproximadamente 5 a mais anos (dependendo da taxa de juros aplicado ao capital investido e do consumo de energia mensal do consumidor). Na região Norte do país esses investimentos se tornam viável pelo alto valor do kWh da concessionária de energia, possibilitando uma economia considerável. No Brasil todas as regiões tem incidência solar suficiente para que essa tecnologia seja utilizada.

Para a compra dos equipamentos e a instalação existem vários incentivos por parte dos governos estadual, municipal e federal. Dentre esses incentivos no geral pode se citar isenção de ICMS, PIS e Confins, desconto no IPTU, desconto no imposto de renda, uso do FGTS para compra dos equipamentos e outros. Esses incentivos variam de Estado para Estado, porém a tendência é que esse tipo de energia cresça e favoreça a diversificação da matriz energética e elétrica e ainda possa colaborar para a diminuição de investimentos em outras fontes de energia que proporcionem mais impacto ao meio ambiente.

Conclui-se que um sistema fotovoltaico é um investimento vantajoso, tanto na cidade como em sistemas isolados, por ter o sol como fonte de energia que é abundante, limpa e acessível a todos. Neste momento o investimento ainda é alto, mas a tendência é diminuir cada vez mais os custos dos equipamentos, porque a expansão do seu uso propiciará a queda dos custos e o desenvolvimento e evolução da tecnologia.

REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília: Aneel, 2008. 236p

ABREU FILHO, J. F. de et al. Finanças corporativas. Rio de Janeiro: FGV, 2003.

ALMEIDA, Eliane *et al.* Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Artigo científico, in: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>, Outubro, 2016.**

ALMEIDA, J. S. DE. Estudo de Viabilidade Regulatória de Implantação de Sistemas Comunitários de Geração Distribuída Solar Fotovoltaica no Brasil Legal Feasibility for Community Solar Deployment in Brazil. (Virtualhab, Ed.) V Encontro Nacional de Sustentabilidade em Projeto. Anais Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

ALVES, J. **Estudos foto físicos e fotovoltaicos de sistemas polímero-fulereno e nanopartículas de CdSe.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2011. 48 f.

AMBIENTE ENERGIA. Rio Grande do Sul estabelece isenção de ICMS para mini e microgeração. Disponível em: . Acesso em: 29 Mar. 2018.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 414, de 9 de Setembro de 2010. Brasília Governo Federal - Ministério de Minas e Energia, 2010.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, disponível em: www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, disponível em: www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf.

ANEEL Resolução Nº482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mineração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. ANEEL, 2012b. Disponível em: Acesso em: 07 abril 2021.

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

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO ESTADO DO TOCANTINS. Final Workshop Palmas, TO, 31 July, 2018. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/130138159-Atlas-solarimetrico-do-estado-do-tocantins-final-workshop-palmas-to-31-july-2018.html>> Acesso em: 10/04/2021.

BARBOSA FILHO, Wilson Pereira *et al.* Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: impactos ambientais e políticas públicas. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 4, p. 628-642, 2015.

BEZERRA, Juliana. TODA MATÉRIA Mapa de Minas Gerais. 2021. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/mapa-de-minas-gerais/>> Acesso em: 10/04/2021.

BEZZON, Lara Crivelaro. **Guia prático de monografias, dissertações e teses.** Campinas, SP, Alínea 2004.

BORTOLOTO, Valter A. *et al.* Geração de Energia Solar On Grid e Off Grid. In: VI JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica. 2017.

BRAGA, Renata Pereira. *Energia Solar Fotovoltaica: fundamentos e aplicações.* 2008.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/geracaodistribuida>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

BRASIL. Presidência da República. Conselho Nacional de Política Energética. O setor elétrico brasileiro: situação atual e perspectivas. Brasília: MME, 2000

BRITO, Miguel C.; SILVA, José A. *Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade.* Lisboa, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2006.

CANAL JORNAL DA BIOENERGIA. Energia solar por assinatura avança no estado de MG. 2021. Disponível em: <<https://www.canalbioenergia.com.br/energia-solar-por-assinatura-avanca-no-estado-de-mg/#:~:text=Energia%20solar%20em%20Minas%20Gerais&text=De%20acordo%20com%20a20entidade,dos%20853%20munic%C3%ADpios%20da%20regi%C3%A3o.>> Acesso em: 10/04/2021.

CASARIN, Gabriel Vinicius *et al.* Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica baseado em um estudo de caso. 2019.

CASTAGNARI, Paulo. **Célula Fotovoltaica – Da Luz Solar à Energia Elétrica**. 2019. Disponível em :< <https://vocesolar.com.br/celula-fotovoltaica-da-luz-solar-a-energia-eletrica/>>. Acesso em: 28/11/2020.

CASTAGNARI, Paulo. **O que é Energia Solar – Tudo sobre energia solar fotovoltaica**. 2019. Disponível em :< <https://vocesolar.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 29/11/2020.

CASTAGNARI, Paulo. **Painel solar fotovoltaico – Tudo Sobre o Gerador de Energia Solar**. 2018. Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/painel-solar-fotovoltaico/>>. Acesso em: 28/11/2020.

CASTRO, Rui MG. Introdução à energia fotovoltaica. DEEC/Seção de Energia Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico, 2002.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Alternativas Energéticas: uma visão Cemig. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.

CHEROBIM, Ana Paula; LEMES, Antonio; RIGO, Claudio. Administração financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras. São Paulo: Elsevier Brasil, 2017.

COAN, Jorge Stang; PAN, Aline Cristiane. ESTACIONAMENTO FOTOVOLTAICO APLICADO A CONDOMÍNIOS UTILIZANDO O COMPARTILHAMENTO DE ENERGIA COM A REDE, 2018.

DAZCAL, R.; MELLO, A. Estudo da Implantação de um Sistema de Energia Solar DAZCAL, R.; MELLO, A. Estudo da Implantação de um Sistema de Energia Solar Fotovoltaica em um edifício da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Abenge –Associação Brasileira de Educação de Engenharia. Fortaleza, 2008.13f.

DE SOUZA JÚNIOR, Alberto Jorge et al. Energia solar em organizações militares: uma análise da viabilidade econômico-financeira. Navus-Revista de Gestão e Tecnologia, v. 9, n. 1, p. 63-73, 2019.

DO NASCIMENTO, Cássio Araújo. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. Diss. Universidade Federal de Lavras, 2004.

EPE, NOTA TÉCNICA. Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira. **Nota Técnica da EPE, Rio de Janeiro**, p. 25, 2012.

EPE. Brazilian Energy Balance 2016, Year 2015. Empresa de Pesquisa Energética - EPE (Brasil), p. 292, 2016.

FAMÁ, Rubens; BRUNI, Adriano Leal. As decisões de Investimentos. São Paulo: Atlas, 2003.

FONTELLES, Mauro José *et al.* **Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa**. Revista paraense de medicina, v. 23, n. 3, p. 1-8, 2009.

GEO GERAL. Minas Gerais. Disponível em: <<https://geogeral.com/h/m/r/brmg.htm>> Acesso em: 10/04/2021.

GOETZE, Felipe. Projeto de microgeração fotovoltaica residencial: estudo de caso. 2017.

GOOGLE MAPS. Mapa do estado de São Paulo. Disponível em:<https://www.google.com.br/maps/@-23.5931218,-46.6909652,3a,75y,306.27h,79.11t/data=!3m6!1e1!3m4!1sX6Q_2u16ZpUIOS_FdejARw!2e0!7i13312!8i6656?hl=pt>. Acesso em: 14 de março de 2021.

GORE, A. Nossa escolha: um plano para solucionar a crise climática. Our choice: a plan to solve the climate crisis. Barueri, SP: Manole, 2010.

GREEN, M. A. *et al.* Solar cell efficiency tables: version 16. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Sydney, v. 8, p. 377-384, 2000.

HAAG, Rafael. Atlas Solar do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<https://cenariosolar.editorabrasilenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2020/12/Atlas-Solar-RS-Uergs-2018.pdf>> Acesso em: 10/04/2021.

HASHIMOTO, Mariana Tami. Economia compartilhada e a utilização de recursos naturais: uma análise exploratória. 2019.

IBGE – FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E PESQUISA. Estimativas de População. Disponível em ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao. Acesso em: 12 de out. 2018.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets. OECD/IEA. Paris, France, 2002. Disponível em: <http://library.umac.mo/ebooks/b13623175.pdf>. Acesso em fevereiro de 2021.

IEEE - INSTITUTO DE ENGENHEIROS ELETRICISTAS E ELETRÔNICOS. Energia solar fotovoltaica de terceira geração. 2014. Disponível em :< <http://www.ieee.org.br/wpcontent/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>>. Acesso em: 28/09/2020.

IGUALADA, L. *et al.* Optimal energy management for a residential microgrid including a vehicle-to-grid system.

IMHOFF, J. Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007. 146 f.

INFRAESTRUTURA. Energia solar no Rio Grande do Sul ultrapassa 400 MW. 2020. Disponível em: <https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/economia/2020/07/749240-energia-solar-no-rio-grande-do-sul-ultrapassa-400-mw.html> Acesso em: 10/04/2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).Disponível em:< <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp.html>>. Acessado em 14 de março de 2021.

MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015.

MARTINAZZO, C. A. 2004, Modelos de Estimativa de Radiação Solar para Elaboração de Mapas Solarimétricos, dissertação de Mestrado, PROMEC/UFRGS, julho de 2004.

MESSENGER, R.; VENTRE, J. Photovoltaic Systems Engineering. Boca Raton: CRC Press, 2010.

MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano. Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, Brazil, 2014.

MIRANDA, Raul Figueiredo Carvalho. Análise da inserção de geração distribuída de energia solar fotovoltaica no setor residencial brasileiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, Brazil, 2013.

NETO, José Vieira *et al.* ESTUDO DOS IMPACTOS NA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA A PARTIR DOS IMPACTOS NA REVISÃO DA NORMA SOBRE A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018. 2020.

PACIEVITVH, Thais. InfoEscola. Geografia do Rio Grande do Sul. 2021. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/rio-grande-do-sul/geografia-do-rio-grande-do-sul/>> Acesso em: 10/04/2021.

PENA, Rodolfo Alves. BRASIL ESCOLA. São Paulo. 2021 Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/brasil/sao-paulo.htm>> Acesso em: 10/04/2021.

PENNING, Jardel André; TIMM, Andréa Ucker; FINKLER, Raquel. Energia solar: estudo de caso de uma residência na cidade de Caxias do Sul/RS/Solar energy: case study of a residence in the city of Caxias do Sul/RS. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 2, p. 732-744, 2019.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos: INPE, 2017. 88 p. ISBN 978-85-17-00090-4. IBI: <8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>>.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. Porto: Pubblindústria, 2011.

PEREIRA, Naron Xavier. Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada. 2019.

PINHO, J.; GALDINO, M. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

PORTAL SOLAR. Energia Solar em Belo Horizonte. 2015. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar-nas-cidades/energia-solar-em-belo-horizonte.html>> Acesso em: 10/04/2021.

PORTAL SOLAR. Geração Distribuída de Energia – GD. 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>> Acesso em: 10/04/2021.

PORTAL SOLAR. Governo de Tocantins aprova lei que inclui instalação de energia solar em novas edificações de escolas. 2020. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog->

solar/energia-renovavel/governo-de-tocantins-aprova-lei-que-inclui-instalacao-de-energia-solar-em-novas-edificacoes-de-escolas.html> Acesso em: 10/04/2021.

PORTAL SOLAR. Minas Gerais é o estado brasileiro que mais usa energia solar. 2016. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/minas-gerais-e-o-estado-brasileiro-que-mais-usa-energia-solar.html>> Acesso em: 10/04/2021.

PORTAL SOLAR. Moradores de Tocantins encontram na Energia Solar uma solução para o período de seca. 2018. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/moradores-de-tocantins-encontram-na-energia-solar-uma-solucao-para-o-periodo-de-seca.html>> Acesso em: 10/04/2021.

PORTAL SOLAR. Palmas se destaca no uso da energia solar fotovoltaica. 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/palmas-se-destaca-no-uso-da-energia-solar-fotovoltaica.html>> Acesso em: 10/04/2021.

PORTAL SOLAR. Vantagens e Desvantagens da Energia Solar Fotovoltaica. 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar.html>> Acesso em: 10/04/2021.

PORTER, M. Competição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

REN21. Renewables 2017 global status report 2017. [s.l: s.n.].

REZENDE, Marcela Vincoletto; FREIRIA, Rafael Costa. Licenciamento ambiental para usinas fotovoltaicas no estado de São Paulo: análise do panorama atual frente ao avanço da tecnologia no Brasil. **Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP**, n. 26, 2018.

RÜTHER, Ricardo. Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis: UFSC / LABSOLAR, 2004.

SANTOS, Fabrício Almeida; SOUZA, Carlos Alberto de; DALFIOR, Vanda Aparecida Oliveira. ENERGIA SOLAR: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG. Simpósio de excelência em Gestão e Tecnologia, XIII, Rio de Janeiro, RJ, 2016.

SÃO PAULO (Estado). Sabesp inaugura primeira usina de geração de energia solar. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/sabesp-inaugura-primeira-usina-de-geracao-de-energia-solar/>>. Acesso em: 14 de março de 2021.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia. Energia Solar Paulista – Levantamento do Potencial (Renováveis). São Paulo, 2013. Disponível em: <http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalsev2/intranet/BiblioVirtual/renovaveis/atlas_energia_solar.pdf>. Acesso em: 12 março 2021.

SCHOR, J. Debating the sharing economy. *The Great Transition Initiative*. Disponível em: http://greattransition.org/images/GTI_publications/Schor_Debating_the_Sharing_Economy.pdf. 2014. Acesso em: 23/09/2020

SCHOR, J.; FITZMAURICE, C. Collaborating and connecting: The emergence of the sharing economy. *Handbook of Research on Sustainable Consumption*. 2015.

SHIRKY, C. **Lá vem todo mundo: o poder de organizar sem organizações**. South Carolina, North Charleston: Create Space Independent Publishing Platform, 2008

SOLAR POWER EUROPE. Global Market Outlook For Solar Power / 2017-2021. 2017.

SRD. ANEEL. Geração Distribuída. 2015..Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=14461914&_101_type=content&_101_groupId=656827&_101_urlTitle=geracao-distribuida-introduc-1&inheritRedirect=true> Acesso em: 10/04/2021.

STEGUN, Thais P. Economia Compartilhada: Uma visão histórica sobre o novo fenômeno mundial. In: **CONGRESSO INTERNACIONAL EM COMUNICAÇÃO E CONSUMO**. 2016.

TIEPOLO, Gerson Máximo *et al.* Energia Solar no Estado do Paraná: potencial, barreiras e políticas públicas. In: **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**. 2016.

TODA MATÉRIA. Estado do Tocantins. 2021. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/estado-do-tocantins/>> Acesso em: 10/04/2021.

TOMALSQUIM, Mauricio., 2016. Energia Renovável (Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica). Empresa de Pesquisa Energética (EPE). vol. 1, n. 1, pp. 310-317.

TOMAZ, Rogerio; BICALHO, Simone Tiemi Taketa. Energia fotovoltaica no estado de São Paulo: fomento. *Brazilian Journal of Business*, v. 2, n. 1, p. 24-34, 2020.

VIEGAS, W. Fundamentos lógicos da metodologia científica. Brasília, 2007.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. São Paulo: Erica, 2012.

WAENGA, Aline Fontes Cordeiro; PINTO, Dayana Araujo Ferreira. Impactos da geração distribuída fotovoltaica no sistema de distribuição de energia elétrica. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ZANI, Victor. Painel solar fotovoltaico: O Gerador de Energia Solar. 2018. Disponível em: <<https://vocesolar.com.br/painel-solar-fotovoltaico/>> Acesso em: 10/04/2021.

APÊNDICE A

INFORMAÇÕES DA RESIDÊNCIA (COTAÇÃO REALIZADA PELA EMPRESA SOLAR)

Sistema fotovoltaico m²	Painéis	W	Consumo mensal	energia gerada kWh/mês	Economia anual
52	16	405	R\$ 600	722,43	R\$ 7.357,33

Orçamento da Instalação de um Sistema Fotovoltaico

DESCRIÇÃO	VALOR R\$
Valor do Equipamento	R\$ 25.017,10
Valor mínimo do sistema	R\$ 34.286,77
Valor máximo do sistema	R\$ 34.979,43
Valor do Frete	R\$ 1.000,70
Valor da Instalação	R\$ 8.615,40
Valor total do sistema	R\$ 34.663,20
Conta de luz	R\$ 600,00
Economia Anual	R\$ 7.357,33
Produção mensal kWh/mês	722
Potência estimada KWp	6,50
Quantidade de Painéis de 405W	16
Onde será instalado - Palmas- TO	Residência(52m²)

INFORMAÇÕES GERAIS

VALORES REAIS	
Equipamentos	R\$ 25.017,10
Frete	R\$ 1.000,70
Instalação	R\$ 8.615,40
Total considerado	R\$ 34.633,20
TAXA SELIC ANUAL	2,50%

RESUMO DOS RESULTADOS ENCONTRADO NO FLUXO DE CAIXA DE 20 ANOS

	Mês		Mês		
<i>Mês que zera o investimento</i>	58				
<i>Retorno do investimento, entre os meses de</i>	58	até	240	será de	R\$ 153.043,16
<i>Retorno do investimento, a partir do mês</i>	240	será de	R\$ 1.002,59		
Retorno do investimento total	R\$ 153.395,64	em 20 anos			

CÁLCULO DO FLUXO DE CAIXA DO RETORNO EM 20 ANOS DO INVESTIMENTO REALIZADO A VISTA PELO CONSUMIDOR DE ENERGIA

VALOR INSTALAÇÃO	JUROS	VALOR CORRIGIDO	ECONOMIA MENSAL	JUROS	VALOR CORRIGIDO	SALDO	SELIC MENSAL	RETORNO	MESES	ANO
34.633,20			613,11			34.020,09	0,205984%	-	1	1
34.020,09	70,08	34.090,16	613,11	1,26	614,37	33.475,79	0,205984%	-	2	1
33.475,79	68,95	33.544,75	614,37	1,27	615,64	32.929,11	0,205984%	-	3	1
32.929,11	67,83	32.996,94	615,64	1,27	616,91	32.380,03	0,205984%	-	4	1
32.380,03	66,70	32.446,73	616,91	1,27	618,18	31.828,55	0,205984%	-	5	1
31.828,55	65,56	31.894,11	618,18	1,27	619,45	31.274,66	0,205984%	-	6	1
31.274,66	64,42	31.339,08	619,45	1,28	620,73	30.718,35	0,205984%	-	7	1
30.718,35	63,27	30.781,63	620,73	1,28	622,01	30.159,62	0,205984%	-	8	1
30.159,62	62,12	30.221,74	622,01	1,28	623,29	29.598,46	0,205984%	-	9	1
29.598,46	60,97	29.659,42	623,29	1,28	624,57	29.034,85	0,205984%	-	10	1
29.034,85	59,81	29.094,66	624,57	1,29	625,86	28.468,80	0,205984%	-	11	1
28.468,80	58,64	28.527,44	625,86	1,29	627,15	27.900,30	0,205984%	-	12	1
27.900,30	57,47	27.957,77	627,15	1,29	628,44	27.329,33	0,205984%	-	13	2
27.329,33	56,29	27.385,62	628,44	1,29	629,73	26.755,89	0,205984%	-	14	2
26.755,89	55,11	26.811,00	629,73	1,30	631,03	26.179,97	0,205984%	-	15	2
26.179,97	53,93	26.233,90	631,03	1,30	632,33	25.601,57	0,205984%	-	16	2
25.601,57	52,74	25.654,30	632,33	1,30	633,63	25.020,67	0,205984%	-	17	2
25.020,67	51,54	25.072,21	633,63	1,31	634,94	24.437,27	0,205984%	-	18	2
24.437,27	50,34	24.487,61	634,94	1,31	636,25	23.851,36	0,205984%	-	19	2
23.851,36	49,13	23.900,49	636,25	1,31	637,56	23.262,94	0,205984%	-	20	2
23.262,94	47,92	23.310,85	637,56	1,31	638,87	22.671,98	0,205984%	-	21	2
22.671,98	46,70	22.718,69	638,87	1,32	640,19	22.078,50	0,205984%	-	22	2
22.078,50	45,48	22.123,98	640,19	1,32	641,50	21.482,47	0,205984%	-	23	2

21.482,47	44,25	21.526,72	641,50	1,32	642,83	20.883,90	0,205984%	-	24	2
20.883,90	43,02	20.926,92	642,83	1,32	644,15	20.282,77	0,205984%	-	25	3
20.282,77	41,78	20.324,55	644,15	1,33	645,48	19.679,07	0,205984%	-	26	3
19.679,07	40,54	19.719,60	645,48	1,33	646,81	19.072,80	0,205984%	-	27	3
19.072,80	39,29	19.112,09	646,81	1,33	648,14	18.463,95	0,205984%	-	28	3
18.463,95	38,03	18.501,98	648,14	1,34	649,47	17.852,51	0,205984%	-	29	3
17.852,51	36,77	17.889,28	649,47	1,34	650,81	17.238,47	0,205984%	-	30	3
17.238,47	35,51	17.273,98	650,81	1,34	652,15	16.621,83	0,205984%	-	31	3
16.621,83	34,24	16.656,06	652,15	1,34	653,50	16.002,57	0,205984%	-	32	3
16.002,57	32,96	16.035,53	653,50	1,35	654,84	15.380,69	0,205984%	-	33	3
15.380,69	31,68	15.412,37	654,84	1,35	656,19	14.756,18	0,205984%	-	34	3
14.756,18	30,40	14.786,58	656,19	1,35	657,54	14.129,04	0,205984%	-	35	3
14.129,04	29,10	14.158,14	657,54	1,35	658,90	13.499,24	0,205984%	-	36	3
13.499,24	27,81	13.527,05	658,90	1,36	660,25	12.866,80	0,205984%	-	37	4
12.866,80	26,50	12.893,30	660,25	1,36	661,61	12.231,69	0,205984%	-	38	4
12.231,69	25,20	12.256,88	661,61	1,36	662,98	11.593,91	0,205984%	-	39	4
11.593,91	23,88	11.617,79	662,98	1,37	664,34	10.953,45	0,205984%	-	40	4
10.953,45	22,56	10.976,01	664,34	1,37	665,71	10.310,30	0,205984%	-	41	4
10.310,30	21,24	10.331,53	665,71	1,37	667,08	9.664,45	0,205984%	-	42	4
9.664,45	19,91	9.684,36	667,08	1,37	668,46	9.015,90	0,205984%	-	43	4
9.015,90	18,57	9.034,48	668,46	1,38	669,83	8.364,64	0,205984%	-	44	4
8.364,64	17,23	8.381,87	669,83	1,38	671,21	7.710,66	0,205984%	-	45	4
7.710,66	15,88	7.726,54	671,21	1,38	672,59	7.053,95	0,205984%	-	46	4
7.053,95	14,53	7.068,48	672,59	1,39	673,98	6.394,50	0,205984%	-	47	4
6.394,50	13,17	6.407,67	673,98	1,39	675,37	5.732,30	0,205984%	-	48	4
5.732,30	11,81	5.744,11	675,37	1,39	676,76	5.067,35	0,205984%	-	49	5
5.067,35	10,44	5.077,79	676,76	1,39	678,15	4.399,63	0,205984%	-	50	5
4.399,63	9,06	4.408,70	678,15	1,40	679,55	3.729,15	0,205984%	-	51	5
3.729,15	7,68	3.736,83	679,55	1,40	680,95	3.055,88	0,205984%	-	52	5
3.055,88	6,29	3.062,17	680,95	1,40	682,35	2.379,82	0,205984%	-	53	5
2.379,82	4,90	2.384,72	682,35	1,41	683,76	1.700,96	0,205984%	-	54	5
1.700,96	3,50	1.704,47	683,76	1,41	685,17	1.019,30	0,205984%	-	55	5
1.019,30	2,10	1.021,40	685,17	1,41	686,58	334,82	0,205984%	-	56	5
334,82	0,69	335,51	686,58	1,41	687,99	335,51	0,205984%	352,48	57	5
-	-	-	687,99	1,42	689,41	-	0,205984%	689,41	58	5
-	-	-	689,41	1,42	690,83	-	0,205984%	690,83	59	5
-	-	-	690,83	1,42	692,25	-	0,205984%	692,25	60	5
-	-	-	692,25	1,43	693,68	-	0,205984%	693,68	61	6
-	-	-	693,68	1,43	695,11	-	0,205984%	695,11	62	6
-	-	-	695,11	1,43	696,54	-	0,205984%	696,54	63	6
-	-	-	696,54	1,43	697,97	-	0,205984%	697,97	64	6

-	-	-	697,97	1,44	699,41	-	0,205984%	699,41	65	6
-	-	-	699,41	1,44	700,85	-	0,205984%	700,85	66	6
-	-	-	700,85	1,44	702,30	-	0,205984%	702,30	67	6
-	-	-	702,30	1,45	703,74	-	0,205984%	703,74	68	6
-	-	-	703,74	1,45	705,19	-	0,205984%	705,19	69	6
-	-	-	705,19	1,45	706,64	-	0,205984%	706,64	70	6
-	-	-	706,64	1,46	708,10	-	0,205984%	708,10	71	6
-	-	-	708,10	1,46	709,56	-	0,205984%	709,56	72	6
-	-	-	709,56	1,46	711,02	-	0,205984%	711,02	73	7
-	-	-	711,02	1,46	712,49	-	0,205984%	712,49	74	7
-	-	-	712,49	1,47	713,95	-	0,205984%	713,95	75	7
-	-	-	713,95	1,47	715,42	-	0,205984%	715,42	76	7
-	-	-	715,42	1,47	716,90	-	0,205984%	716,90	77	7
-	-	-	716,90	1,48	718,37	-	0,205984%	718,37	78	7
-	-	-	718,37	1,48	719,85	-	0,205984%	719,85	79	7
-	-	-	719,85	1,48	721,34	-	0,205984%	721,34	80	7
-	-	-	721,34	1,49	722,82	-	0,205984%	722,82	81	7
-	-	-	722,82	1,49	724,31	-	0,205984%	724,31	82	7
-	-	-	724,31	1,49	725,80	-	0,205984%	725,80	83	7
-	-	-	725,80	1,50	727,30	-	0,205984%	727,30	84	7
-	-	-	727,30	1,50	728,80	-	0,205984%	728,80	85	8
-	-	-	728,80	1,50	730,30	-	0,205984%	730,30	86	8
-	-	-	730,30	1,50	731,80	-	0,205984%	731,80	87	8
-	-	-	731,80	1,51	733,31	-	0,205984%	733,31	88	8
-	-	-	733,31	1,51	734,82	-	0,205984%	734,82	89	8
-	-	-	734,82	1,51	736,33	-	0,205984%	736,33	90	8
-	-	-	736,33	1,52	737,85	-	0,205984%	737,85	91	8
-	-	-	737,85	1,52	739,37	-	0,205984%	739,37	92	8
-	-	-	739,37	1,52	740,89	-	0,205984%	740,89	93	8
-	-	-	740,89	1,53	742,42	-	0,205984%	742,42	94	8
-	-	-	742,42	1,53	743,95	-	0,205984%	743,95	95	8
-	-	-	743,95	1,53	745,48	-	0,205984%	745,48	96	8
-	-	-	745,48	1,54	747,02	-	0,205984%	747,02	97	9
-	-	-	747,02	1,54	748,55	-	0,205984%	748,55	98	9
-	-	-	748,55	1,54	750,10	-	0,205984%	750,10	99	9
-	-	-	750,10	1,55	751,64	-	0,205984%	751,64	100	9
-	-	-	751,64	1,55	753,19	-	0,205984%	753,19	101	9
-	-	-	753,19	1,55	754,74	-	0,205984%	754,74	102	9
-	-	-	754,74	1,55	756,30	-	0,205984%	756,30	103	9
-	-	-	756,30	1,56	757,85	-	0,205984%	757,85	104	9
-	-	-	757,85	1,56	759,41	-	0,205984%	759,41	105	9

-	-	-	759,41	1,56	760,98	-	0,205984%	760,98	106	9
-	-	-	760,98	1,57	762,55	-	0,205984%	762,55	107	9
-	-	-	762,55	1,57	764,12	-	0,205984%	764,12	108	9
-	-	-	764,12	1,57	765,69	-	0,205984%	765,69	109	10
-	-	-	765,69	1,58	767,27	-	0,205984%	767,27	110	10
-	-	-	767,27	1,58	768,85	-	0,205984%	768,85	111	10
-	-	-	768,85	1,58	770,43	-	0,205984%	770,43	112	10
-	-	-	770,43	1,59	772,02	-	0,205984%	772,02	113	10
-	-	-	772,02	1,59	773,61	-	0,205984%	773,61	114	10
-	-	-	773,61	1,59	775,20	-	0,205984%	775,20	115	10
-	-	-	775,20	1,60	776,80	-	0,205984%	776,80	116	10
-	-	-	776,80	1,60	778,40	-	0,205984%	778,40	117	10
-	-	-	778,40	1,60	780,00	-	0,205984%	780,00	118	10
-	-	-	780,00	1,61	781,61	-	0,205984%	781,61	119	10
-	-	-	781,61	1,61	783,22	-	0,205984%	783,22	120	10
-	-	-	783,22	1,61	784,83	-	0,205984%	784,83	121	11
-	-	-	784,83	1,62	786,45	-	0,205984%	786,45	122	11
-	-	-	786,45	1,62	788,07	-	0,205984%	788,07	123	11
-	-	-	788,07	1,62	789,69	-	0,205984%	789,69	124	11
-	-	-	789,69	1,63	791,32	-	0,205984%	791,32	125	11
-	-	-	791,32	1,63	792,95	-	0,205984%	792,95	126	11
-	-	-	792,95	1,63	794,58	-	0,205984%	794,58	127	11
-	-	-	794,58	1,64	796,22	-	0,205984%	796,22	128	11
-	-	-	796,22	1,64	797,86	-	0,205984%	797,86	129	11
-	-	-	797,86	1,64	799,50	-	0,205984%	799,50	130	11
-	-	-	799,50	1,65	801,15	-	0,205984%	801,15	131	11
-	-	-	801,15	1,65	802,80	-	0,205984%	802,80	132	11
-	-	-	802,80	1,65	804,45	-	0,205984%	804,45	133	12
-	-	-	804,45	1,66	806,11	-	0,205984%	806,11	134	12
-	-	-	806,11	1,66	807,77	-	0,205984%	807,77	135	12
-	-	-	807,77	1,66	809,44	-	0,205984%	809,44	136	12
-	-	-	809,44	1,67	811,10	-	0,205984%	811,10	137	12
-	-	-	811,10	1,67	812,77	-	0,205984%	812,77	138	12
-	-	-	812,77	1,67	814,45	-	0,205984%	814,45	139	12
-	-	-	814,45	1,68	816,13	-	0,205984%	816,13	140	12
-	-	-	816,13	1,68	817,81	-	0,205984%	817,81	141	12
-	-	-	817,81	1,68	819,49	-	0,205984%	819,49	142	12
-	-	-	819,49	1,69	821,18	-	0,205984%	821,18	143	12
-	-	-	821,18	1,69	822,87	-	0,205984%	822,87	144	12
-	-	-	822,87	1,69	824,57	-	0,205984%	824,57	145	13
-	-	-	824,57	1,70	826,26	-	0,205984%	826,26	146	13

-	-	-	826,26	1,70	827,97	-	0,205984%	827,97	147	13
-	-	-	827,97	1,71	829,67	-	0,205984%	829,67	148	13
-	-	-	829,67	1,71	831,38	-	0,205984%	831,38	149	13
-	-	-	831,38	1,71	833,09	-	0,205984%	833,09	150	13
-	-	-	833,09	1,72	834,81	-	0,205984%	834,81	151	13
-	-	-	834,81	1,72	836,53	-	0,205984%	836,53	152	13
-	-	-	836,53	1,72	838,25	-	0,205984%	838,25	153	13
-	-	-	838,25	1,73	839,98	-	0,205984%	839,98	154	13
-	-	-	839,98	1,73	841,71	-	0,205984%	841,71	155	13
-	-	-	841,71	1,73	843,44	-	0,205984%	843,44	156	13
-	-	-	843,44	1,74	845,18	-	0,205984%	845,18	157	14
-	-	-	845,18	1,74	846,92	-	0,205984%	846,92	158	14
-	-	-	846,92	1,74	848,67	-	0,205984%	848,67	159	14
-	-	-	848,67	1,75	850,41	-	0,205984%	850,41	160	14
-	-	-	850,41	1,75	852,17	-	0,205984%	852,17	161	14
-	-	-	852,17	1,76	853,92	-	0,205984%	853,92	162	14
-	-	-	853,92	1,76	855,68	-	0,205984%	855,68	163	14
-	-	-	855,68	1,76	857,44	-	0,205984%	857,44	164	14
-	-	-	857,44	1,77	859,21	-	0,205984%	859,21	165	14
-	-	-	859,21	1,77	860,98	-	0,205984%	860,98	166	14
-	-	-	860,98	1,77	862,75	-	0,205984%	862,75	167	14
-	-	-	862,75	1,78	864,53	-	0,205984%	864,53	168	14
-	-	-	864,53	1,78	866,31	-	0,205984%	866,31	169	15
-	-	-	866,31	1,78	868,09	-	0,205984%	868,09	170	15
-	-	-	868,09	1,79	869,88	-	0,205984%	869,88	171	15
-	-	-	869,88	1,79	871,67	-	0,205984%	871,67	172	15
-	-	-	871,67	1,80	873,47	-	0,205984%	873,47	173	15
-	-	-	873,47	1,80	875,27	-	0,205984%	875,27	174	15
-	-	-	875,27	1,80	877,07	-	0,205984%	877,07	175	15
-	-	-	877,07	1,81	878,88	-	0,205984%	878,88	176	15
-	-	-	878,88	1,81	880,69	-	0,205984%	880,69	177	15
-	-	-	880,69	1,81	882,50	-	0,205984%	882,50	178	15
-	-	-	882,50	1,82	884,32	-	0,205984%	884,32	179	15
-	-	-	884,32	1,82	886,14	-	0,205984%	886,14	180	15
-	-	-	886,14	1,83	887,97	-	0,205984%	887,97	181	16
-	-	-	887,97	1,83	889,80	-	0,205984%	889,80	182	16
-	-	-	889,80	1,83	891,63	-	0,205984%	891,63	183	16
-	-	-	891,63	1,84	893,47	-	0,205984%	893,47	184	16
-	-	-	893,47	1,84	895,31	-	0,205984%	895,31	185	16
-	-	-	895,31	1,84	897,15	-	0,205984%	897,15	186	16
-	-	-	897,15	1,85	899,00	-	0,205984%	899,00	187	16

-	-	-	899,00	1,85	900,85	-	0,205984%	900,85	188	16
-	-	-	900,85	1,86	902,71	-	0,205984%	902,71	189	16
-	-	-	902,71	1,86	904,57	-	0,205984%	904,57	190	16
-	-	-	904,57	1,86	906,43	-	0,205984%	906,43	191	16
-	-	-	906,43	1,87	908,30	-	0,205984%	908,30	192	16
-	-	-	908,30	1,87	910,17	-	0,205984%	910,17	193	17
-	-	-	910,17	1,87	912,04	-	0,205984%	912,04	194	17
-	-	-	912,04	1,88	913,92	-	0,205984%	913,92	195	17
-	-	-	913,92	1,88	915,80	-	0,205984%	915,80	196	17
-	-	-	915,80	1,89	917,69	-	0,205984%	917,69	197	17
-	-	-	917,69	1,89	919,58	-	0,205984%	919,58	198	17
-	-	-	919,58	1,89	921,47	-	0,205984%	921,47	199	17
-	-	-	921,47	1,90	923,37	-	0,205984%	923,37	200	17
-	-	-	923,37	1,90	925,27	-	0,205984%	925,27	201	17
-	-	-	925,27	1,91	927,18	-	0,205984%	927,18	202	17
-	-	-	927,18	1,91	929,09	-	0,205984%	929,09	203	17
-	-	-	929,09	1,91	931,00	-	0,205984%	931,00	204	17
-	-	-	931,00	1,92	932,92	-	0,205984%	932,92	205	18
-	-	-	932,92	1,92	934,84	-	0,205984%	934,84	206	18
-	-	-	934,84	1,93	936,77	-	0,205984%	936,77	207	18
-	-	-	936,77	1,93	938,70	-	0,205984%	938,70	208	18
-	-	-	938,70	1,93	940,63	-	0,205984%	940,63	209	18
-	-	-	940,63	1,94	942,57	-	0,205984%	942,57	210	18
-	-	-	942,57	1,94	944,51	-	0,205984%	944,51	211	18
-	-	-	944,51	1,95	946,46	-	0,205984%	946,46	212	18
-	-	-	946,46	1,95	948,41	-	0,205984%	948,41	213	18
-	-	-	948,41	1,95	950,36	-	0,205984%	950,36	214	18
-	-	-	950,36	1,96	952,32	-	0,205984%	952,32	215	18
-	-	-	952,32	1,96	954,28	-	0,205984%	954,28	216	18
-	-	-	954,28	1,97	956,24	-	0,205984%	956,24	217	19
-	-	-	956,24	1,97	958,21	-	0,205984%	958,21	218	19
-	-	-	958,21	1,97	960,19	-	0,205984%	960,19	219	19
-	-	-	960,19	1,98	962,16	-	0,205984%	962,16	220	19
-	-	-	962,16	1,98	964,15	-	0,205984%	964,15	221	19
-	-	-	964,15	1,99	966,13	-	0,205984%	966,13	222	19
-	-	-	966,13	1,99	968,12	-	0,205984%	968,12	223	19
-	-	-	968,12	1,99	970,12	-	0,205984%	970,12	224	19
-	-	-	970,12	2,00	972,12	-	0,205984%	972,12	225	19
-	-	-	972,12	2,00	974,12	-	0,205984%	974,12	226	19
-	-	-	974,12	2,01	976,12	-	0,205984%	976,12	227	19
-	-	-	976,12	2,01	978,13	-	0,205984%	978,13	228	19

-	-	-	978,13	2,01	980,15	-	0,205984%	980,15	229	20
-	-	-	980,15	2,02	982,17	-	0,205984%	982,17	230	20
-	-	-	982,17	2,02	984,19	-	0,205984%	984,19	231	20
-	-	-	984,19	2,03	986,22	-	0,205984%	986,22	232	20
-	-	-	986,22	2,03	988,25	-	0,205984%	988,25	233	20
-	-	-	988,25	2,04	990,29	-	0,205984%	990,29	234	20
-	-	-	990,29	2,04	992,33	-	0,205984%	992,33	235	20
-	-	-	992,33	2,04	994,37	-	0,205984%	994,37	236	20
-	-	-	994,37	2,05	996,42	-	0,205984%	996,42	237	20
-	-	-	996,42	2,05	998,47	-	0,205984%	998,47	238	20
-	-	-	998,47	2,06	1.000,53	-	0,205984%	1.000,53	239	20
-	-	-	1.000,53	2,06	1.002,59	-	0,205984%	1.002,59	240	20
								153.395,64		