



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VII
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E SOCIAIS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA**

GISELLY RAMALHO DA SILVA

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: DIMENSIONAMENTO DE UM
SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UMA RESIDÊNCIA NA CIDADE
DE PATOS/PB**

**PATOS
2022**

GISELLY RAMALHO DA SILVA

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: DIMENSIONAMENTO DE UM
SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UMA RESIDÊNCIA NA CIDADE DE
PATOS/PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, como
requisito parcial para obtenção do título de
graduação em Física.

Área de concentração: Física Geral

Orientador: Prof. Dr. Valdeci Mestre da Silva Júnior

**PATOS
2022**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586e Silva, Giselly Ramalho da.
Energia solar fotovoltaica [manuscrito] : dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma residência na cidade de Patos /PB / Giselly Ramalho da Silva. - 2022.
28 p. : il. colorido.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas , 2022.
"Orientação : Prof. Dr. Valdeci Mestre da Silva Júnior , Coordenação do Curso de Física - CCEA."

1. Energia renovável. 2. Energia solar fotovoltaica. 3. Potencial energético . I. Título

21. ed. CDD 333.792 3

GISELLY RAMALHO DA SILVA

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: DIMENSIONAMENTO DE UM
SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UMA RESIDÊNCIA NA CIDADE
DE PATOS/PB

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual da
Paraíba - UEPB, como requisito parcial para
obtenção do título de graduação em Física.
Área de concentração: Física Geral

Aprovado em: 30/11/2022

BANCA EXAMINADORA




Prof. Dr. Valdeci Mestre da Silva Júnior (Orientador)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Ms. Rejane Maria da Silva Farias

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Everton Cavalcante

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

“A gravidade explica os movimentos dos planetas, mas não pode explicar quem colocou os planetas em movimento. Deus governa todas as coisas e sabe tudo que é ou pode ser feito.”
(Isaac Newton)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Irradiação solar anual no Brasil

Figura 2 – Primeiro experimento de Edmond Becquerel com célula fotovoltaica.

Figura 3 – Painel fotovoltaico

Figura 4 – Inversor

Figura 5 – Bateria

Figura 6 – Quadro de distribuição

Figura 7 – Medidor bidirecional

Figura 8 – Fluxo de energia vindo do sistema fotovoltaico e da rede de distribuição respectivamente

Figura 9 – Controlador de carga

Figura 10 – Dados de inclinação e irradiação diária.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa de consumo mensal

Tabela 2 – Investimento para instalação de sistema fotovoltaico

LISTA DE REDUÇÕES

kWp – Quilowatt pico

kWh – Quilowatt hora

W – Watt

kW – Quilowatt

kW/mês – Quilowatt por mês

kWh/dia – Quilowatt-hora por dia

V - Volt

kWh/m²dia - Quilowatt-hora por metro quadrado dia

Wh/m² - Watt-hora por metro quadrado

GW - Gigawatt

DDP – Diferença de potencial (tensão)

CC – Corrente contínua

CA – Corrente alternada

°C – Celcius (unidade de medida da temperatura)

Np – número de placas

Pt – potência total

Pp – potência das placas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. METODOLOGIA	14
3. DESENVOLVIMENTO	15
3.1 COMPONENTES PRINCIPAIS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	15
3.1.1 PAINEL SOLAR	15
3.1.2 INVERSOR	16
3.1.3 BATERIAS	17
3.1.4 QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO	18
3.1.5 MEDIDOR BIDIRECIONAL.....	19
3.1.6 CONTROLADOR DE CARGA	20
3.1.7 DIMENSIONAMENTO.....	20
4. RESULTADOS.....	21
4.1 DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO	21
4.2 CÁLCULO DO INVESTIMENTO	24
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
REFERÊNCIAS	26

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UMA RESIDÊNCIA NA CIDADE DE PATOS/PB

Giselly Ramalho da Silva¹

Valdeci Mestre da Silva Júnior²

RESUMO

Diminuir os impactos ambientais e encontrar uma matriz energética limpa para geração de energia elétrica continua sendo a pauta principal dos novos tempos. Dessa forma, as fontes de energia renovável ganham força, pois, além de suprir essa procura, amenizam os problemas do meio ambiente. Diante deste cenário, o objetivo deste trabalho foi analisar o processo de geração de um sistema de energia solar fotovoltaica bem como um levantamento de dados para um dimensionamento em uma residência. Assim sendo, a pesquisa procedeu com base em uma pesquisa bibliográfica e uma pesquisa qualitativa em uma residência localizada na cidade de Patos, na Paraíba. Com isso, foi possível compreender quais os principais equipamentos que compõem o sistema fotovoltaico, assim como as suas funções nesse contexto, os cálculos necessários para planejar o sistema e ainda ter uma ideia do investimento que deve ser feito para gerar energia a partir do Sol. Portanto, acredita-se que a geração de energia solar fotovoltaica é um excelente meio de preservar o meio ambiente e contribuir com o desenvolvimento econômico da região, evidenciando a implantação dos sistemas como um investimento vantajoso em diversas esferas.

Palavras-chaves: Energias renováveis; energia solar fotovoltaica; potencial energético.

ABSTRACT

Decreasing environmental impacts and finding a clean energy matrix for electric power generation continues to be the main agenda of the new times. In this way, renewable energy sources gain strength, as, in addition to meeting this demand, they alleviate environmental problems. Given this scenario, the objective of this work was to analyze the process of generating a photovoltaic solar energy system as well as a data collection for a dimensioning in a residence. Therefore, the research proceeded based on bibliographical research and qualitative research in a residence located in the city of Patos, in Paraíba. With this, it was possible to understand which are the main equipments that make up the photovoltaic system, as well as their functions in this context, the necessary calculations to plan the system and still have an idea of the investment that must be made to generate energy from the Sun. Therefore, it is believed that the generation of photovoltaic solar energy is an excellent way to preserve the environment and contribute to the economic development of the region, showing the implementation of systems as an advantageous investment in several spheres.

Keywords: Renewable energy; photovoltaic solar energy; energetic potential.

1 INTRODUÇÃO

É notável que a crise no setor energético tem aumentado a cada ano. Esse cenário tem relação direta com a falta de chuvas, elemento primordial para a geração de energia nas hidrelétricas, as quais são responsáveis pela geração de maior parte da energia do Brasil. Para resolver isso, tem-se usado com frequência as usinas termelétricas. No entanto, estas usinas trabalham com queima de carvão, combustível e petróleo, resultando na concentração destes elementos na atmosfera e contribuindo para o aumento dos problemas ambientais.

Com o aumento da emissão desses gases, na última década (2011-2020) foi registrada um aumento de 1,1°C na temperatura do planeta, a mais quente já vista (ONU, 2022). Este cenário tende a comprometer o meio ambiente, haja vista que os gases não são renováveis, além disso não conseguem suprir demandas futuras e também causam um impacto na economia, pois o consumidor, cada vez mais, consome uma energia cara.

No intuito de conter essas emissões estabeleceu-se o Protocolo de *Kyoto*. O documento é uma extensão mais rígida da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a mudança de clima, que tem como finalidade o enfrentamento ao aquecimento global e o efeito estufa. O protocolo foi assinado em 1995, em Berlim, na Alemanha, por diversos países que firmaram um compromisso com a causa ambiental, bem como ficou acordado que os países desenvolvidos iriam se comprometer com a diminuição de gases poluentes. O objetivo era o de adotar medidas para uma mudança climática, diminuindo a emissão de gases poluentes, como o gás carbônico (CO₂) (BRASIL, 2004).

Salienta-se ainda que outra decisão importante foi tomada por mais de 195 países em 2015, através do chamado Acordo de Paris. Na XXI Conferência do Clima de Paris (COP21), também no ano de 2015, estabeleceu-se um fundo multibilionário destinado ao desenvolvimento de energias renováveis, ensino e pesquisa. Ademais, a fim de que o globo não entre em colapso climaticamente, a cada 5 anos representantes do planeta Terra se unem para traçar metas de redução de gases prejudiciais ao ambiente (ONU, 2015; LACLIMA, 2021).

Em suma, manifesta-se um interesse em tentar substituir a energia atual e encontrar uma matriz energética que supra a necessidade do consumo acelerado. Todavia, é papel da humanidade mudar seus hábitos para que não haja extinção das reservas, já que alguns recursos não são renováveis. Villalva (2015) concorda que quando fala sobre a importância das fontes renováveis em muitos países para a geração de energia elétrica, não traz dano ao planeta. É com esse pensamento que surge a temática de explorar o Sol, usando energia emitida por ele e que é recebida na Terra.

Ainda mais, é indispensável elencar a constitucionalidade:

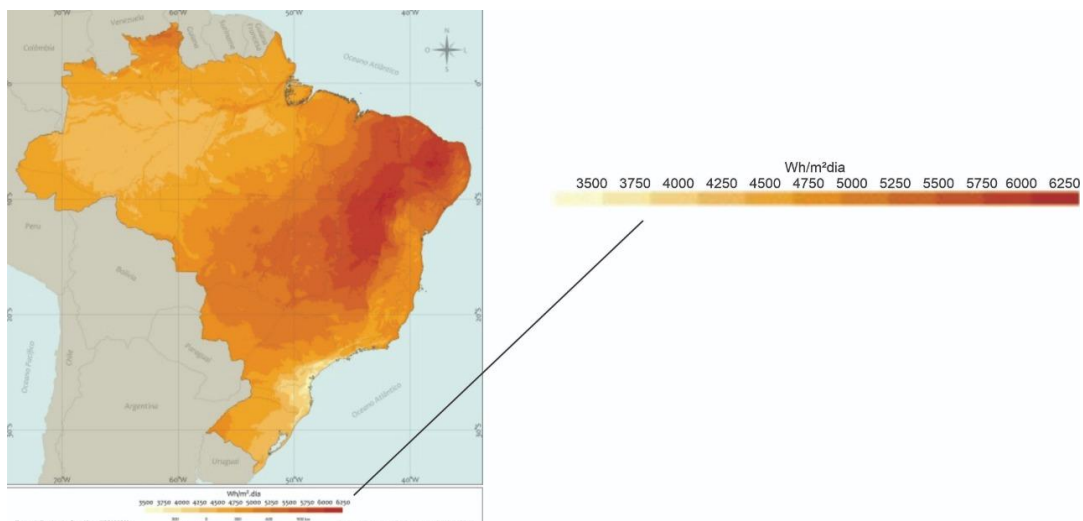
Art. 225 – Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

O interesse em explorar o sol é uma ideia antiga e se deve ao grande potencial energético que o mesmo possui. Segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB, 2006), o Sol fornece à Terra cerca de $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia através da radiação solar. São cerca de 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m² de irradiação que são incididos no Brasil. Ademais, é importante citar que, segundo Rella (2017), o país recebe mais de 3 mil horas de insolação por ano e a capacidade instalada no país é da ordem de 132 GW.

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR, 2022), a fonte solar, no Brasil, já evitou cerca de 23,6 milhões de toneladas de CO₂, e ainda mais, o referido país ultrapassou a marca de 16GW de potência instalada. Esses dados trouxeram como benefício R\$ 86,2 bilhões em novos investimentos, R\$ 22,8 bilhões de arrecadação em cofres públicos e 479,8 mil gerações de empregos. Diante dessas informações, que resumem o grande potencial energético do país, torna-se fundamental o estudo proposto por este artigo.

A Figura 1 apresenta o Atlas Brasileiro de Energia Solar, o que permite observar a irradiação solar diária medida anualmente no Brasil.

Figura 1 – Irradiação solar anual no Brasil



Fonte: Pereira et al. (2017).

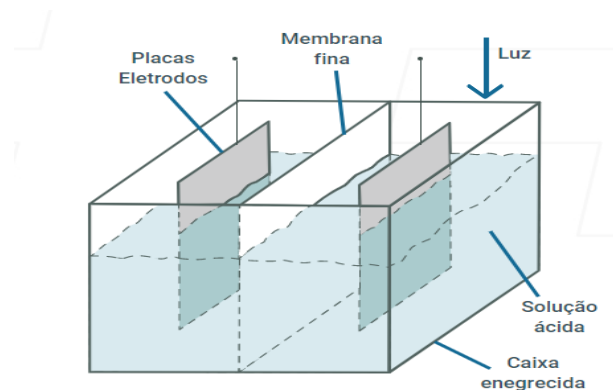
Pelo mapa acima, verifica-se que as regiões de maior irradiação são: sertão da Paraíba, sul do Rio Grande do Norte e uma estreita área no norte do Pernambuco. Nota-se ainda que o Nordeste é a maior região que se privilegia em receber um bom rendimento solar.

O acesso à geração de uma energia alternativa no Brasil foi impulsionado após a publicação da Resolução Normativa (RN) n. 482, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 17 de abril de 2012, a qual “estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências”.

A tecnologia hoje permite o aproveitamento de grande quantidade da radiação que chega até a Terra, transformando-a em eletricidade através dos sistemas de energia fotovoltaicos. De acordo com Costa e Silva (2017, p. 19), “o sistema fotovoltaico define-se como um conjunto de equipamentos reunidos cuja finalidade é transformar a energia solar em energia elétrica, disponibilizando-a para utilização em correntes contínuas ou alternadas, seja em períodos que haja incidência solar ou não”.

A transformação da energia solar em elétrica foi estudada pela primeira vez em 1839, por Alexandre Edmond Becquerel, um físico nascido em Paris que se dedicou a estudar sobre determinados aspectos da luz. Becquerel analisou a primeira célula fotovoltaica através do laboratório de seu pai Antonie Cesar Becquerel, amigo e colega de trabalho de Pierre e Marie Curie (BECQUEREL, 1839). Becquerel filho, estudando cuidadosamente a célula verificou que placas de prata ou platina em uma caixa, com uma solução ácida e expostas à luz resultava em uma diferença de potencial (DDP ou tensão) (TIRAPELLE; MURA; FRAZÃO, 2013).

Figura 2 – Primeiro experimento de Edmond Becquerel com célula fotovoltaica



Fonte: Pina (2013).

De acordo com Nascimento (2004), quando nos extremos de uma estrutura de matéria semicondutora surge uma diferença de potencial elétrico, é devido à incidência de luz. Ou seja, alguns materiais quando expostos a luz solar produzem corrente e Becquerel mostrou experimentalmente que de fato havia uma pequena quantidade de corrente nos eletrodos. O autor também diz que essas células não armazenam energia elétrica, apenas mantém um fluxo de elétrons enquanto expostas a luz gerando assim corrente elétrica.

A tensão surge devido a um processo chamado efeito fotovoltaico, é quando um elétron recebe energia através dos fótons na banda de valência e salta para a banda de condução, gerando corrente. (JENSEN, 2021)

O presente experimento de Becquerel é o princípio para gerar energia elétrica, no entanto, para que ocorra a geração deve haver um sistema de componentes como: os painéis solares, inversor, quadro de distribuição, medidor bidirecional, cabos e conectores. Os quais, de acordo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade de Tecnologia (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2021), devem ter eficiência e segurança.

Dessa forma, este trabalho objetivou apresentar um estudo sobre o processo de geração dessa energia, bem como o dimensionamento de um sistema fotovoltaico a partir do levantamento de dados através de uma pesquisa qualitativa buscando suprir a necessidade energética de uma residência.

2 METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica e qualitativa, que, de acordo com Severino (2007), realiza-se através de pesquisas, livros, artigos, documentos impressos e outros materiais já publicados, fazendo uso, portanto de dados já analisados por outros pesquisadores.

A pesquisa procedeu-se com base nas observações acerca do tema sobre energia solar fotovoltaica. Para a realização do estudo, foi necessário compreender o funcionamento de cada equipamento que compõe um sistema solar fotovoltaico, assim como entender e analisar a função de cada um nesse contexto.

Tendo em vista que o propósito do procedimento é mostrar informações de cada equipamento e através de uma pesquisa qualitativa, obter o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma residência localizada na cidade de Patos, na Paraíba (PB), na região Nordeste que segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil, possui um dos maiores índices de irradiação solar.

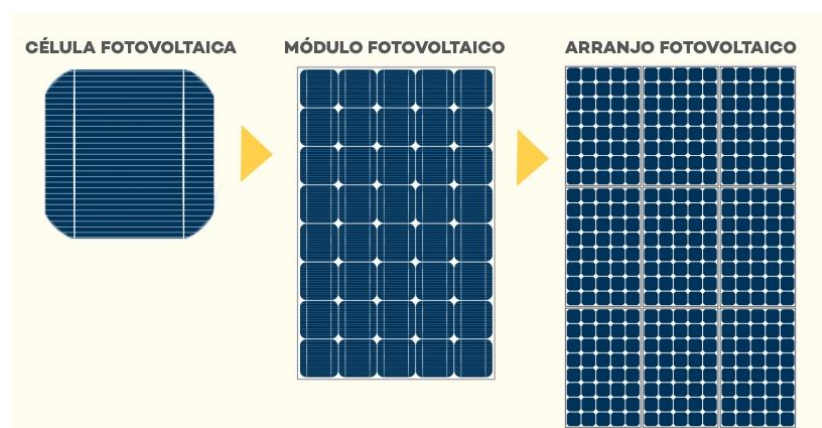
3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Componentes principais de um sistema fotovoltaico

3.1.1 Painel ou módulo fotovoltaico

Segundo Pinho e Galdino (2014), o painel ou módulo fotovoltaico (Figura 3) é a unidade básica de todo o sistema. Sua função é converter a radiação solar em energia elétrica. Sendo composto por células conectadas em arranjos produzindo tensão e corrente suficientes para a utilização da energia. Uma das maneiras de verificar a qualidade dos módulos é verificando o seu nível de eficiência, ou seja, há módulos fotovoltaicos com eficiência de 20%, o que significa dizer que ele transforma 1/5 da luz que recebe em eletricidade. Ainda de acordo com Nascimento (2004), essas células não armazenam energia elétrica, porém estabelecem um fluxo de elétrons quando há incidência da luz gerando corrente elétrica. Além disso, em sua maioria são formadas de silício. O autor citado também afirma que esses materiais podem ser silício monocristalino, policristalino ou amorfo. Alguns outros tipos de materiais estão sendo explorados, como é o caso dos filmes fino de menor custo, mas sua eficiência é baixa comparado com os outros materiais.

Figura 3 – Painel fotovoltaico



Fonte: NeoSolar (2016).

Nascimento (2004) também afirma que cada célula fotovoltaica gera uma tensão de 0,4 a 0,6 Volt, que quando associadas em série, a soma dessas células gera uma tensão maior formando os módulos fotovoltaicos. O conjunto desses módulos ou painéis, por sua vez formam

os arranjos fotovoltaico. Franco e Sousa (2018) diz que esses painéis podem ser ligados em série ou em paralelo, tendo em vista que se ligados em série existirá um somatório nas tensões mantendo a mesma corrente, já em paralelo somam-se as correntes e a tensão permanece a mesma.

3.1.2 Inversor

Outro componente que compõe o sistema fotovoltaico é o inversor, exemplificado na Figura 4. A principal função desse equipamento, segundo Costa e Silva (2017, p. 28) é converter a “energia elétrica de corrente contínua para corrente alternada, sendo por isso também conhecidos como conversores CC-CA”. A importância dos inversores no sistema se dá porque a corrente que sai dos painéis fotovoltaicos é contínua (CC), porém, os equipamentos em geral, que receberão a energia elétrica, trabalham em corrente alternada (CA). Já em relação à tensão, recebe tensões em CC e libera tensões em CA, essas tensões vão de acordo com a rede elétrica da região, Estado ou município.

Figura 4 - Inversor



Fonte: TekSolar (2022).

Os inversores, em sua maioria, são instalados próximo ao quadro de luz e caso haja queda de energia ele desligará automaticamente afim de garantir a segurança do sistema. Ademais, ainda trabalham no monitoramento e controle do desempenho máximo dos módulos fotovoltaicos; controle dos parâmetros da energia entregue à rede; identificação de anomalias

no sistema e na rede assegurando os equipamentos e pessoas, assim como realiza o registro da quantidade de energia produzida (TEKSOLAR, 2022).

Alguns inversores tem um visor a mostra contendo informações sobre a geração e outros inversores pode-se fazer este monitoramento através de site ou aplicativos. Essa função, exhibe dados em tempo real da geração; como por ex: tensão da rede, saída da corrente, total de energia gerada no dia, no mês, tempo e horas de operação e entre outros. (SOLAR ENERGY, 2014)

3.1.3 Baterias

As baterias são usadas apenas em sistemas isolados, isto é, desconectados da rede elétrica. Dessa forma, elas têm a função de armazenar toda energia gerada pelos painéis durante o dia, para garantir o uso da mesma à noite e em dias nublados, já que a geração de energia nesses momentos é pouca ou até mesmo nenhuma. Porém, de acordo com Costa e Silva (2017), esse é um dos desafios dessa fonte alternativa de energia, pois o consumo não é feito simultaneamente à geração.

Para Sonogo (2021), as baterias podem ser divididas em 2 classes, sendo elas: as primárias e as secundárias. A diferença entre elas é que quando os reagentes responsáveis pela produção se esgotam, a primária não possui recarga, já a secundária, sim. Assim, os autores supracitados acrescentam que nesses equipamentos a energia elétrica é armazenada sob a forma de energia química e, quando se necessita dessa energia armazenada, ela é novamente convertida em energia elétrica. Diante disso, salienta-se que as baterias secundárias podem também ser compostas de substâncias como chumbo ácido, íons de lítio e níquel-cadmio, sendo tóxicas ao organismo e de difícil descarte (MICHELINI, 2017). A Figura 5 ilustra as baterias primárias e secundárias, respectivamente.

Figura 5 – Bateria primária e secundária, respectivamente



Fonte: SONEGO (2021).

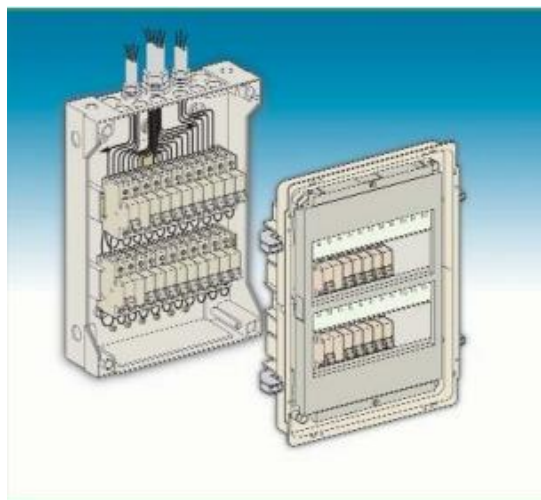
As primárias são usadas em calculadoras, relógios e entre outros equipamentos de baixa potência. Já as secundárias, chamadas de baterias de armazenamento são úteis aos sistemas fotovoltaicos e outros sistemas. Nos sistemas fotovoltaicos desconectados à rede são usadas baterias secundárias como a de Níquel-cádmio que trabalha em regime estacionário e tem maior vida útil, maior eficiência, maior profundidade de descarga como também um custo mais elevado. (TAVARES; GALDINO, 2014)

As baterias, quando novas, fornecem 100% de sua capacidade e pode ser substituída ao atingirem 80%. Ribeiro (2020) diz que as baterias têm em média 80% da sua capacidade nominal, após esse ponto a bateria pode ser usada, mas considerando a capacidade reduzida e riscos de falha, podendo resultar em curto-circuito elétrico. Sua vida útil está em torno de 4 anos, contudo, dependerá da profundidade de descarga. (NEOSOLAR, 2008) Estas baterias custam em média R\$ 1000,00 no e-commerce Mercado Livre.

3.1.4 Quadro de distribuição

A energia produzida pelos painéis e transformada pelo inversor, passa pelo quadro de distribuição, o qual tem como função distribuir a energia elétrica para alimentar os equipamentos elétricos da residência, ambiente comercial ou industrial. Pode ser conhecido também como o “coração” da rede elétrica, pois distribui energia e protege os dispositivos dos circuitos elétricos (SOUZA; MORENO, 2001). O quadro ou também chamado de painel elétrico, reúne fiações e conexões elétricas. A Figura 6 apresenta um exemplo de um quadro de distribuição.

Figura 6 – Quadro de distribuição



Fonte: SOUZA; MORENO (2001)

3.1.5 Medidor bidirecional

Os medidores fazem o controle e a leitura do consumo de energia. No caso dos medidores bidirecionais, eles conseguem medir a energia enviada para a rede pelo o sistema fotovoltaico e a energia consumida pelo local onde encontra-se o sistema. Isso acontece nos sistemas interligados, isto é, conectados à rede, assim, quando o sistema precisa de uma quantidade de energia superior à que foi gerada, a rede pública fornece energia elétrica para suprir essa necessidade, para o consumidor não ficar desamparado (RÜTHER, 2004). Esse equipamento pode ser solicitado pela concessionária. De acordo com a Resolução Normativa (RN) n. 863, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 10 de abril de 2019, aprova o módulo 5 para procedimento de distribuição de energia elétrica onde fica elencado que a distribuidora ou concessionária é a responsável pela troca e instalação dos medidores bidirecionais. Haja vista que os medidores das residências que consomem energia elétrica da rede distribuidora são unidirecionais, faz os registros da quantidade de energia recebida da rede; E os bidirecionais registra para o sistema de energias solar, pois faz a contagem do que é consumido e o que é injetado. Veja a figura 07.

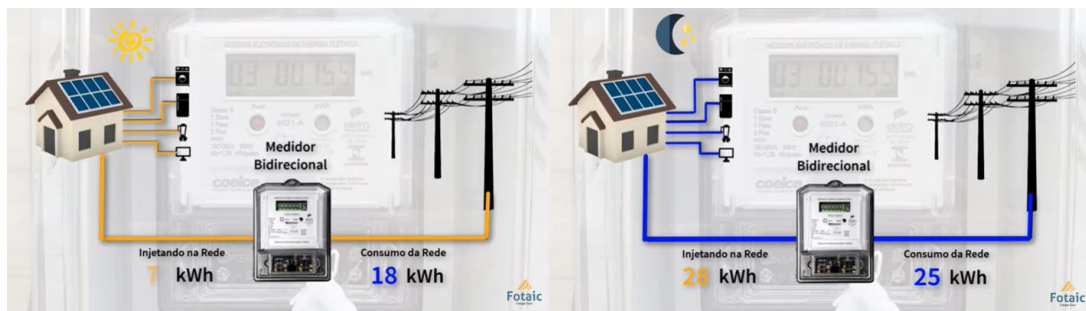
Figura 7 – Medidor bidirecional



Fonte: NeoSolar (2016).

Nos períodos em que o sistema fotovoltaico produz mais energia do que o necessário, essa energia que sobra é injetada na rede e a concessionária de energia a transforma em créditos. O medidor então faz todos os registros de entrada e saída para que no fim de cada mês, seja possível verificar se o consumidor-gerador possui créditos a ser descontado na conta de energia ou débitos a serem acertados com a concessionária de energia elétrica (SWH GROUP, 2017). A figura 8 exemplificam este esquema de registros.

Figura 8 – Fluxo de energia vindo do sistema fotovoltaico e da rede de distribuição respectivamente



Fonte: Fotaic Energia Solar (2017).

3.1.6 Controlador de carga

O controlador de carga, assim como as baterias, também é um componente do sistema solar isolado (desconectado à rede), sua função é preservar a vida útil das baterias; tornar o armazenamento da energia mais eficiente; e diminuir as perdas energéticas. Além disso, ele também identifica se a bateria está fraca, protege contra sobrecargas, curtos-circuitos e evita danos de superaquecimentos (ALMEIDA, 2015). Veja a figura 9.

Figura 9 – Controlador de carga



Fonte: NeoSolar (2016).

Assim como o inversor, no seu visor exibe informações como tensão, corrente, potência, com e sem carga, com e sem alimentação, dia ou noite entre outros. (EPEVER, 2022).

3.1.7 Dimensionamento

Para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial, primeiramente deve-se analisar o consumo mensal do local. Essa análise é feita com base na carga que se encontra instalada no ambiente ou com base no consumo da mesma, que pode ser extraído através da fatura de energia emitida pela concessionária de energia responsável pela distribuição da mesma. Em seguida, calcula-se a potência diária consumida, ou seja, divide-se a potência mensal por 30 dias.

Além disso, faz-se necessário também localizar a média diária de insolação e o ângulo de inclinação do Sol em relação ao local em que as placas serão instaladas, essas informações estão disponíveis no site do CRESESB¹, como será apresentado a seguir. De posse desses dados, alguns cálculos matemáticos são realizados para que seja possível definir a potência que o sistema fotovoltaico precisa ter, a quantidade de placas, entre outras informações pertinentes que se referem ao dimensionamento do sistema de energia fotovoltaico. Ademais, é importante elencar que o sistema sofre perdas e que elas podem ser reparadas no momento do dimensionamento (OLIVEIRA, 2018).

4 RESULTADOS

4.1 Dimensionamento do sistema fotovoltaico na residência em estudo

Este trabalho fundamentou-se em uma pesquisa qualitativa para instalação do sistema de energia solar em uma residência na cidade Patos/PB, uma das regiões com maior potencial energético. A residência está localizada nas seguintes coordenadas: latitude de -7.0476642 e longitude de -37.2769304. Sua área é de 22m² e contém 4 cômodos, sendo eles: 1 quarto, 1 banheiro, 1 sala e 1 cozinha. Na Tabela 1 está o consumo estimado da residência em estudo.

Tabela 1 – Estimativa de consumo mensal.

CÔMODO	EQUIPAMENTOS	POTÊNCIA (W)	UTILIZAÇÃO (h)	CONS. DIÁRIO (w/dia)	CONS. MENSAL (W/mês)
QUARTO	1 lâmpadas de led	25	6	150	4500
	1 ventilador	100	6	600	18000
BANHEIRO	1 lâmpada de led	18	0,66	11,88	356,40
SALA	1 lâmpada de led	25	1	25	750
	1 tv	60	0,16	9,6	288

¹ <http://www.cresesb.cepel.br/>

COZINHA	1 lâmpada de led	25	2	50	1500
	1 geladeira	250	24	6000	180000
TOTAL					
					205,40 kW/mês

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

No entanto, o dimensionamento foi calculado considerando 300kW/mês, haja vista que é mais viável ao consumidor ter excedentes de energia que se tornam créditos em situações de falta de eletricidade. Ademais, foi utilizado o site do CRESESB, para obter duas informações primárias, sendo elas: a potência da radiação solar em um determinado intervalo de tempo a cada metro quadrado, chamada de irradiação solar; e a inclinação que melhor favorece o sistema, já que é aconselhável o painel estar perpendicular à direção dos raios solares. A Figura 9 apresenta as informações coletadas pelo site citado.

Figura 10 – Dados de inclinação e irradiação diária.

Estação: Patos
Município: Patos, PB - BRASIL
Latitude: 7,001° S
Longitude: 37,249° O
Distância do ponto de ref. (7,047664° S; 37,27693° O): 6,0 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,24	6,20	6,29	5,89	5,16	4,74	5,05	5,84	6,39	6,55	6,59	6,35	5,94	1,85
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	7° N	5,96	6,05	6,28	6,06	5,43	5,04	5,36	6,07	6,46	6,43	6,32	6,04	5,96	1,42
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	5° N	6,05	6,10	6,29	6,02	5,36	4,96	5,28	6,01	6,45	6,47	6,40	6,13	5,96	1,52
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	18° N	5,42	5,68	6,13	6,18	5,73	5,39	5,70	6,29	6,42	6,11	5,78	5,43	5,86	1,02

Fonte: CRESESB (2022).

De acordo com os dados obtidos após informar a localização da residência, é possível observar que a mesma está sujeita a uma média de insolação diária de 5,96 kWh/m²dia e um ângulo de 5° ao Norte de inclinação para gerar uma maior média anual de irradiação.

Sendo a média de consumo dessa residência de 300kW/mês, tem-se que o consumo diário será de 10kWh/dia. Vale salientar que essa informação foi obtida considerando que o mês possui 30 dias. No entanto, essas informações de consumo mensal podem ser encontradas nas faturas de energia de cada residência. A partir disso, é possível calcular a potência máxima do sistema, isto é, dividindo o consumo diário pela média diária de insolação obtém-se o valor da potência máxima no sistema, que nesse caso é de 1,68kWp, como verifica-se pela Equação 1 abaixo (OLIVEIRA, 2018).

$$\frac{10kWh/dia}{5,96kWh/m^2/dia} = 1,68kWp \quad (\text{Eq.1})$$

Contudo, é importante considerar que o sistema também sofre algumas perdas, em função de fatores como orientação, inclinação, cabeamento, sujidade, entre outros. Com isso, o valor da potência máxima sofrerá uma mudança. Essas perdas acontecem durante o processo de desempenho dos equipamentos e se caracteriza em receber uma energia menor do que as produzidas nos painéis fotovoltaicos. Em termos percentuais, cerca de 25% da energia produzida é convertida em perdas (OLIVEIRA, 2018). Logo, considerando os 75%, faz-se a correção da potência máxima do sistema, conforme mostra a Equação 2 a seguir.

$$\frac{1,68kWp*100}{75} = 2,24kWp \quad (\text{Eq.2})$$

Ao passo em que se tem a potência necessária para todo o sistema, nesse caso sendo de 2,24kWp, define-se quantas placas fotovoltaicas o sistema irá precisar. No mercado existe uma grande variedade de painéis fotovoltaicos, os quais se distinguem em termos de preço, potência, tipo de célula, fabricante e tecnologia utilizada.

Dessa forma, cabe ao projetista analisar a placa que melhor se encaixa no contexto do seu cliente, observando aspectos envolvendo, sobretudo, custo benefício. Para o referido estudo supôs-se o uso de painéis solares com uma potência de 550W cada, a placa escolhida é da marca DAH, com vida útil de até 25 anos e uma eficiência de 21,52%, ou seja, capaz de transformar aproximadamente 1/5 de radiação em energia elétrica.

Sendo assim, tem-se que o número de placas necessárias para compor o sistema é dado pela divisão entre a potência que o sistema precisa e a potência de cada placa usada, resultando em 4 placas (Equação 3).

$$Np = \frac{Pt}{Pp} = \frac{2,24kWp}{0,55kW} = 4 \text{ placas} \quad (\text{Eq.3})$$

Ou seja, 4 placas fotovoltaicas cada uma com $P = 550W$ gera um sistema de 300kW/mês.

Por se tratar de um sistema conectado à rede, faz-se necessário o uso de um inversor. O inversor escolhido é da marca Growatt com uma alta eficiência de 97,6%, vida útil de 15 anos e potência de 3kW, suprimindo perfeitamente a necessidade e com saída de 220V. O valor da potência do inversor que o sistema pede é inferior ao da tabela, mas, à medida em que há aumento na potência do inversor pode-se incluir mais placas. Para calcular a potência do

inversor, que também faz parte do agrupado de equipamentos, conforme foi anteriormente, é preciso determinar a potência total das placas que irão compor o sistema, como mostra a Equação 4:

$$P_{ti} = P_p \times N_p = 0,55 \times 4 = 2,20kW \quad (\text{Eq.4})$$

Ou seja, para o sistema sugerido no presente trabalho, é preciso um inversor com potência igual ou superior a 2200W ou 2,20kW. O medidor bidirecional é fornecido pela concessionária gratuitamente.

4.2 Cálculo do investimento

Todo esse processo de geração de energia solar tem um investimento, no entanto com as facilidades de crédito que tem sido oferecida pelos bancos financiadores, os valores das prestações pagas referentes ao sistema fotovoltaico têm se equiparado ao que é pago mensalmente para as concessionárias de energia. Considerando a residência em estudo, com um consumo de 300kW/mês, o custo referente aos principais equipamentos para a instalação do sistema é de aproximadamente R\$ 10.050,00, conforme detalha a Tabela 2.

Tabela 2 – Investimento para instalação do sistema fotovoltaico

EQUIPAMENTOS	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
PAINEL SOLAR	04 UND	R\$ 1.476,19	R\$ 5.904,76
INVERSOR	01 UND	R\$ 3.989,00	R\$ 3.989,00
CABOS E CONECTORES	25m de cb vermelho e 25 pretos. 2 conectores machos e 2 fêmeas.	R\$ 95,25	R\$ 95,25
QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO	01 UND	R\$ 60,99	R\$ 60,99
TOTAL			R\$ 10.050,00

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Vale salientar que esses valores foram obtidos por meio do e-commerce Mercado Livre, um site que vende diversos tipos de produtos, contudo, trata-se de materiais importados e que, por isso, sofrem reajustes com uma certa frequência, além de que os tributos sobre o sistema dependerão de cada Estado ou do modelo que o consumidor escolher.

Ademais, ressalta-se que a decisão por realizar esse investimento deve ser feita juntamente com pessoas tecnicamente habilitadas para tal, do mesmo modo, para instalação dos sistemas de energia solar é preciso contar com o trabalho de um profissional capacitado e que tenha domínio sobre os componentes que compõem o sistema e o seu funcionamento como um todo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseando-se nas informações coletadas é possível constatar que a geração de energia elétrica fotovoltaica tem um papel fundamental para que se construa um equilíbrio entre a sociedade e o meio ambiente. No Brasil apresenta-se um grande potencial energético natural que é o Sol e com a geração de energia a partir dessa fonte é possível diminuir a degradação ao meio ambiente que se instalou a partir de meios de geração de energia não renovável, diversificar a matriz energética e reduzir a necessidade de água nos reservatórios, minimizando a dependência que se tem atualmente da geração de energia através das hidrelétricas.

Além das questões ambientais, anteriormente enfatizadas, evidencia-se também os aspectos econômicos, tendo em vista que, com o crescimento da energia solar, tem também por consequência o aumento no número de empregos. Já que inúmeras empresas aderiram ao novo modelo de geração de energia. No entanto, é importante ressaltar que mesmo com o significativo avanço na quantidade de instalação de sistemas fotovoltaicos, ainda não chega nem perto da total capacidade que o Brasil tem de gerar energia a partir do Sol.

Como forma de reverter esse cenário, tem sido criado diversos incentivos por meio de documentos mundiais, protocolos, acordos e normativas para fomentar o aumento na produção. Nos dias de hoje, considera-se que há facilidade em se obter um sistema fotovoltaico, mas, ainda é um investimento elevado, que exige um planejamento do consumidor. Esse ponto ficou evidenciado a partir do dimensionamento da residência em estudo e do cálculo do investimento necessário para a implantação do sistema.

A contar da realização deste trabalho, verificou-se como é dimensionado um sistema fotovoltaico para uma residência. Além disso, vale destacar que a localização foi escolhida pelos altos números de irradiação vistos através da tabela extraída do CRESEB e no mapa onde vimos que a região nordeste e em especial a Paraíba supre essa demanda. Assim como, menciona-se que a proposta desse estudo foi dimensionar um sistema on-grid (conectados à rede), que, para além de contribuir para suprir as necessidades energéticas residenciais,

contribui com o meio ambiente e com a economia, minimizando a emissão de gases poluentes e gera mais empregos e movimentando o contexto econômico como um todo.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Energia solar: Brasil ultrapassa marca histórica de 16GW. **Site ABSOLAR**, 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-brasil-ultrapassa-marca-historica-de-16-gw/>. Acesso em: 29 ago. 2022.
- ALMEIDA, E. et al. Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Engenharias on-line**, v. 1, n. 2, 2015. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/eol/article/view/3574>. Acesso em: 29 ago. 2022.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. Agência Nacional de Energia Elétrica, Rio de Janeiro. ANEEL, 2012.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 863**, de 10 de dezembro de 2019. Agência Nacional de Energia Elétrica, Rio de Janeiro. ANEEL, 2019.
- BECQUEREL, E. Report on the electrical effects produced under the influence of solar rays. **Academy of sciences**, 1839. Disponível em: https://www.becquerel-prize.org/pdf/2020_05_05_Edmund_Becquerel_PV_Original_Paper-V4.pdf. Acesso em: 30 ago. 2022.
- BRASIL. Senado Federal. **Protocolo de Quioto**. Coleção ambiental, vol. III – quadro das nações unidas. 2004. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70328/693406.pdf?sequence=2>. Acesso em: 01 out. 2022.
- BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.
- CHUCO, B. **Otimização da potência de operação em sistema isolado fotovoltaico usando técnicas de inteligência artificial**. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2007. Disponível em: <http://docplayer.com.br/1487337-Otimizacao-da-potencia-de-operacao-em-sistema-isolado-fotovoltaico-usando-tecnicas-de-inteligencia-artificial-braulio-chuco.html>. Acesso em: 04 out. 2022.
- COSTA, M. A. da; SILVA, D. G. da. **Energia elétrica por irradiação solar: aplicabilidades**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade Evangélica de Goianésia, 2017.
- CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Energia solar: princípios e aplicações**, 2006. Disponível em:

http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf Acesso em: 02 out. 2022.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. Notícias e informações. **Site da CRESESB**, 2022. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/> Acesso em: 29 ago. 2022.

EVERPER, Epsolar Technology. **Manual do usuário. Controlador modular de carga solar MPPT**. Disponível em: <https://renlight.com.br/wp-content/uploads/2019/10/Tradu%C3%A7%C3%A3o-S%C3%A9rie-TRIRON-N-1.pdf> Acesso em 08 nov. 2022

FRANCO, T. A. S.; SOUSA, C. P. **Projeto e instalação de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de distribuição**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/493.pdf> Acesso em: 26 out. 2022.

Fotaic, Energia Solar. Fortaleza/CE. 2017. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=AkLu1E_03cU Acesso em: 07 nov. 2022

JENSEN, L. H. **Sistema fotovoltaico de fornecimento off-grid metodologia para dimensionamento de sistema residencial isolado**. Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2021.

LACLIMA. **Acordo de paris**: um guia para os perplexos. 2021.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE DE TECNOLOGIA – INMETRO. **Portaria nº 140**, de 21 de março de 2022. Aprova o regulamento técnico da qualidade e os requisitos de avaliação da conformidade para equipamentos de geração, condicionamento e armazenamento de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos – consolidado. Brasília, 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-140-de-21-de-marco-de-2022-389587680> Acesso em: 01 out. 2022.

MICHELINI, A. Baterias recarregáveis para equipamentos portáteis. STA, Sistema e Tecnologia Aplicada. 1ª edição, 2017.

NASCIMENTO, C. A. de. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. Monografia (Pós-Graduação *Lato Sensu* em Fontes Alternativas de Energia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004. Disponível em: https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf Acesso em: 05 out. 2022.

NEOSOLAR. **Guia prático**: energia solar fotovoltaica. 2016.

NEOSOLAR. **Guia prático**: energia solar fotovoltaica. Manual técnico bateria estacionária. 2008. Disponível em https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/Freedom_Baterias_Estacionarias_manual_tecnico_pt.pdf Acesso em 09 nov. 2022

OLIVEIRA, L. H. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de energia elétrica**. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Universidade

Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em:
<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/23228/1/DimensionamentoSistemaFotovoltaico.pdf> Acesso em: 05 out. 2022.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Acordo de Paris sobre o clima. **Site da ONU**, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/node/88191> Acesso em: 28 ago. 2022.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. O que são as mudanças climáticas. **Site da ONU**, 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/175180-o-que-sao-mudancas-climaticas> Acesso em: 28 ago. 2022.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE> Acesso em: 30 ago. 2022.

PINA, J. A. **Optimização de Células Fotovoltaicas**. Tese (Mestrado em Engenharia Microelectrónica e Nanotecnologias), Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/157626872.pdf> Acesso em: 16 out. 2022.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL – CRESESB, 2014. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf> Acesso em: 26 ago. 2022.

RELLA, R. Energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista de Iniciação Científica**, v. 15, n. 1, 2017. Disponível em:
<http://periodicos.unesc.net/iniciacaocientifica/article/download/2937/3530>. Acesso em: 29 ago. 2022.

RIBEIRO, G. F. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico off-grid em um motorhome**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Uniceub Educação superior. Brasília, 2020. Disponível em:
https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/15114/1/Artigo_Giankarlo_Ribeiro-%20Final.pdf Acesso em: 03 out. 2022.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: Labsolar, 2004. Disponível em: <https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf> Acesso em: 04 out. 2022.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo, SP: Cortez, 2007

SOLAR ENERGY. Manual do usuário. Inversor solar. Disponível em:
<http://solarenergy.com.br/wp-content/uploads/2014/12/manual-do-inversor.pdf> Acesso em 09 de nov. de 2022

SONEGO, L. G. A. **Estudo de um sistema de energia solar fotovoltaica on grid em uma instalação elétrica residencial com um inversor de onda senoidal pura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação,

Ciência e Tecnologia de Goiás, Jataí, 2021. Disponível em:
<https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/719> Acesso em: 11 out. 2022.

SOUZA, J. R. A. de.; MORENO, H. Guia EM da NBR 5410. **Revista Eletricidade Moderna**, 2001. Disponível em: https://www.coisarada.net/assets/uploads/d5cc3-guia_em_da_nbr_5410.pdf Acesso em: 10 out. 2022.

SWH GROUP. Como funciona o net metering? **Site SWH Group**, 2017. Disponível em:
<http://www.swhgroup.eu/sp-net-metering.html> Acesso em: 12 out. 2022.

TAVARES, João Pinho; GALDINO, Marco Antonio. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Cepel – Cresesb, 2014.

TEKsolar. Inversor SAJ. **Site da TEKsolar**, 2022. Disponível em:
<https://teksolar.ind.br/inversores-saj/> Acesso em: 29 ago. 2022.

TIRAPELLE, G. A. H; MURA, L.B; FRAZÃO, L. **Análise da viabilidade técnica de painéis solares fotovoltaicos conectados à rede, com backup de energia, instalados em postos de combustíveis**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em:
https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9974/2/CT_COELE_2013_1_04.pdf Acesso em: 04 set. 2022.

VILLALVA, M. G. **Energia solar fotovoltaica conceitos e aplicações**. São Paulo: Saraiva Educação, 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o Criador do universo, até aqui Ele tem me ajudado e me abençoado a realizar este sonho. Agradeço a meus pais Ana Paula Ramalho e José Edson Simão que sempre me ensinaram que o sucesso no caminho do estudo é a longo prazo, mas que com paciência no trajeto eu teria sucesso e seria feliz. Agradeço a meu marido Gabriel Lima, por toda paciência e por não só me incentivar, mas andar junto comigo nesta caminhada. Não deixo de citar também meu irmão Arthur Ramalho que faz meus dias melhores. E a toda a minha família e amigos da graduação que com gestos de carinho estiveram presente nos dias cansativos.

Meus sinceros agradecimentos a meu orientador Dr. Valdeci Mestre que não só me orientou neste trabalho, mas me acompanhou desde o início da graduação me dando oportunidades de construir uma jornada acadêmica de experiências e muitas produções. Me despeço deste ciclo com o coração cheio de gratidão, mas pronta para o próximo.