

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

FELIPE RADO BELMONTE

**GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA: COMPARAÇÃO DE UM
SISTEMA INSTALADO COM SEU DIMENSIONAMENTO TEÓRICO**

MEDIANEIRA

2022

FELIPE RADO BELMONTE

**GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA: COMPARAÇÃO DE UM
SISTEMA INSTALADO COM SEU DIMENSIONAMENTO TEÓRICO**

**Photovoltaic energy generation: comparison of an installed system with
its theoretical design**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Evandro André Konopatzki

Coorientador: Filipe Marangoni

MEDIANEIRA

2022



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

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

FELIPE RADO BELMONTE

**GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA: COMPARAÇÃO DE UM
SISTEMA INSTALADO COM SEU DIMENSIONAMENTO TEÓRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 14/junho/2022

Evandro André Konopatzki
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Filipe Marangoni
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcos Fischborn
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Yuri Ferruzzi
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

MEDIANEIRA

2022

RESUMO

Devido ao crescimento econômico, ao aumento na demanda e no consumo de energia ao longo dos anos e às políticas governamentais sobre o incentivo a valorização do meio ambiente visando à sustentabilidade, a geração de energia foi diversificada estimulando energias limpas e renováveis. Dentre os modelos emergentes o sistema de geração fotovoltaico vem se destacando, tanto para consumidores com demandas menores como com demandas mais expressivas, principalmente pela fonte usada na conversão – o sol – estar presente em qualquer região do país. O presente trabalho propõe um estudo de comparação e análise entre dois cenários, analisando a geração tanto na prática (instalado) quanto na teoria (software). O objetivo principal deste estudo constitui na comparação de energia gerada em cada um dos cenários levando em consideração intempéries que possam contribuir para uma melhor ou pior produção da mesma. Para isto, foi definida a orientação e inclinação do local de instalação do sistema gerador fotovoltaico, situado em um município do oeste do Paraná. O estudo foi feito em um período do ano levando em consideração seis meses, sendo eles: junho, julho, agosto, setembro, novembro e dezembro. Em cada mês foi analisada a geração diária e, após isso, todos os dados foram tabelados e tratados mensalmente em um gráfico de *boxplot*. Os resultados mostram uma geração de $62.136,1 \text{ kWh}^{-1}$ no período estudado, enquanto o dimensionamento estimava $58.803,1 \text{ kWh}^{-1}$ para o mesmo período. A geração real, superior em 5,36% foi justificada pelo clima atípico de estiagens e crise hídrica (favorável à geração fotovoltaica). Como conclusão, constatou-se que um sistema gerador fotovoltaico, por mais ideal que seja a situação, sofre influências externas que podem alterar a geração esperada ao longo do período analisado, sendo justificados estudos que busquem correlacionar os agentes ambientais ao desempenho da geração fotovoltaica.

Palavras-chave: energia fotovoltaica; geração distribuída; viabilidade técnica; módulo fotovoltaico.

ABSTRACT

Due to economic growth, the increase in energy demand and consumption over the years and government policies on encouraging the appreciation of the environment with a view to sustainability, energy generation was diversified, encouraging clean and renewable energy. Among the emerging models, the photovoltaic generation system has been standing out, both for consumers with smaller and more expressive demands, mainly because of the source used in the conversion – the sun – being present in any region of the country. The present work proposes a study of comparison and analysis between two scenarios, analyzing the generation both in practice (installed) and in theory (software). The main objective of this study is to compare the energy generated in each of the scenarios, considering weather conditions that may contribute to a better or worse production. For this, the orientation and inclination of the installation site of the photovoltaic generator system, located in a municipality in western Paraná, was defined. The study was carried out in a period of the year considering six months, namely: June, July, August, September, November and December. In each month, the daily generation was analyzed, and, after that, all data were tabulated and treated monthly in a boxplot chart. The results show a generation of 62,136.1 kWh⁻¹ in the studied period, while the design estimated 58,803.1 kWh⁻¹ for the same period. The actual generation, higher by 5.36%, was justified by the atypical climate of droughts and water crisis (favorable to photovoltaic generation). In conclusion, it was found that a photovoltaic generator system, no matter how ideal the situation, suffers from external influences that can change the expected generation over the analyzed period, justifying studies that seek to correlate environmental agents with the performance of photovoltaic generation.

Keywords: photovoltaic energy; distributed generation; technical viability; photovoltaic module.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Capacidade total cumulativa instalada de sistemas fotovoltaicos do ano 2000 ao ano 2015 entre os continentes. APAC: países asiáticos e do pacífico, MEA: África ocidental e Egito. RoW: resto - do mundo.	12
Figura 2 – Tendências de capacidade instalada de energia fotovoltaica no Brasil, conforme o banco de dados da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA).....	12
Figura 3 – Representação esquemática do sistema de geração de energia fotovoltaica.	14
Figura 4 – Layout simplificado de um sistema de energia solar comum conectado à rede (on-grid).	15
Figura 5 – Potencial de produção de acordo com o ângulo de incidência.	17
Figura 6 – Ilustração da determinação do ângulo de inclinação com a altura da haste de suporte do módulo.	18
Figura 7 – Mapa informativo com a média de irradiação das componentes Global Horizontal, Direta Normal, Difusa e no Plano Inclinado na Latitude encontradas no Estado do Paraná por Mesorregião.	20
Figura 8 – Localização e média de irradiação das componentes Global Horizontal da Unidade consumidora avaliada no município de Matelândia, na mesorregião Oeste do Paraná-BR.	21
Figura 9 – Imagem de satélite da unidade consumidora avaliada no estudo, localizada em Matelândia, Paraná-BR.	22
Figura 10 – gráfico boxplot da variação de produção energética diária (Kw) entre os meses avaliados no Cenário 1 (sistema instalado)	25
Figura 11: Trajeto em órbita terrestre ao longo do ano.	26
Figura 12 – Gráfico descritivo do comportamento dos dados de geração para cada mês de acordo com a radiação solar.....	27
Figura 13 – Gráfico descritivo do comportamento dos dados de geração para cada mês de acordo com a temperatura.	28
Figura 14 – Gráfico descritivo do comportamento dos dados de geração para cada mês de acordo com a precipitação.	30

LISTA TABELAS

Tabela 1 – Ângulo de instalação a partir da latitude geográfica para obter maior radiação solar e aproveitar a energia solar.	17
Tabela 2 – Média de geração energética diária (Kw) entre os meses avaliados do sistema fotovoltaico nos cenários prático e teórico (sistema instalado e sistema calculado respectivamente).....	24
Tabela 3 – Dados climatológicos dos seis meses no período de análise do estudo.....	24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1	Geração Fotovoltaica	13
2.2	Influência do ângulo de incidência da radiação solar na produção de energia fotovoltaica	15
2.3	Estimativa de produção fotovoltaica no oeste do Paraná	18
3	METODOLOGIA	21
3.1	Área do estudo	21
3.2	Coleta dos dados.....	22
3.3	Análise dos dados.....	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

Considerando o crescimento da população mundial, o avanço das tecnologias e o notável aumento do consumo de eletricidade no mundo, diversas empresas, incluindo o setor elétrico, em virtude da conscientização ambiental, sentiram uma grande necessidade de adotar e criar meios de minimizar os danos ambientais decorrentes dessa crescente demanda de energia elétrica.

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2020), a energia fotovoltaica é a fonte de energia que mais cresce no mundo, além de ser considerada uma fonte de energia limpa e sustentável. O Brasil é um dos países onde ocorre um alto índice de radiação solar e também possui um tamanho continental considerável, tendo a oportunidade de se tornar uma nação líder em energia solar fotovoltaica.

De acordo com o Ministro de Minas e Energia, Bento Albuquerque, a produção de energia a partir de raios solares, possui apenas 7,7% de toda matriz energética, e embora essa produção ainda seja pouco representativa no território brasileiro, tendo apenas 1,7% da matriz, é perceptível a evolução do setor no país ao longo das últimas décadas (AGUIAR, 2022).

A trajetória da energia solar fotovoltaica no Brasil se inicia no ano de 2010 por meio da publicação da consulta pública pela ANEEL com objetivo de reduzir barreiras para a instalação da geração distribuída. Em dezembro de 2015 ocorre a criação do programa de desenvolvimento da geração distribuída de energia elétrica (ProGD). Por fim, no ano de 2020, a geração distribuída solar fotovoltaica atinge (ou atingiu) 4GW de capacidade instalada em nosso país (PORTAL SOLAR, 2022).

A energia solar FV possui um potencial gigantesco apresentando uma vasta gama de benefícios positivos para empresas, governos e a sociedade em geral. De acordo com dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2020), entre os anos de 2012 e 2019, esse setor gerou mais de 130 mil novos empregos no Brasil. Sendo assim, é um setor que veio para somar junto ao desenvolvimento sustentável do mundo e do país, com destaque para três situações: ambiental, socioeconômica e estratégica.

Dentre essas três esferas, destaca-se a forte criação de empregos locais, diversificação da matriz elétrica brasileira além da melhoria da segurança no abastecimento, redução das perdas de transmissão no sistema elétrico, geração de energia limpa e redução das emissões de dióxido de carbono entre outras substâncias nocivas.

Para a instalação da energia fotovoltaica existe todo um processo. De início é necessário fazer uma análise da conta de luz e consumo, e com base nisso será possível simular as especificações técnicas da instalação. Após ter esses dados, deve ser feita uma avaliação do local, estrutura e observar as características específicas climáticas. Do mesmo modo, é importante observar a presença de restrições no local de instalação do sistema, as quais afetam diretamente a geração do mesmo. Portanto, torna-se indispensável realizar a viabilidade técnica em cada local para que a implementação ocorra da maneira adequada.

Um dos maiores desafios para a conversão de energia solar em energia elétrica no Brasil é o custo excedente da produção e equipamentos, que infelizmente, possui um baixo incentivo governamental, e, por mais que não precise de uma manutenção frequente, o investimento inicial é elevado, fazendo com que a solução pareça menos acessível aos consumidores.

Todavia a introdução desses sistemas fotovoltaicos vem sendo essencial na contribuição para o meio ambiente ao passo que produz energia limpa, renovável e sem emissão de poluentes, e ainda, auxilia na redução de despesas e dependência de outras fontes de geração.

Neste contexto, com a demanda cada vez mais latente por energia elétrica gerada por fontes renováveis, este trabalho tem como tema de estudo a Geração de Energia Fotovoltaica: comparação de um sistema instalado com o seu dimensionamento teórico. Contudo, a comparação foi feita através de análises de características específicas, as quais afetam diretamente a geração de um sistema gerador fotovoltaico. Os seguintes objetivos específicos foram abordados:

- Comparar a energia produzida pelo sistema fotovoltaico nos cenários prático e teórico;
- Identificar características que podem influenciar diretamente na geração considerando os cenários prático e teórico analisados;

- Validar o cenário teórico com dados reais, medidos na unidade consumidora fotovoltaica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A energia é um fator chave quando se trata de crescimento econômico e desenvolvimento de um país. A demanda de energia elétrica cresce cada vez mais, uma vez que a modernização, a industrialização e o desenvolvimento populacional também são variáveis em constante crescimento. No entanto, grande parte da produção energética no Brasil e no mundo ainda depende muito da queima de combustíveis fósseis, o que reflete não apenas em uma energia de custo elevado, mas também de grande impacto ambiental (SOMMER, 2016). Isso faz com que sejam necessários estudos para minimizar a emissão de gases de efeito estufa usando técnicas de mitigação adequadas, incluindo a implementação de fontes de energia renováveis (KARMAKER *et al.*, 2020).

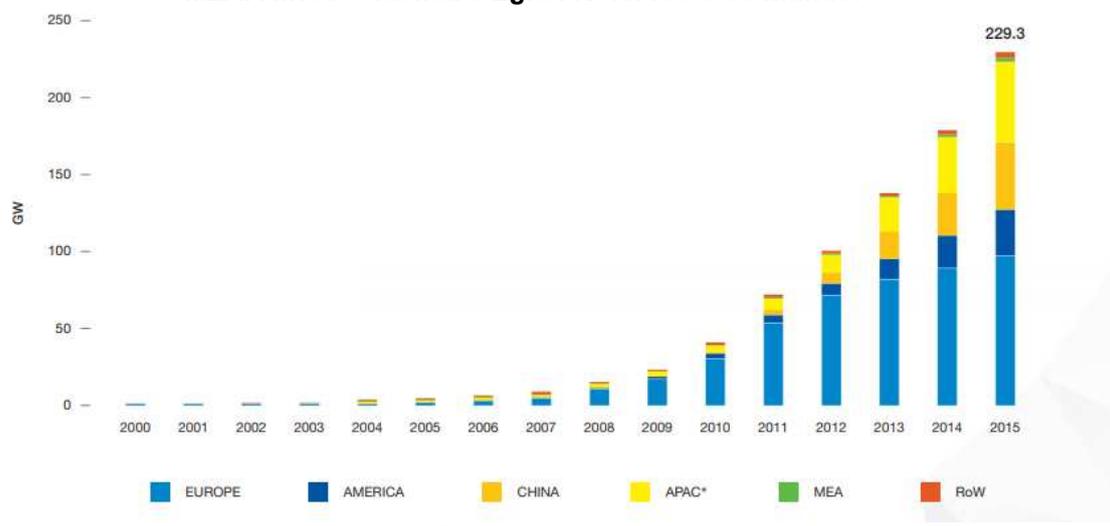
Dentre as fontes de energia renovável disponíveis, a hidreletricidade tem sido a principal fonte de geração do sistema elétrico brasileiro, tanto pela sua competitividade econômica quanto pela abundância deste recurso energético a nível nacional (EPE, 2022). Porém, com a crise hídrica, tornou-se de grande importância a busca por recursos alternativos de fontes renováveis que tenham menor impacto no ambiente e que sejam economicamente viáveis (DE MIRANDA; MARTINS; LOPES, 2019).

A geração fotovoltaica é o sistema de energia renovável mais implantado em todo o mundo, uma vez que fornece capacidade energética satisfatória por unidade de área disponível quando comparado outros sistemas de energia renovável (BOUTELHIG; HANINI; HADJ ARAB, 2017). O Brasil é um país de grande potencial para a utilização desta fonte para geração de energia elétrica, em função de diversas características naturais que favorecem a disponibilidade de altos níveis de insolação (EPE, 2022). em especial em áreas abertas com poucas edificações como as utilizadas na agropecuária.

Ao que se refere ao mercado mundial de instalação de sistemas solares, o investimento em sistemas solares fotovoltaicos tem crescido desde o início do século XXI. Em 2015 a capacidade de potência instalada de sistemas solares fotovoltaicos era de 229 GW, 96 GW pertenciam aos países asiáticos e do pacífico, 97 GW à Europa, 31 GW ao continente americano, enquanto apenas 2 GW pertenciam aos países da África ocidental e ao Egito (MEA) e os restantes 4 GW ao resto do mundo (RoW) (IRENA, 2019). A evolução da capacidade total

cumulativa, desde o início do milênio, instalada de sistemas fotovoltaicos no mundo pode ser observada na Figura 1.

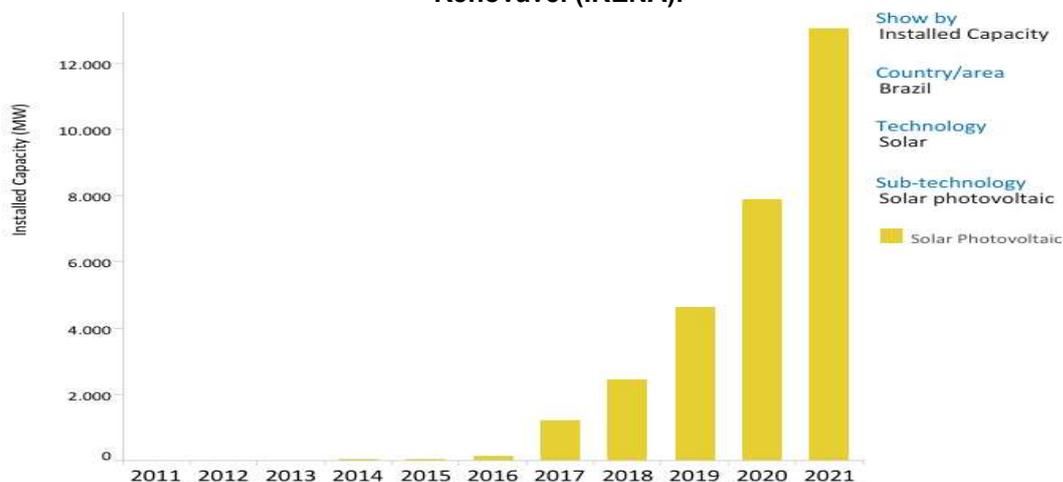
Figura 1 – Capacidade total cumulativa instalada de sistemas fotovoltaicos do ano 2000 ao ano 2015 entre os continentes. APAC: países asiáticos e do pacífico, MEA: África ocidental e Egito. RoW: resto do mundo.



Fonte: Irena (2019)

Tendências de capacidade instalada de energia fotovoltaica no Brasil, conforme a figura 2 ilustra os dados provenientes do banco de dados da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), teve um aumento de mais de dez vezes nos últimos cinco anos, apontando maior acessibilidade e constatado que o mercado de instalação de sistemas solares fotovoltaicos está em crescimento no país

Figura 2 – Tendências de capacidade instalada de energia fotovoltaica no Brasil, conforme o banco de dados da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA).



Fonte: IRENA (2022).

2.1 Geração Fotovoltaica

Dentre as fontes de energia renováveis mais utilizadas, a geração fotovoltaica é uma das formas de aproveitar a energia solar. A geração energética direta proveniente dos raios solares é o que se denomina energia solar fotovoltaica. Para tal produção energética é utilizado um material semicondutor o qual tem a função de liberar elétrons, sendo o mais comum o uso de células fotovoltaicas a base de duas camadas de silício. Quando o semicondutor é atingido pela luz solar, inicia um fluxo de energia no campo elétrico entre as duas camadas das células, gerando uma corrente contínua. Sendo assim, quanto maior incidência solar, maior o fluxo de eletricidade, sendo a condição climática um fator que interfere diretamente na produção energética desse sistema (ALVES, 2019).

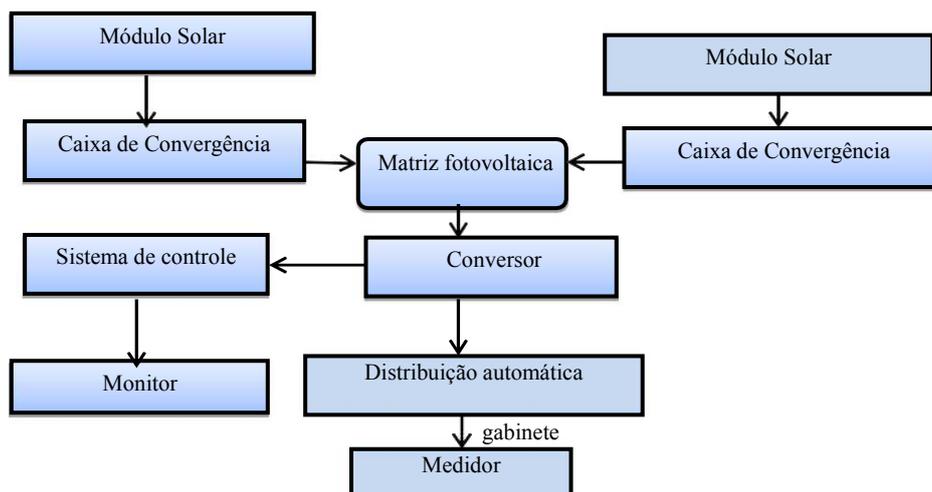
As células solares fotovoltaicas funcionam absorvendo a luz solar, criando pares de furos de elétrons, os quais as separam e circulam através de uma carga externa. As mais comuns são confeccionadas de silício cristalino, tanto monocristalino quanto policristalino, e o que é conhecido como célula solar de película fina, feita depositando uma ou mais camadas finas, ou película fina de material fotovoltaico em um substrato, como vidro, plástico ou metal. As células solares de película fina são utilizadas comercialmente em várias tecnologias, incluindo telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre índio-gálio (CIGS) e silício de película fina amorfa (a-Si, TF-Si) (RAY, 2010).

A eficiência elétrica do sistema fotovoltaico instalado depende principalmente do comprimento e intensidade da luz solar que cai sobre o sistema e do tipo e qualidade das células fotovoltaicas bem como dos materiais e componentes celulares utilizados dentro do módulo solar (HOSENUZZAMAN *et al.*, 2015). As aplicações de células solares dependem de características individuais do tipo de células, além das condições ambientais, porém a indústria fotovoltaica começou com células de silício e elas ainda dominam o mercado de tecnologia celular com uma taxa de eficiência de 24,7% (HOSENUZZAMAN *et al.*, 2015; YAMAGUCHI, 2001).

Sendo assim, os sistemas de geração de energia fotovoltaica são construídos em torno de uma série de células solares, além de baterias, inversores, carregadores, controladores de descarga, entre outros equipamentos

(JIN *et al.*, 2011). A figura 3 é uma adaptação da representação apresentada em Jin *et al.* (2011) a qual esquematiza os sistemas de geração de energia solar fotovoltaica.

Figura 3 – Representação esquemática do sistema de geração de energia fotovoltaica.



Fonte: Jin *et al.* (2011)

Ainda destaca-se alguns equipamentos importantes e suas funções podendo-se descrevê-los com base em Jin *et al.* (2011) e Hosenuzzaman *et al.* (2015):

- **Matriz de células solares:** durante o dia, quando ocorre a radiação solar, fótons da luz solar atingem a superfície das células, os quais são absorvidos pelo material da célula para criar pares de elétrons e buracos. Se os pares estiverem em sua maioria perto da junção p-n, então os elétrons e orifícios correm em direção ao lado do tipo n e tipo p, respectivamente.
- **Baterias:** para um fornecimento contínuo de energia solar, as baterias são um elemento importante uma vez que são utilizadas para carregar e armazenar a eletricidade que é produzida pelo sistema de geração de energia fotovoltaica.
- **Controlador de carga e descarga:** este dispositivo é muito importante e é usado para controlar sobrecargas ou descargas excessivas da bateria. Outros fatores importantes para a vida útil da bateria é o número de

vezes que a bateria é carregada e descarregada e o nível de descarga da bateria.

- Inversor: o inversor é o elemento mais importante dos sistemas de geração de energia fotovoltaica para converter de Corrente contínua (DC) para Corrente alternada (AC).

Sendo assim, de maneira geral todos os sistemas de energia solar funcionam com os mesmos princípios básicos (Figura 4). Os painéis solares primeiro convertem a energia solar ou luz solar em energia de corrente contínua usando o que é conhecido como efeito fotovoltaico.

A energia DC pode ser armazenada em uma bateria ou convertida por um inversor solar em energia AC, que pode ser usada em residências, empreendimentos ou indústrias. Ainda existe a possibilidade, dependendo do tipo de sistema, de fornecer a energia excedente para a rede elétrica para créditos ou armazenado em um sistema de armazenamento de bateria (NEWKIRK, 2016).

Figura 4 – Layout simplificado de um sistema de energia solar comum conectado à rede (on-grid).



Fonte: Newkirk, (2016)

2.2 Influência do ângulo de incidência da radiação solar na produção de energia fotovoltaica

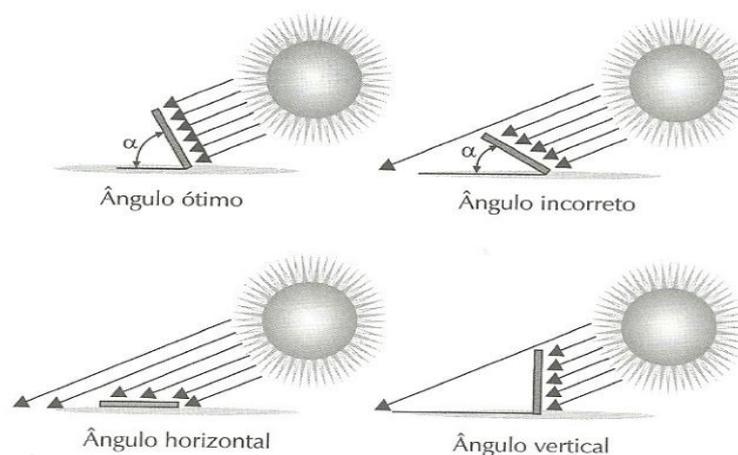
Cada localização do mundo recebe a radiação direta de forma que esta incide no solo com uma inclinação diferente. Tal inclinação varia ao longo dos

dias e meses do ano, em função dos movimentos de rotação e translação da Terra, de acordo com a posição da Terra e do Sol no espaço. Apesar de não ser possível fazer nada para melhorar a captação da radiação difusa, uma vez que esta chega até a superfície terrestre de maneira aleatória e irregular, é possível instalar os módulos solares de modo a maximizar a captação da radiação direta, melhorando assim o aproveitamento da radiação solar global (VILLALVA, 2015).

Para garantir que o sistema fotovoltaico irá obter maior radiação solar e aproveitar a energia solar ao máximo é necessário adequar o ângulo de inclinação do aparelho ou material em relação ao Sol. Alguns sistemas podem contar com tecnologia de rastreamento automático da posição do Sol, porém quando isso não ocorre é necessário regular a inclinação de forma que o sistema maximize a captação da energia solar. Esse processo se inicia com o direcionamento do material ou aparelho em localidades que estão abaixo da Linha do Equador para o norte geográfico e em localidades que estão acima, para o sul geográfico (ALMEIDA, 2018; PINTO; GALDINHO, 2014).

O norte geográfico é direcionado pela bússola uma vez que a agulha da bússola sempre fica alinhada no sentido das linhas do campo magnético da terra. Porém, essas linhas distribuem-se pelo globo terrestre de maneira irregular, de modo que nem sempre a agulha aponta para o norte geográfico, sendo necessário utilizar um ângulo de correção o qual é subtraído do ângulo norte apresentado pela bússola. Assim, como ilustrado da figura 5, pode-se obter um resultado significativo de geração variando a inclinação do módulo levando em consideração a orientação e a latitude do local de instalação do sistema gerador fotovoltaico (ALMEIDA, 2018; VILLALVA, 2015).

Figura 5 – Potencial de produção de acordo com o ângulo de incidência.



Fonte: Villalva (2015).

O ângulo de correção é pré-definido para cada região, já sendo estabelecido na literatura os valores padrões de acordo com a região em que se implanta (ALMEIDA, 2018). Assim, a inclinação do material ou aparelho em relação ao solo proporciona uma melhor média de aproveitamento da energia solar durante o ano todo, sendo possível determinar pela latitude geográfica de cada região. De acordo com Villalva (2015), existe uma regra para a escolha do ângulo de instalação a partir da latitude geográfica de cada região no Brasil, a qual é apresentada na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Ângulo de instalação a partir da latitude geográfica para obter maior radiação solar e aproveitar a energia solar.

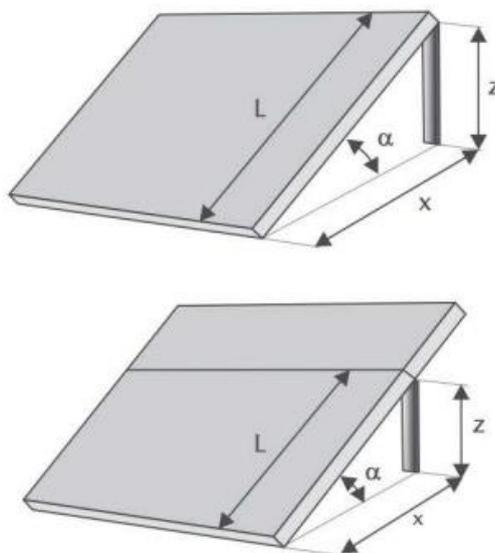
Latitude Geográfica	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Fonte: Villalva (2015)

Assim, é fundamental seguir duas regras básicas na instalação do sistema fotovoltaico para otimizar o aproveitamento da energia solar, e consequentemente a produção energética. A primeira é sempre que possível, orientar o módulo com sua face voltada para o norte geográfico. A segunda é

sempre ajustar o ângulo de inclinação correto do módulo com relação ao solo para otimizar a produção de energia ao longo do ano. Para a instalação física, o instalador deve calcular a altura da haste de fixação (z) em função do ângulo calculado (α) e levando em conta o comprimento do módulo (L) ou a distância entre a borda do módulo no solo e a barra de sustentação (x), como ilustra a Figura 6 (VILLALVA, 2015).

Figura 6 – Ilustração da determinação do ângulo de inclinação com a altura da haste de suporte do módulo.



Fonte: Villalva (2015).

Com isso, a altura z da haste de fixação é calculada de forma que $z = L \cdot \sin(\alpha)$ e a distância x é calculada como: $x = L \cdot \cos(\alpha)$, sendo que L é o comprimento do módulo solar ou a distância entre sua borda apoiada no chão e o ponto de fixação, conforme a Figura 6; x é a distância no chão entre a borda de apoio do módulo e a extremidade da haste de fixação e z é altura da haste (VILLALVA, 2015).

2.3 Estimativa de produção fotovoltaica no oeste do Paraná

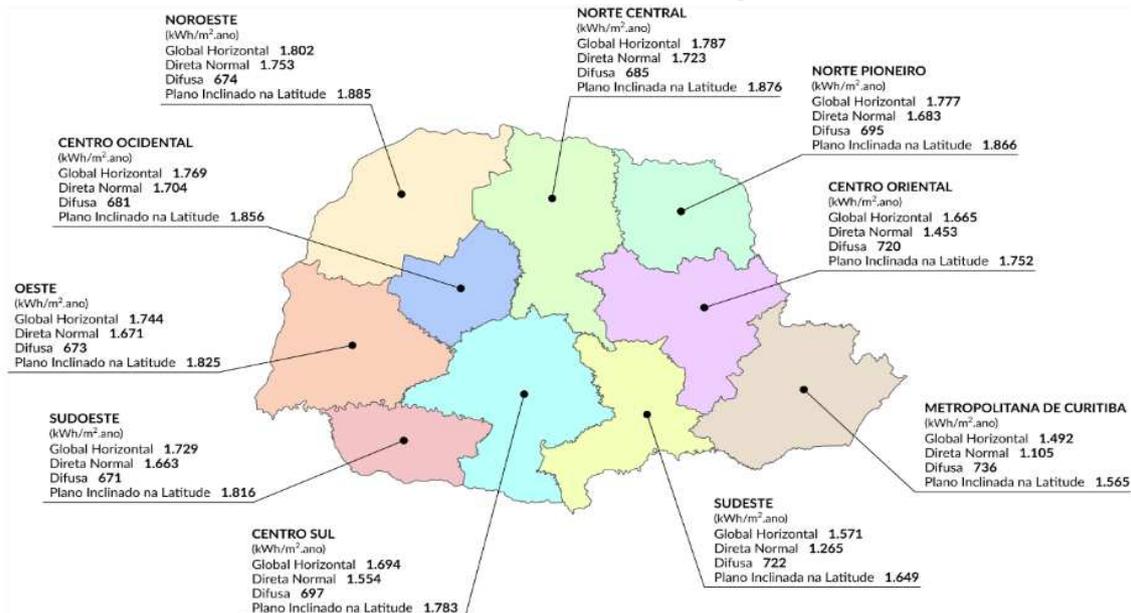
O Brasil vem investindo cada vez mais em sistemas fotovoltaicos uma vez que o custo tem se tornado cada vez mais acessível a população, e a energia elétrica vem se tornando cada vez mais cara. Embora o estado do Paraná apresente um grande potencial de produção de energia hidroelétrica, estima-se

que cerca de 70% de seu potencial já tenha sido explorado, o que dificulta a expansão desse setor e cria a necessidade de investimentos em outras fontes de geração de energia elétrica, com destaque para as renováveis, fontes como a energia solar (GARCIA; NOGUEIRA; BETINI, 2018; TIEPOLO, 2015).

O Paraná apresenta condições extremamente favoráveis para incentivo à implantação, principalmente pela grande disponibilidade de espaço para implementação do sistema fotovoltaico (TIEPOLO *et al.*, 2018). A Resolução ANEEL nº 482/2012 ainda garante que no estado é permitido aos consumidores instalar geradores de pequeno porte em suas unidades consumidoras e utilizar o sistema elétrico da concessionária local (Copel) para injetar o excedente de energia, que será convertido em crédito de energia válido por 36 meses, incentivando ainda mais os consumidores a instalar o sistema fotovoltaico.

O atlas de energia fotovoltaica do Paraná apresenta excelentes índices de irradiação, com melhores estimativas para a mesorregião Noroeste (Figura 7), a qual apresentou a maior média anual e menor variabilidade da irradiação global horizontal, bem com a segunda maior média anual no plano inclinado na latitude do estado. Os elevados valores de irradiação encontrados no estado, quando comparados com regiões de referência em produção fotovoltaica como a produção retratada no REN 21 para Alemanha, Reino Unido e Espanha, por exemplo, fazem com que o estado se destaque em capacidade de produção fotovoltaica (REN21, 2019; TIEPOLO *et al.*, 2018).

Figura 7 – Mapa informativo com a média de irradiação das componentes Global Horizontal, Direta Normal, Difusa e no Plano Inclinado na Latitude encontradas no Estado do Paraná por Mesorregião.



Fonte: Tiepolo et al. (2018).

O atlas publicado por Tiepolo et al. (2018) ainda apresenta que a mesorregião oeste do estado apresenta um potencial favorável com uma Global Horizontal média de 1744 KWh/m² (Figura 7), potencial este que depende de diversos fatores como localização geográfica, sombreamento, fatores climáticos dentre outros.

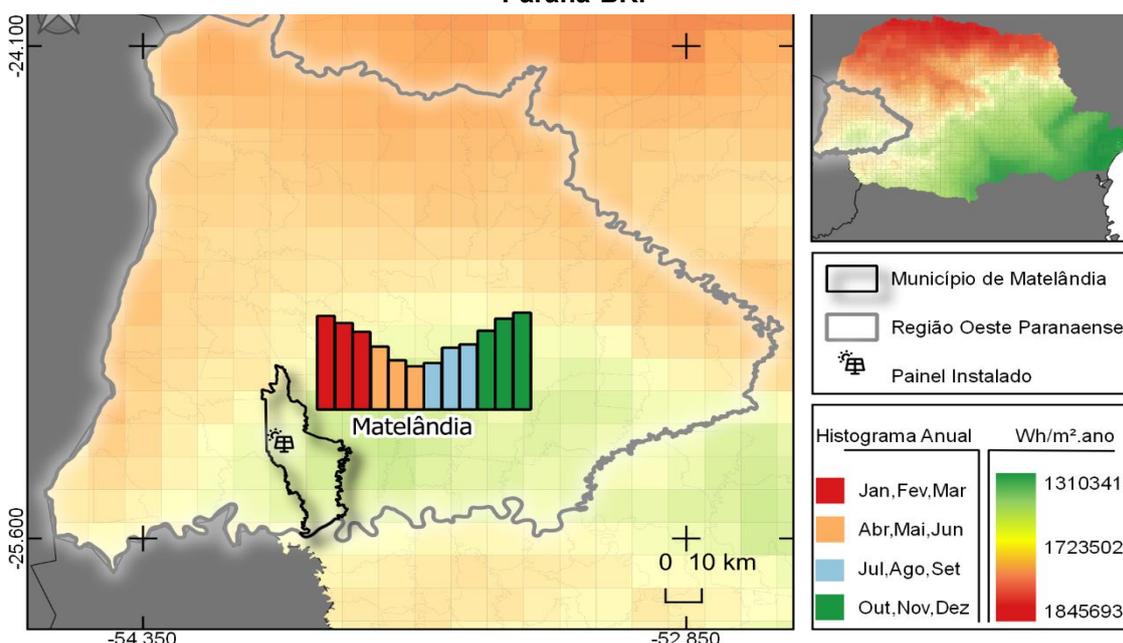
3 METODOLOGIA

Essa pesquisa será de abordagem qualitativa. O tratamento das informações será feito por meio de software (SOLergo®). Os dados serão de fonte secundária (ULTRAMAQ), coletados de forma indireta. A natureza da pesquisa será aplicada pois visa produzir conhecimento para aplicação prática direcionado a resolução de um problema específico. Por fim, é caracterizado como estudo de caso, pois envolve o universo de dois sistemas geradores com unidades consumidoras distintas uma da outra

3.1 Área do estudo

O estudo foi realizado em uma unidade consumidora, localizada no município de Matelândia, localizado na mesorregião oeste do estado do Paraná - BR (Figura 8). O município apresenta irradiação média Global Horizontal de 1700 – 1800 kWh/m².ano, sendo os meses de Janeiro e Dezembro os de maior irradiação média diária (6,2 e 6,4 kWh/m².dia respectivamente), e os meses de junho e julho os de menor irradiação média (2,9 e 3,1 e 6,4 kWh/m².dia respectivamente) (TIEPOLO *et al.*, 2018).

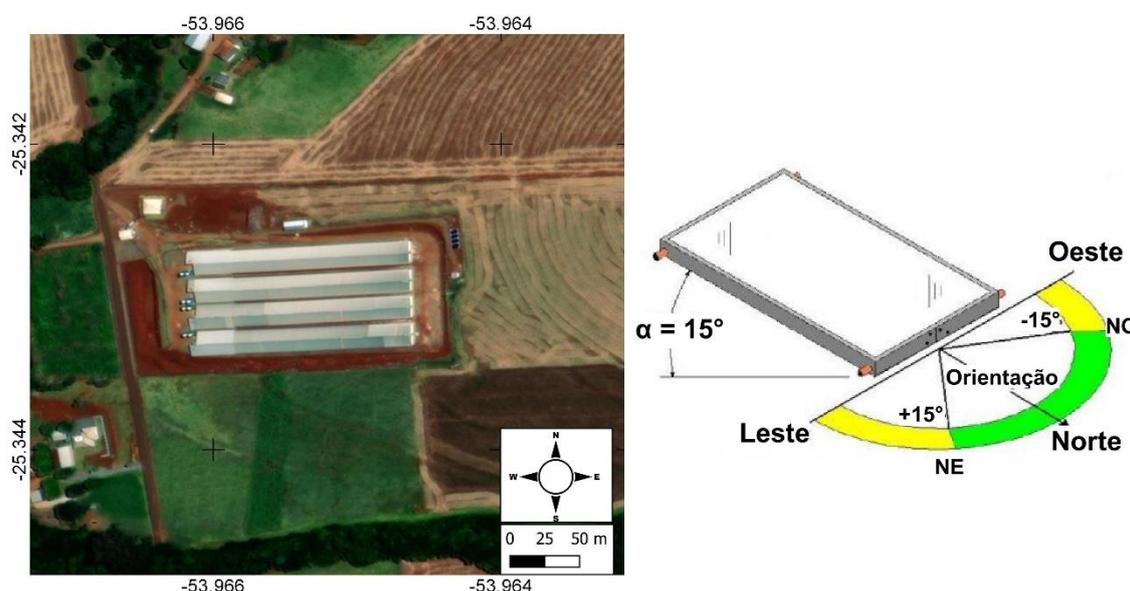
Figura 8 – Localização e média de irradiação das componentes Global Horizontal da Unidade consumidora avaliada no município de Matelândia, na mesorregião Oeste do Paraná-BR.



Fonte: Carta Temática estruturada pelo autor através da base de dados de Tiepolo et al. (2018).

O município tem população estimada para 2021 de 18266 habitantes, com PIB per capita estimado para 2019 de R\$47095,28 os quais advém principalmente de serviços de indústria e agropecuária (IBGE, 2021). A unidade consumidora escolhida para o estudo é um conjunto de galpões aviários localizados na latitude -25.343349 , longitude -53.965177 (Figura 9), o qual a instalação fotovoltaica tem finalidade de suprir o consumo energético do empreendimento.

Figura 9 – Imagem de satélite da unidade consumidora avaliada no estudo, localizada em Matelândia, Paraná-BR.



Fonte: Adaptado de Bing Satélite (2022) e ENERGES (2020)

3.2 Coleta dos dados

O estudo avaliou dois cenários, prático e teórico, para as mesmas características do sistema de geração, visando a validação da eficiência do sistema implementado na unidade consumidora em Matelândia-PR.

Cenário 1: este cenário se caracteriza pelo sistema instalado, ou seja, dados reais. Foi instalado um módulo em março de 2021, com um angulo azimute de 180° na direção norte. Essa configuração foi adotada como referência para as variações feitas na unidade adotada. Na orientação do módulo foi decidido uma variação de $+15^\circ$ (NE) e -15° (NO) de acordo com a Figura 9. Em sua inclinação foi definido o ângulo alfa de 15° (de acordo com o cenário prático) como mostra a Figura 9.

Foi aplicado sobre o telhado de aluzinco do aviário um total de 196 módulos, os quais tinham dois metros de comprimento e um metro de largura, e potência de 450W, estruturando um sistema com potência nominal de 75kW, com potência pico de 88,2kwp. Os dados de geração foram monitorados e tabelados para validação.

Cenário 2: este cenário se caracteriza pelo sistema calculado em software, ou seja, cenário teórico. O software SOLergo[®] foi utilizado para a realização do dimensionamento completo do sistema fotovoltaico conectados à rede de distribuição (on-grid), visando estruturar o cenário teórico. As mesmas características do módulo real foram utilizadas para alimentar o software e gerar as estimativas de produção. Vale ressaltar que essa ferramenta está inteiramente dedicada a realidade normativa e fiscal brasileira. Este software possui licença, a qual foi cedida pela empresa Ultramaq Materiais Elétricos Ltda EPP. As duas UCs são de clientes da empresa e seus sistemas já estão em operação.

Os cenários foram associados com os dados climatológicos fornecidos pela estação meteorológica automática instalada no campus da UTFPR, de Medianeira.

3.3 Análise dos dados

Após a definição do cenário a ser estudado, estimou-se a produção para os respectivos meses que puderam ser avaliados no sistema real. Estatísticas descritivas e análises gráficas foram utilizadas para comparar mensalmente cada perspectiva (real e teórica). Foram analisados os dados de junho a dezembro, considerando que o sistema já estava em funcionamento tempo suficiente para garantir a estabilidade dos resultados. Os dados mensais que ocorreram oscilações com a conexão do sistema, bem como falha no armazenamento de dados, foram desconsiderados na análise. O software Microsoft Office Excel foi utilizado para tabulação e análise dos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados foram planilhados e analisados através de estatística descritiva. Durante o período monitorado, houve falhas no acesso as informações referentes ao mês de outubro no sistema instalado, fazendo com que o mesmo fosse desconsiderado das análises. Porém, pode-se observar que ambos cenários (sistema instalado e sistema calculado) apresentaram médias superiores para meses mais quentes (ver médias descritas na tabela 2). Conforme proposto no atlas de potencial energético do Paraná, os meses de novembro e dezembro são característicos por apresentarem radiação superior aos demais, podendo estender a característica aos meses de janeiro e fevereiro (TIEPOLO *et al.*, 2018).

Tabela 2 – média de geração energética diária (kW) entre os meses avaliados do sistema fotovoltaico nos dois cenários (sistema instalado e sistema calculado respectivamente).

	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Novembro	Dezembro
Cenário 1	228,9457	328,3494	318,6597	343,1373	452,8573	452,4719
Cenário 2	241,145	257,246	328,515	317,484	397,671	418,043

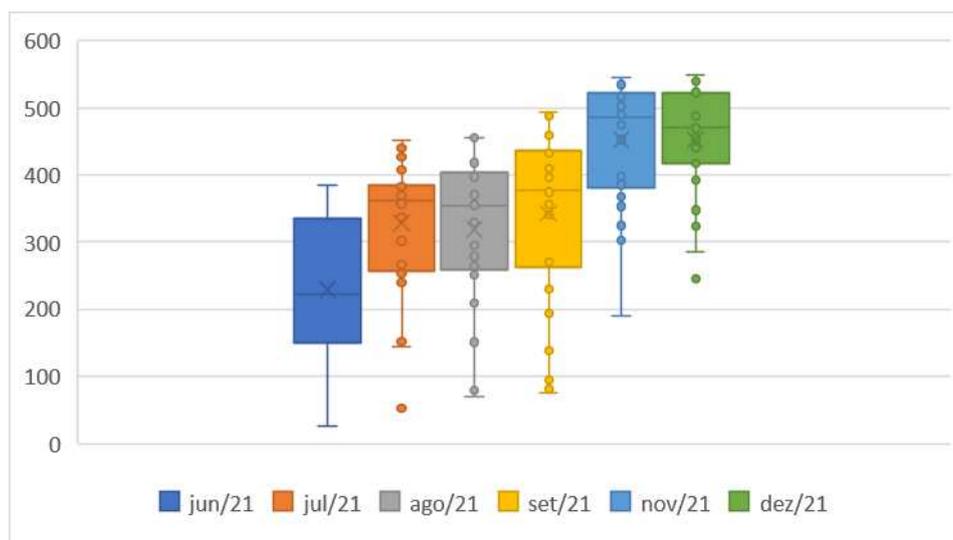
Fonte: Autor (2022)

Para o cenário 1 (sistema instalado), é perceptível o aumento da geração ao longo dos meses analisados, com destaque para o mês de novembro onde ultrapassou os 13.000 kW. mês e dezembro que ultrapassou 14.000kWmês, com médias diárias de 452,8573 kW.dia e 452,4719 kW.dia respectivamente (ver comportamento dos dados na Figura 10 e médias na Tabela 2). Para os meses de julho, setembro, novembro e dezembro, a geração instalada é superior a estimada (Tabela 2).

O cenário 2 (sistema calculado em software) apresentou comportamento similar ao cenário 1, destacando-se o mês de dezembro com uma estimativa superior a 12.000 kW. mês de geração. Nos meses de junho e agosto esta situação se inverte com a geração estimada sendo maior que a geração instalada (Tabela 2). Esta diferença torna-se significativa para os meses de julho e novembro, os quais apresentam um percentual de 21,16% e 8,59% respectivamente. Para os outros meses analisados, esta discrepância não passa de 6%.

Conforme a média de geração em cada mês para o cenário 1 analisado, a mesma tende a seguir a mediana. Para os meses de junho, julho, setembro, novembro e dezembro, as médias para cada cenário pratico chegaram mais próximas ao valor da mediana descrita no gráfico (Figura 10). Além disso, os pontos máximos de cada mês evidenciam o aumento da geração bem como nos pontos de mínimo (Figura 10). De acordo com a posição da mediana em cada mês, percebe-se que, dezembro, foi o mês mais simétrico com o menor desvio padrão dentre o período analisado em geração, visto que os meses de julho, agosto, setembro e novembro apresentaram a simetria positiva enquanto o mês de junho apresentou uma simetria negativa (Figura 10).

Figura 10 – gráfico boxplot da variação de produção energética diária (Kw) entre os meses avaliados no Cenário 1 (sistema instalado)



Fonte: Autor (2022)

O Cenário 2 é a base de um processo para definir quanta energia se deseja produzir em um sistema a ser instalado. O fato de o cenário real ter potencial médio inferior ao estimado apenas em junho e agosto, e com diferenças relativamente baixas, mostra que a estimativa pode sim trazer um bom parecer para o investidor.

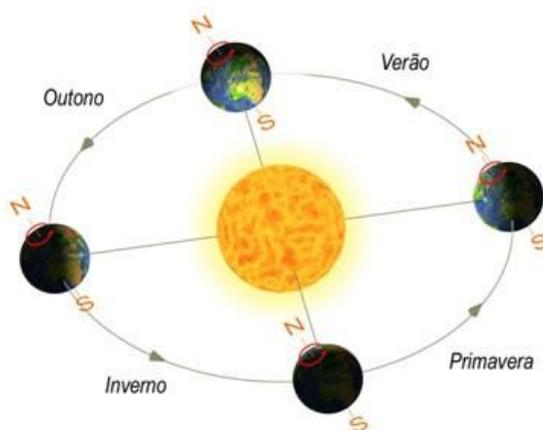
As características do sistema instalado podem ser determinadas tanto em função do consumo médio da unidade consumidora quanto em função da área que se tem disponível para instalação. A junção das informações necessárias para o dimensionamento e um estudo adequado do local a ser

implementado são fundamentais para que o cenário real seja o mais similar possível do cenário teórico.

O correto dimensionamento do sistema fotovoltaico impacta diretamente na capacidade de produção energética e conseqüentemente na confiabilidade do sistema (OLIVEIRA; MEDEIROS; LIMA, 2018).

De acordo com a Figura 11, as estações de outono e inverno são as menos favoráveis para geração fotovoltaica devido à distância da terra com o sol. Logo, os raios solares chegam com uma intensidade menor, impactando na capacidade da irradiação solar. A variação da temperatura média da Terra, bem como da irradiação solar é consequência da variação da radiação de ondas curtas, que chega à superfície da Terra, a qual oscila em função dos movimentos de rotação e translação (BUDYKO, 1969; JETER, 1981).

Figura 11: Trajeto em órbita terrestre ao longo do ano.



Fonte: Google Imagens (2022)

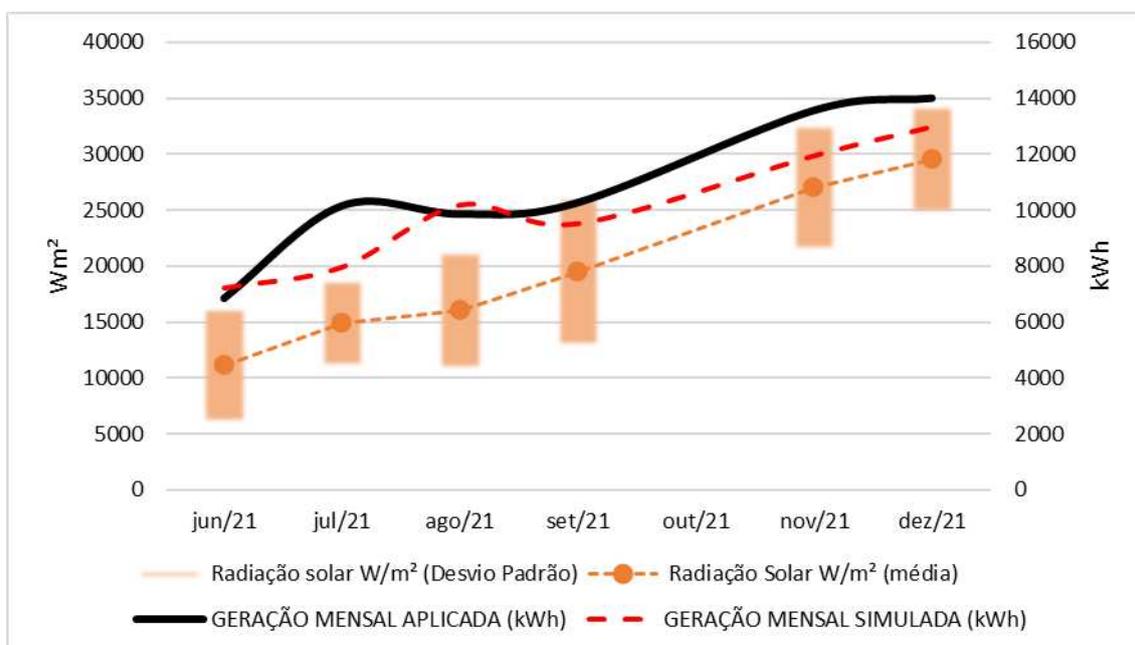
De acordo com a figura 12, o gráfico descritivo aponta através de uma linha preta a soma da geração aplicada (cenário 01) dos meses analisados. Na reta pontilhada em vermelho, temos a soma da geração simulada (cenário 02) em software (Figura 12). As barras verticais representam duas vezes o desvio padrão da radiação solar, destacando para cada mês analisado a média de cada um.

Segundo as duas curvas de geração, a partir de setembro ocorre um crescente aumento em seus índices (Figura 12). Esse aumento provém da elevação dos níveis de radiação solar analisados no mesmo período. Em contrapartida, para os meses de junho, julho e agosto devido ao baixo índice de

radiação, sua geração foi diretamente prejudicada, com destaque para o mês de junho e agosto os quais nem alcançaram os índices de geração simulados em software (Figura 12).

A radiação solar incidente em superfícies horizontais e inclinadas pode ser calculada com uma precisão uma vez que coeficientes empíricos levam em conta as variações nas condições climatológicas nas estações em estudo (HAY, 1979). Existem métodos disponíveis para realizar compensação sazonal, como aumentar o ângulo de inclinação dos módulos solares para aumentar a produção durante o inverno (PINEL *et al.*, 2011).

Figura 12 – Gráfico descritivo do comportamento dos dados de geração para cada mês de acordo com a radiação solar.



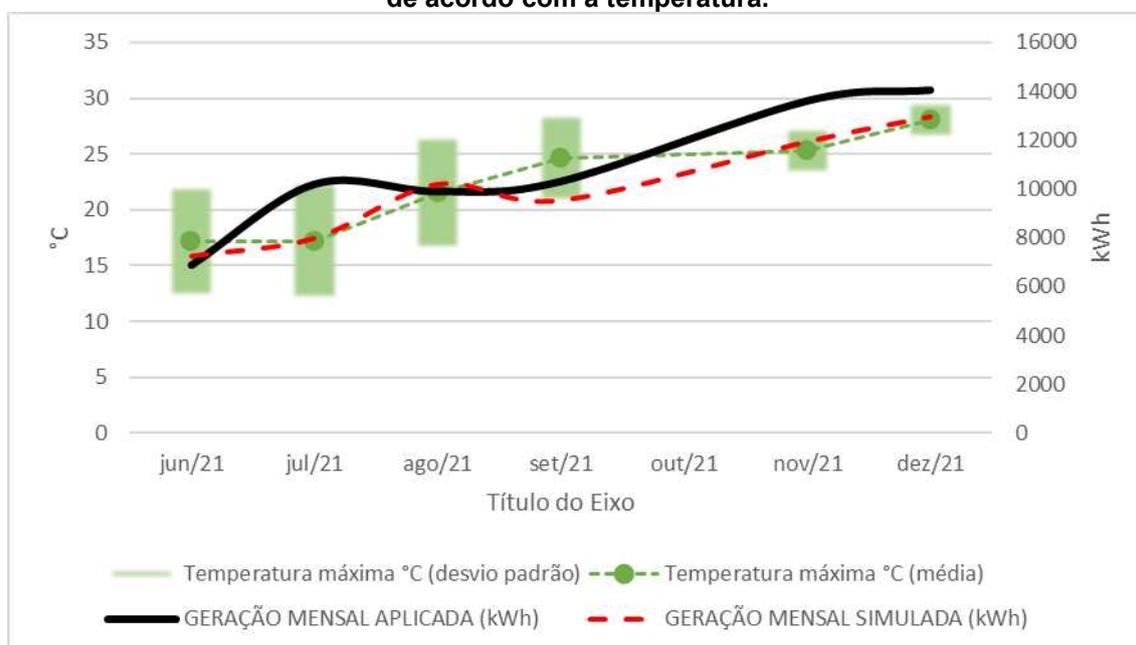
Fonte: Autor (2022)

A figura 13 aponta as curvas de geração associadas com a variação da temperatura máxima em cada mês. De acordo com os três primeiros meses analisados, levando em consideração a geração de cada um, percebe-se um crescente aumento em sua produção. Porém, comparando-se os três meses seguintes, esse crescente aumento torna-se mais significativo (Figura 13). Isto se explica, principalmente pela maior variação na temperatura entre os meses de agosto e setembro. Dezembro foi destaque com o menor índice de

precipitação e maior temperatura, mantendo o aumento na geração mensal (Figura 13).

É válido ressaltar a interferência do aquecimento da placa. O desempenho do módulo fotovoltaico é fortemente dependente de sua temperatura de operação. A maior parte da energia absorvida pelo painel é convertida em calor que normalmente é perdido e não fornece potencial energético (BAHAIDARAH *et al.*, 2013). Com isso, estudos apontam a possibilidade de sistemas de resfriamento dos módulos, visando otimizar o potencial energético do sistema (BAHAIDARAH *et al.*, 2013).

Figura 13 – Gráfico descritivo do comportamento dos dados de geração para cada mês de acordo com a temperatura.



Fonte: Autor (2022)

Em julho, houve uma geração maior do que o previsto caracterizada pelo baixo índice de precipitação. De acordo com a tabela 3, o mês de julho foi o segundo mês com o menor índice de precipitação. Para os outros meses analisados, esta perspectiva de geração se deu de forma adversa, primeiramente pela estação (verão), níveis menores de precipitação, mais horas do dia com irradiação e insolação.

Diversos estudos experimentais apontam que a sazonalidade e conseqüentemente a variação climatológica interferem no potencial. Estudos que testaram diferentes variações de sombreamento apontam que os efeitos do

sombreamento no painel, apesar de reduzir a intensidade de radiação solar devido ao tempo nublado e chuvoso, quando o sistema está sob condições complexas de irradiação, a capacidade de geração de energia do sistema fotovoltaico pode ser maior (LIJUN GAO *et al.*, 2009). Isso porque apesar da fraca intensidade de radiação em tempo nublado, o painel produz energia porque os raios são dispersos, e causam menor aquecimento da placa, gerando melhor aproveitamento energético (DURANAY; TURMUS; TANYILDIZI, 2021).

Tabela 3 – Dados climatológicos dos seis meses no período de análise do estudo.

Mês	Média precipitação (mm/mês)	Tmax (°C)
Junho	4,2967	26,27
Julho	1,6097	26,15
Agosto	1,9097	29,26
Setembro	2,0133	32,3
Novembro	2,9742	29,39
Dezembro	0,5839	30,54

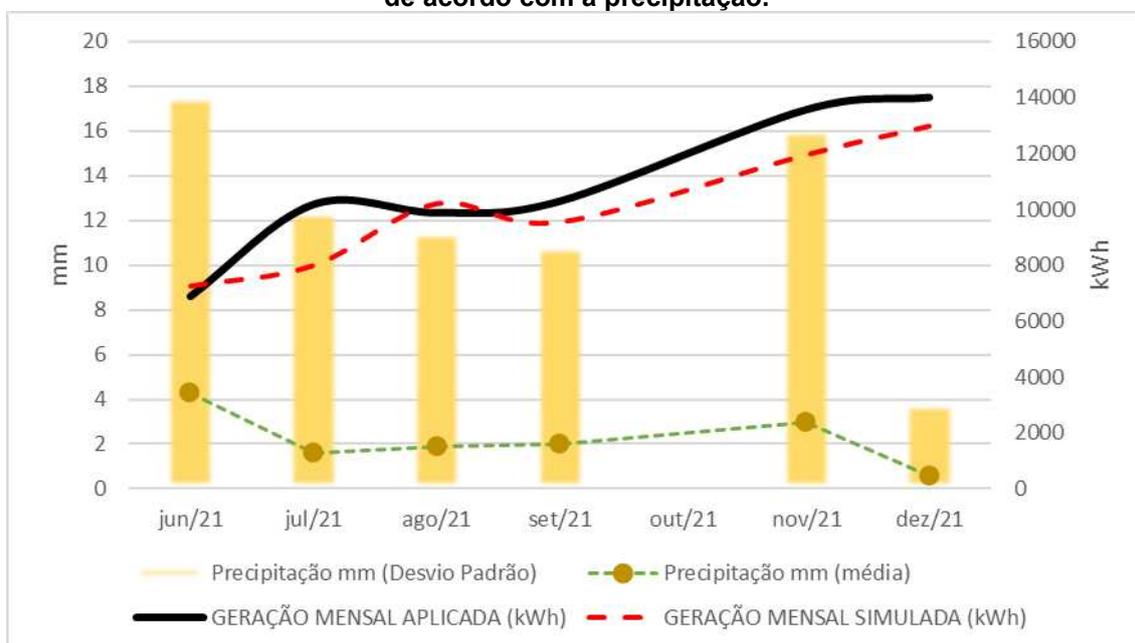
Fonte: Autor (2022)

Analisando a geração total mensal entre os dois cenários estudados, no mês de junho e agosto percebe-se um diferencial entre os mesmos, visto que a geração prática não alcançou a estimativa calculada em software (Figura 14). Esta diferença pode ser justificada em função dos altos índices de precipitação nos períodos, de acordo com a tabela 3. Outro fator decorrente das chuvas é o tempo coberto por nuvens, as quais absorvem boa parte da irradiação solar, comprometendo a incidência total nos módulos fotovoltaicos.

No gráfico 4, a geração em cada cenário é comparada com a precipitação do período adotado. Para os meses de julho e dezembro, os índices de precipitação foram menores. Consequentemente os níveis de geração aplicada (cenário 01) foram significativamente maiores se comparados aos níveis de geração simulada (cenário 02). No mês de junho, devido ao alto índice de precipitação, a geração aplicada (cenário 01) não passou da geração simulada (cenário 02). No mês de novembro mesmo com um nível considerável de precipitação, seu índice de geração aplicada (cenário 01) superou o índice de geração simulada (cenário 02). Essa variância nos níveis de geração para o mês de novembro se justifica pelos altos índices de temperatura e radiação solar.

A diferença apresentada nos meses de junho e julho foi considerada significativa, levando em conta seus valores de máximo e mínimo, isso se justifica devido aos níveis de precipitação durante o período analisado e pelo aumento da temperatura no mês de julho devido a maior radiação solar (figura 12). Para os meses de agosto e setembro esta diferença aumenta visto que, de acordo com o gráfico, a amplitude das caixas é maior se comparadas com o mês de julho. Nos meses de novembro e dezembro essa assimetria continua, contudo, em dezembro, ela diminui se comparada aos outros meses analisados.

Figura 14 – Gráfico descritivo do comportamento dos dados de geração para cada mês de acordo com a precipitação.



Fonte: Autor (2022)

Assim, os dados apontam que a quantidade de radiação solar incidente no telhado dos aviários podem exceder a estimativa prevista de um modelo teórico para instalação, mesmo que exista uma clara oscilação associada a alterações do meio ambiente e sazonalidade que não podem ser controladas em sistemas abertos (PINEL *et al.*, 2011).

Outro ponto que pode ser destacado nos dados é a necessária otimização do ângulo de inclinação, que quando realizada de forma adequada pode otimizar a produção e até mesmo evitar maiores efeitos de redução de potencial médio mensal devido aos efeitos climatológicos (YUSUFOGLU *et al.*, 2014).

Essas simulações, como a apresentada no cenário 2 nesse estudo, são capazes de reproduzir observações de medição, e trazem maior segurança quanto ao potencial energético do sistema, podendo avaliar antecipadamente quais ângulos de inclinação ideais conforme a realidade da área a ser instalada.

Essa análise prévia pode trazer resultados otimizados para o sistema implementado, como energia anual produzida superior a 30% em comparação com um módulo padrão simplesmente posicionando acima do solo ou telhado (YUSUFOGLU *et al.*, 2014). Sendo assim, mesmo com as variações pontuais, nos resultados deste trabalho, assim como outros apresentados na literatura, percebe-se claramente como o uso de software para dimensionamento do projeto aumenta a precisão e o acerto quanto ao que se espera de geração de energia versus o que se encontra em um cenário real (OLIVEIRA; MEDEIROS; LIMA, 2018)

Sabe-se que a geração fotovoltaica ainda é vista no Brasil como uma fonte de energia cara pelo custo do investimento inicial. Porém, estudos apontam que a mesma pode proporcionar um retorno financeiro satisfatório no médio e longo prazo (GARCIA; NOGUEIRA; BETINI, 2018). A geração fotovoltaica ainda é pouco difundida no mercado, trazendo pouco interesse aos consumidores. Porém, a energia solar pode fazer parte da matriz energética estado do Paraná, visto que o estado apresenta irradiação favorável para tais investimentos (GARCIA; NOGUEIRA; BETINI, 2018; TIEPOLO *et al.*, 2018).

5 CONCLUSÃO

O Brasil, por possuir níveis de incidência solar superiores a outros países, apresenta um vasto domínio e condições boas para a geração de energia fotovoltaica, deste modo, esse setor precisa ser amplamente explorado no país, já que possui estímulos fundamentais para isso.

Em vista disso, esse trabalho se propôs a estudar e coletar dados de um sistema de geração fotovoltaica instalado na região Oeste do Paraná e fazer a análise de geração em dois cenários simulados: 1) com características similares à instalação real; e 2) com ângulos de rotação e inclinação ideais para a latitude de instalação da usina. Apresentando as diferenças estatísticas de cada um e buscando possíveis causas técnicas.

Os resultados coletados mostram uma variação entre os dois casos de acordo com o período analisado. O comportamento das curvas de geração é parecido, porém, com um aproveitamento melhor no cenário prático. A variação na geração para cada situação se deu, principalmente, por motivos climáticos, que são característicos da região analisada. Outro motivo pelo qual a geração também foi afetada é a intensidade da radiação solar a qual obteve valor histórico catalogado de acordo com o período do ano analisado.

O sistema instalado apresentou um melhor comportamento de geração em relação ao sistema dimensionado em software, visto que a intensidade de irradiações no período estudado foi maior que a média histórica - usada no software. Contudo, ainda vale ressaltar que o software foi bem assertivo no cálculo de geração, chegando bem próximo ao resultado coletado em campo.

E, apesar de apresentar um alto investimento e um tempo de retorno longo, é um projeto que tem uma contribuição atraente para o meio ambiente e, conseqüentemente, para a sociedade como um todo. Deste modo, fica a expectativa de incentivo fiscal por parte de governantes para garantir os recursos necessários para as gerações futuras.

Para trabalhos futuros, propõe-se estudos nesta mesma linha de raciocínio, que impacte diretamente na geração de energia fotovoltaica. Além disto, um estudo detalhado sobre a implantação de um sistema híbrido com baterias.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. **Estatísticas e análises exclusivas do mercado solar fotovoltaico**. 2020. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/>. Acesso em: 20 maio 2022.
- AGUIAR, Valéria. **Energia solar deve responder por 17% da matriz brasileira até 2031**. São Paulo, 2022. Disponível em: [https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-05/energia-solar-deve-responder-por-17-da-matriz-brasileira-ate-2031#:~:text=Atualizado em 05%2F05%2F2022,da eletricidade gerada no país](https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-05/energia-solar-deve-responder-por-17-da-matriz-brasileira-ate-2031#:~:text=Atualizado em 05%2F05%2F2022,da eletricidade gerada no país.). Acesso em: 22 maio 2022.
- ALMEIDA, Rodrigo Antunes de. **Energia Solar: O aproveitamento da radiação solar para produção de eletricidade no Brasil**. 39 f. 2018. - Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, São Francisco do Conde, 2018.
- ALVES, Marliana de Oliveira Lage. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. 75 f. 2019. - Universidade Federal de Ouro Preto, 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf
- BAHAIDARAH, H. *et al.* Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions. **Energy**, v. 59, p. 445–453, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.07.050>
- BOUTELHIG, Azzedine; HANINI, Salah; HADJ ARAB, Amar. Performances' investigation of different photovoltaic water pumping system configurations for proper matching the optimal location, in desert area. **Energy Conversion and Management**, v. 151, n. May, p. 439–456, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.09.012>
- BUDYKO, M. I. The effect of solar radiation variations on the climate of the Earth. **Tellus**, v. 21, n. 5, p. 611–619, 1969. Disponível em: <https://doi.org/10.3402/tellusa.v21i5.10109>
- DE MIRANDA, Ronaldo Leão; MARTINS, Eliane Maria; LOPES, Kamila. A potencialidade energética da biomassa no Brasil. **Desenvolvimento Socioeconômico em Debate**, v. 5, n. 1, p. 94, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.18616/rdsd.v5i1.4829>
- DURANAY, Mehmet; TURMUS, Ahmet; TANYILDIZI, Vedat. Experimental efficiency analysis of a solar panel electricity generation system using planar reflection. **IET Renewable Power Generation**, v. 15, n. 3, p. 521–531, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1049/rpg2.12012>
- EPE. **Empresa de Pesquisa Energética - Fontes**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes>. Acesso em: 12 maio 2022.

GARCIA, Gabriela; NOGUEIRA, Eliel Ferreira; BETINI, Roberto Cesar. Solar Energy for Residential Use and Its Contribution to the Energy Matrix of the State of Paraná. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, n. spe, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-smart-2018000510>

GOOGLE IMAGENS. **Google Imagens - Juliana: Estações do ano**. 2022. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fjuliana-fonseca.blogspot.com%2F2010%2F04%2Festacoes-do-ano.html&psig=AOvVaw03JIYBxgBF6BbqwsMhhSxB&ust=1654131173112000&source=images&cd=vfe&ved=0CAwQjRxqFwoTCMjw4YaFi_gCFQAAAAAdA AAAABAW. Acesso em: 20 maio 2022.

HAY, John E. Calculation of monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces. **Solar Energy**, v. 23, n. 4, p. 301–307, 1979. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(79\)90123-3](https://doi.org/10.1016/0038-092X(79)90123-3)

HOSENUZZAMAN, M. *et al.* Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 284–297, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.046>

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades - Matelândia**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/matelandia/panorama>. Acesso em: 20 maio 2022.

IRENA. **Future of solar photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation: paper)**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019. v. November *E-book*.

IRENA. **Solar Energy Data (Installed Capacity Trends)**. 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/solar>. Acesso em: 15 maio 2022.

JETER, Sheldon M. Maximum conversion efficiency for the utilization of direct solar radiation. **Solar Energy**, v. 26, n. 3, p. 231–236, 1981. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(81\)90207-3](https://doi.org/10.1016/0038-092X(81)90207-3)

JIN, Huawei *et al.* The Study and Exploration of a New Generation of Photovoltaic Energy Storage System. **Energy Procedia**, v. 12, p. 986–993, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.10.129>

KARMAKER, Ashish Kumar *et al.* Exploration and corrective measures of greenhouse gas emission from fossil fuel power stations for Bangladesh. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, p. 118645, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118645>

LIJUN GAO *et al.* Parallel-Connected Solar PV System to Address Partial and Rapidly Fluctuating Shadow Conditions. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 56, n. 5, p. 1548–1556, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TIE.2008.2011296>

NEWKIRK, Martin. **How Solar Power Works - On-Grid, Off-Grid And Hybrid Systems**. 2016. Disponível em:

<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/5/4/how-solar-works>. Acesso em: 14 maio 2022.

OLIVEIRA, Rodrigo Campos de; MEDEIROS, Leonardo Araújo de; LIMA, Rafael Targino Dantas de. Análise comparativa da geração real em relação aos valores estimados no dimensionamento de um sistema fotovoltaico. *In: , 2018.*

XXII Congresso Brasileiro de Automática. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.20906/CPS/CBA2018-1002>

PINEL, Patrice *et al.* A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 7, p. 3341–3359, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.013>

PINTO, João Tavare; GALDINHO, Marco Antonio. **Manual de engenharia sistemas-fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 2014.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em: 25 maio 2022.

RAY, Katherine Leung. **Photovoltaic Cell Efficiency at Elevated Temperatures**. 1–23 f. 2010. - Massachusetts Institute of Technology, 2010. Disponível em:

<https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/59937/676836192-MIT.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

REN21. **Renewables 2019 Global Statu Report**. Vienna, 2019. Disponível em: https://www.ren21.net/gsr-2019/chapters/chapter_01/chapter_01/#sub_4. Acesso em: 20 maio 2022.

SOMMER, Alfred. Burning Fossil Fuels. **International Journal of Health Services**, v. 46, n. 1, p. 48–52, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0020731415625253>

TIEPOLO, Gerson Maximo *et al.* Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná - Resultados. **Revista BRasileira de Energia Solar**, v. 9, n. April, p. 1–10, 2018. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/229/187>

TIEPOLO, Gerson Maximo. **Estudo do Potencial de Geração de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Estado do Paraná**. 228 f. 2015. - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2015.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações**. 2ªed. São Paulo: Érica, 2015.

YAMAGUCHI, Masafumi. Present status and prospects of photovoltaic technologies in Japan. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 5, n. 2, p. 113–135, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(00\)00013-7](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(00)00013-7)

YUSUFOGLU, Ufuk Alper *et al.* Simulation of Energy Production by Bifacial Modules with Revision of Ground Reflection. **Energy Procedia**, v. 55, p. 389–395, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.08.111>