

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LEONARDO RODRIGO RAMOS

**INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO E DA ORIENTAÇÃO DOS
PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA**

Ilha Solteira

2023

LEONARDO RODRIGO RAMOS

**INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO E DA ORIENTAÇÃO DOS
PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA**

Trabalho de Graduação apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Prof. Dr. Dionízio Paschoareli Júnior
Orientador

Ilha Solteira
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

R175i Ramos, Leonardo Rodrigo.
Influência do ângulo de inclinação e da orientação dos painéis fotovoltaicos na geração de energia / Leonardo Rodrigo Ramos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
47 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

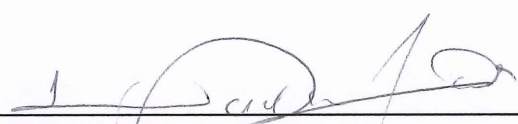
Orientador: Dionízio Paschoareli Júnior

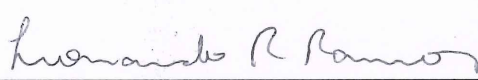
Inclui bibliografia

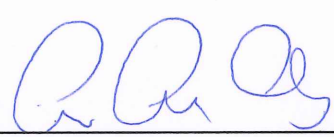
1. Energia renovável. 2. Energia solar. 3. Módulos fotovoltaicos..

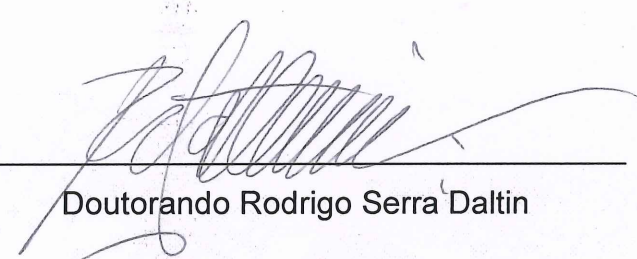
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos vinte e dois dias do mês de junho do ano de dois mil e vinte e três, o discente Leonardo Ramos, matriculado sob o nº 191051349, tendo como banca examinadora o seu orientador, o Prof. Dr. Dionízio Paschoareli Junior, o Prof. Dr. Carlos Antônio Alves e o Doutorando Rodrigo Serra Daltin, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado **"INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO E DA ORIENTAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTÁICOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA"** obtendo a nota 9,0 (NOVE) e conceito APROVADO.



Prof. Dr. Dionízio Paschoareli Junior
- Orientador -

Leonardo Ramos
- Discente -

Prof. Dr. Carlos Antonio Alves
- Membro da Banca -

Doutorando Rodrigo Serra Daltin
- Membro da Banca -

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu avô Walter Ramos, que mesmo não estando presente fisicamente nesse momento de alegria, estará sempre no meu coração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais e familiares pela paciência e apoio nessa longa e tortuosa estrada até aqui. Da mesma maneira, tenho muito a agradecer aos meus sogros pelo acolhimento e carinho dedicados a mim nos últimos anos.

Aos meus companheiros da EnerSol – Soluções em Engenharia Elétrica agradeço pelo convívio, conhecimento adquirido e por me ajudar a ressignificar minha trajetória profissional na área da Engenharia Elétrica, em especial ao meu amigo Matheus Gomes Ribeiro, o qual me ajudou prontamente no registro das fotografias deste trabalho. Nesse contexto, também tenho muito a agradecer ao meu Orientador, o Prof. Dr. Dionízio Paschoareli Júnior, pela dedicação e respeito, tanto na elaboração desse trabalho, como na função de Professor na graduação.

Agradeço também meus amigos Fábio Moraes e Thayline Queiroz, pelo convívio e amizade, tanto nos momentos felizes, quanto nas adversidades.

E por último, faltam palavras para agradecer minha amada Natália Gabriela Rós Marques de Oliveira, por tanto apoio e amor devotados a mim nesses anos todos. Ela é a principal responsável por eu nunca ter desistido de tantas coisas, e representa a melhor parte da minha vida, com toda certeza.

“A dream you dream alone is only a dream. A dream you dream together is reality”.

(John Lennon)

RESUMO

Torna-se cada vez mais indispensável, no decorrer dos anos e avanços da tecnologia a discussão a respeito de fontes energéticas, em especial de fontes mais limpas e renováveis. Dentro deste contexto, a energia solar enquadra-se muito bem, fato esse que se reflete no grande aumento da implantação desse tipo de sistema nos centros urbanos brasileiros nos últimos anos. Alguns fatores, entretanto, podem influenciar a geração de energia solar, como é o caso da orientação dos painéis solares, o ângulo de inclinação dos módulos e o sombreamento. Estudar de qual forma esses fatores interferem na geração de energia elétrica é crucial para que se possa difundir uma maior eficiência de geração de energia através dessa fonte. O objetivo deste trabalho é observar os principais agentes que interferem na geração de energia fotovoltaica e apresentar um estudo de caso para elucidar o impacto dos ângulos de inclinação e orientação dos painéis na geração de energia em Três Lagoas – MS. Através do trabalho foi possível notar a influência do posicionamento dos painéis da geração de energia e de qual forma o sombreamento realiza essa interferência. Além disso, através do estudo de caso realizado, foi observado que nas duas unidades geradoras analisadas, nos quais foram instalados sistemas de mesma potência, mas orientação e inclinação diferentes, houve grande diferença na geração energética anual, o que demonstra na prática a influência dos fatores estudados. Mediante a apresentação desta grande variação, é ressaltada com esta pesquisa a importância da realização de um diagnóstico de quais vertentes do telhado possuem maior potencial de geração, além da verificação sobre a necessidade de adaptar certas áreas do telhado, com o intuito de otimizar o sistema fotovoltaico.

Palavras-chave: energia renovável, energia solar, módulos fotovoltaicos.

ABSTRACT

It becomes increasingly indispensable, over the years and technological advancements, to discuss energy sources, particularly cleaner and renewable sources. In this context, solar energy fits very well, as reflected by the significant increase in the implementation of this type of system in Brazilian urban centers in recent years. However, certain factors can influence solar energy generation, such as the orientation of solar panels, the angle of module inclination, and shading. Studying how these factors affect electricity generation is crucial to promote greater efficiency in harnessing energy from this source. The objective of this work is to discuss the main types of factors that interfere with photovoltaic energy generation and present a case study to elucidate the impact of panel angles and orientation on energy generation in Três Lagoas – MS. Through this study, it was possible to observe the influence of panel positioning on energy generation and discuss how shading affects this interference. Furthermore, the case study revealed a significant difference in annual energy generation between the two analyzed generating units, which had systems of the same power but different orientation and inclination. This practical demonstration highlights the influence of the studied factors. Based on the significant variation observed, this research emphasizes the importance of diagnosing which areas of the roof have the highest generation potential and assessing the need to adapt specific roof areas in order to optimize the photovoltaic system.

Keywords: renewable energy, solar energy, photovoltaic modules.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento de uma Célula Fotovoltaica.....	14
Figura 2 – Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	17
Figura 3 - Irradiação Média Mensal no Brasil	19
Figura 4 - Irradiação Solar Média Anual Brasileira	20
Figura 5 - Valores médios mensais da eficiência do módulo solar para o ano 2017	21
Figura 6 - Ligação em Série de Módulos Fotovoltaicos em uma Situação de Sombreamento	24
Figura 7 - Diodos de “by-pass” e de Bloqueio em uma Associação de Módulos Fotovoltaicos.....	25
Figura 8 - Mapa do Estado do Mato Grosso do Sul e o Posicionamento da cidade de Três Lagoas.	27
Figura 9 - Unidade Geradoras A e B Utilizadas no Estudo de Caso.	28
Figura 10 - Módulos do Sistema Fotovoltaico da Unidade A.	34
Figura 11 - Inversor do Sistema Fotovoltaico da Unidade A.	34
Figura 12 - Módulos do Sistema Fotovoltaico da Unidade B.	35
Figura 13 - Inversor do Sistema Fotovoltaico da Unidade B.	35
Figura 14 - Simulações de Desempenho para Diversas Inclinações e Orientações de Painéis Fotovoltaicos em Três Lagoas-MS – Parte 1.....	37
Figura 15 - Simulações de Desempenho para Diversas Inclinações e Orientações de Painéis Fotovoltaicos em Três Lagoas-MS – Parte 2.....	37
Figura 16 - Simulações de Desempenho para Inclinações até 5° de Painéis Fotovoltaicos em Três Lagoas-MS – Parte 3.....	38
Figura 17 - Simulações de Desempenho para Inclinações até 5° de Painéis Fotovoltaicos em Três Lagoas-MS – Parte 4.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Dados de Geração Para as Unidade Geradoras Estudadas.....	32
-----------------	---	----

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO	11
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	13
2.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	13
2.2	MÓDULOS POLICRISTALINOS E MONOCRISTALINOS	14
2.3	SISTEMAS ON-GRID E OFF-GRID	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1	FATORES DE INFLUÊNCIA NA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	18
3.1.1	Sistema Ideal e Sistema Real	18
3.1.2	Eficiência dos Módulos Fotovoltaicos	21
3.1.3	Ângulo e Orientação dos Módulos	22
3.1.4	Sombreamento	23
4	ESTUDO DE CASO	27
4.1	SITUAÇÃO GEOGRÁFICA	27
4.2	EQUACIONAMENTO DE ÍNDICES DE MÉRITO	29
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.3.1	Dados de Geração e Distribuição dos Módulos Fotovoltaicos nas Unidades	32
4.3.2	Discussão dos Dados Obtidos	39
5	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE A – SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO PARA DIVERSAS INCLINAÇÕES E ORIENTAÇÕES DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM TRÊS LAGOAS-MS	46
	APÊNDICE B - SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO PARA INCLINAÇÕES ATÉ 5° DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM TRÊS LAGOAS-MS	47

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que atualmente a população mundial esteja na ordem de mais de 8 bilhões de pessoas (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2022). Considerando o crescimento populacional e a demanda por desenvolvimento tecnológico, pode-se dizer que a gestão responsável da energia elétrica é indispensável para a sociedade atual.

Atrelada à questão do desenvolvimento populacional e tecnológico e sua dependência da energia elétrica, levanta-se a crescente questão da geração de energia elétrica de forma mais limpa e de maneira a reduzir os impactos ambientais nesses processos.

Dentro desse cenário, observa-se a crescente implantação de sistemas fotovoltaicos em residências e estabelecimentos brasileiros. Apenas em fevereiro de 2022, o país registrou a maior taxa de geração de energia solar já vista no país. Foram gerados mais de 1,2 mil MWm (Megawatt-médio), o que corresponde ao dobro do valor registrado ano passado no mesmo período (CORSINI, 2022). Considerando-se que o sistema de geração de energia fotovoltaica é dependente da geração de energia elétrica através da captação de energia solar por placas de silício semicondutoras, ou seja, é uma geração de energia elétrica condicionada a variáveis ambientais (dependente da irradiação solar incidente no plano dos módulos) (GASPARIN; KRENZINGER, 2017), torna-se interessante mensurar qual a influência da angulação dos painéis (módulos) solares em busca de uma máxima irradiância normal sobre os módulos na geração de energia solar.

Uma vez que sistemas fotovoltaicos se tornam cada dia mais viáveis em residências, estabelecimentos comerciais, complexos industriais e ambientes rurais, estudos sobre como otimizar a geração de energia para extrair a máxima eficiência dos sistemas fotovoltaicos tornam-se muito importantes.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste Trabalho de Graduação é analisar por meio de estudo de caso, qual a influência de fatores como o ângulo, orientação dos módulos e sombreamento

na geração de energia fotovoltaica, utilizando sistemas com dimensões semelhantes e instalados na mesma região.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

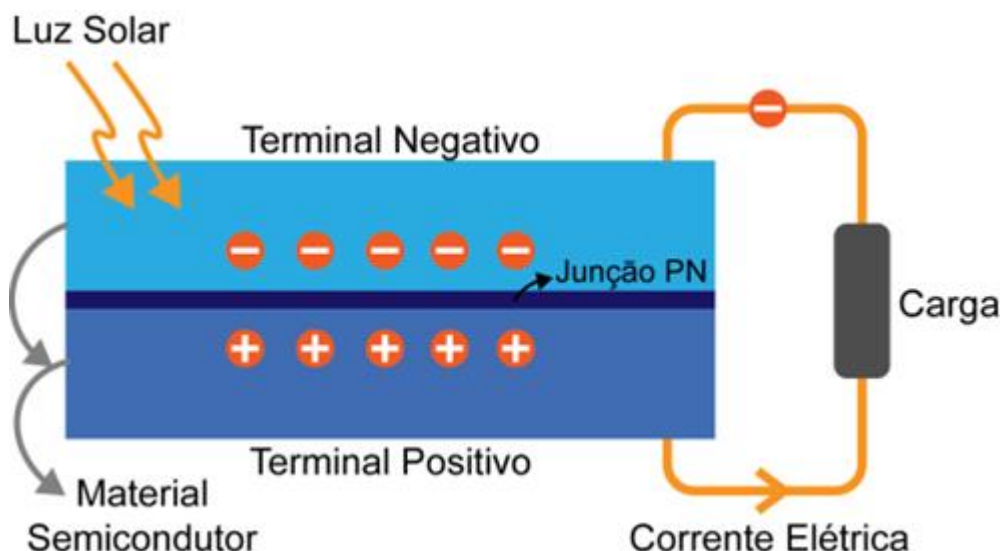
Neste capítulo o efeito fotovoltaico, bem como as diferenças construtivas entre os principais tipos de painéis comerciais serão apresentados. Além disso, os principais tipos de conexão de sistemas fotovoltaicos serão diferenciados.

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A geração de energia fotovoltaica até a forma como a conhecemos hoje teve uma trajetória de descobertas. Começando em 1839, Edmond Becquerel, físico francês, imergiu duas placas de latão em um eletrólito líquido e observou que havia produção de eletricidade, quando elas eram expostas à luz do Sol. Nomeou esse fenômeno de “efeito fotovoltaico”. Já em 1883, um inventor americano chamado Charles Fritts produziu a primeira bateria solar feita com folhas de selênio, o que acendeu a discussão sobre a possibilidade de se gerar energia sem queima de combustíveis. A primeira célula solar, entretanto, foi desenvolvida só em 1954, por cientistas da Bell Labs. Pode-se dizer que a partir desse marco, começaram-se a desenvolver muitas pesquisas na área (MACHADO; MIRANDA, 2014).

Atualmente, a energia solar fotovoltaica é baseada na geração de energia elétrica através da captação da radiação solar através de células fotovoltaicas, ou placas. Estas células, grosso modo, são responsáveis por captar raios solares e transformá-lo em energia através de uma reação que ocorre entre o material do módulo, que é semicondutor e a luz do Sol, como visto na Figura 1. Os painéis fotovoltaicos são montadas em módulos, podendo ser utilizadas em sistemas instalados em residências, instalações solares, edificações, eletrificação rural, satélites movidos a energia fotovoltaica e sistemas fotovoltaicos de iluminação (SANTOS; MARTINS; BORGES, 2020).

Figura 1 – Funcionamento de uma Célula Fotovoltaica



Fonte: Moraes (2022).

Nas células fotovoltaicas, existem um silício do tipo N, que é um portador de cargas negativas (terminal negativo) e um silício do tipo P, portador de cargas positivas (terminal positivo). Há, portanto, uma fina camada de Si N e uma camada um pouco mais espessa de Si P dentro da célula fotovoltaica. Mediante incidência de luz solar sobre a célula, os fótons que compõem a célula chocam-se com elétrons da estrutura de silício, conferindo-os energia e conduzindo-os a uma movimentação sentido Si P para Si N e gerando um campo elétrico P-N (CRESESB, citado por SILVA, 2021).

2.2 MÓDULOS POLICRISTALINOS E MONOCRISTALINOS

Um fator limitante dos sistemas fotovoltaicos é a tecnologia de extração das células fotovoltaicas que constituem um módulo solar. As células mais utilizadas no mercado são fabricadas à base de silício e a manipulação deste componente pode gerar células fotovoltaicas policristalinas, monocristalinas, amorfas, filme-fino, orgânicas e poliméricas. Destas, possuem notadamente maior eficiência as células policristalinas e monocristalinas, sendo que na primeira os cristais de silício passam por um processo industrial de fundição, onde vários cristais dão origem à uma única célula fotovoltaica.

No caso de uma célula monocristalina, esta é composta de apenas um cristal de silício. A extração da célula mono é tecnologicamente mais avançada e, portanto, nesse caso, mais eficiente, uma vez que nas células poli a adjacência entre um cristal e outro dentro de uma mesma célula provoca maior resistência elétrica, trazendo maior dificuldade à circulação da corrente elétrica e por consequência aumentando as perdas no processo de geração de energia (NARUTO, 2017).

Apesar de possuir uma produção mais cara em relação aos módulos policristalinos, os monocristalinos têm dominado o cenário atual nos sistemas fotovoltaicos, isto porque a sua maior eficiência faz ser possível extrair maior potência elétrica por área, como pode ser observado no Quadro 1. Isto é, é possível atender a demanda de uma unidade consumidora com menos módulos fotovoltaicos, ou mesmo, utilizar módulos cuja dimensões sejam proporcionalmente menores em comparação aos modelos policristalinos. Em última análise, a área instalada de módulos fotovoltaicos pode ser decisiva na viabilidade de um projeto.

Quadro 1 – Eficiência das Células e Módulos Fotovoltaicos

Materiais e/ou Tecnologias	Eficiência das Células (%)	Eficiência dos Módulos (%)
Silício Monocristalino - m-Si	14 a 25	14 a 21
Silício Policristalino - p-Si	20	13 a 16,5
Orgânicos	12	7 a 12
Filmes Finos	9 a 16	7 a 13
Silício Amorfo - a-Si	9	6 a 9
Telureto de Cádmio - CdTe	14,4	9 a 11
Seleneto de Cobre, Índio e Gálio - CIGS	22	10 a 12
Híbrido - HJT	-	23

Fonte: Naruto (2017).

2.3 SISTEMAS ON-GRID E OFF-GRID

Os sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil se concentram principalmente em dois tipos, os sistemas conectados à rede de distribuição da concessionária de energia (*on-grid*) e os sistemas autônomos, portanto, desconectados à rede (*off-grid*), como esquematizado na Figura 2.

Os sistemas *off-grid* são recomendados usualmente, em localidades remotas, onde não há o abastecimento energético por conta da distribuidora de energia. É comum,

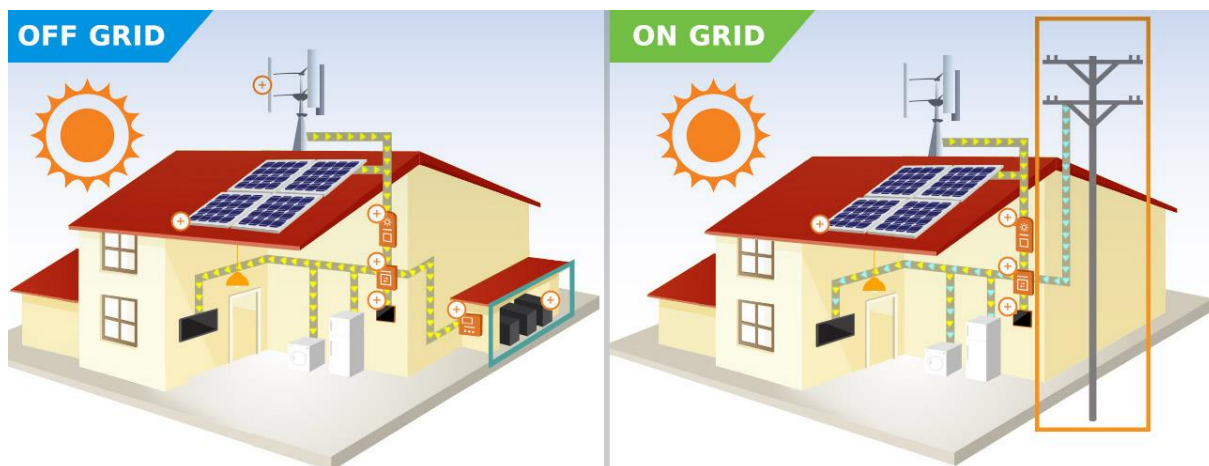
portanto, encontrar sistemas *off-grid* em regiões rurais mais afastadas. Esses sistemas geram energia durante o dia, podendo abastecer a localidade onde é instalada e armazenar a energia excedente em um banco de baterias. No entanto, um fator impeditivo desta forma de usina fotovoltaica é justamente o alto custo dessas baterias.

Essas chamadas baterias estacionárias, possuem grande capacidade de descarga, ou seja, podem receber ciclos de descargas profundas, sem impactar sua vida útil. Para isto, sua construção exige materiais mais robustos e caros, em comparação a uma bateria automotiva, por exemplo. Além disso, a vida útil de uma bateria estacionária é de cinco anos (ALVES, 2019).

Já os sistemas *on-grid*, não possuem forma de armazenar a energia excedente não consumida durante o dia. Ao invés disso, esses sistemas injetam o excedente na rede da concessionária distribuidora, podendo compensar essa energia durante à noite, em períodos diurnos de geração inferior ao consumo, ou mesmo compensar outras unidades consumidoras, desde que tais unidades estejam sob mesma titularidade e sob a área de operação da mesma concessionária. No entanto, por disponibilizar esse serviço ao usuário, as concessionárias cobram um custo de disponibilidade que varia de acordo com a quantidade de energia injetada na rede pela Unidade Consumidora (UC), além de outros encargos, como PIS, COFINS e iluminação pública.

Na grande maioria das vezes, quando há rede instalada da concessionária, opta-se pelo sistema fotovoltaico *on-grid*. Isto porque os sistemas dependentes de bancos de bateria costumam ser em torno de 59% mais caros em relação aos sistemas conectados à rede, em casos onde há disponibilidade da rede da concessionária. (BOSO; GABRIEL, GABRIEL FILHO, 2015).

Figura 2 – Tipos de Sistemas Fotovoltaicos



Fonte: Energia (2023).

3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão abordados pontos sensíveis na avaliação de um sistema fotovoltaico, entre eles, não idealidades dos sistemas, irradiação solar no local de instalação, ângulos ótimos de inclinação e orientação de painéis e a influência do sombreamento em uma usina solar.

3.1 FATORES DE INFLUÊNCIA NA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

A seguir, os maiores e menores valores de irradiação no território brasileiro, as condições padrões de teste de painéis, bem como a diferença entre ângulos de inclinação e orientação serão referidos.

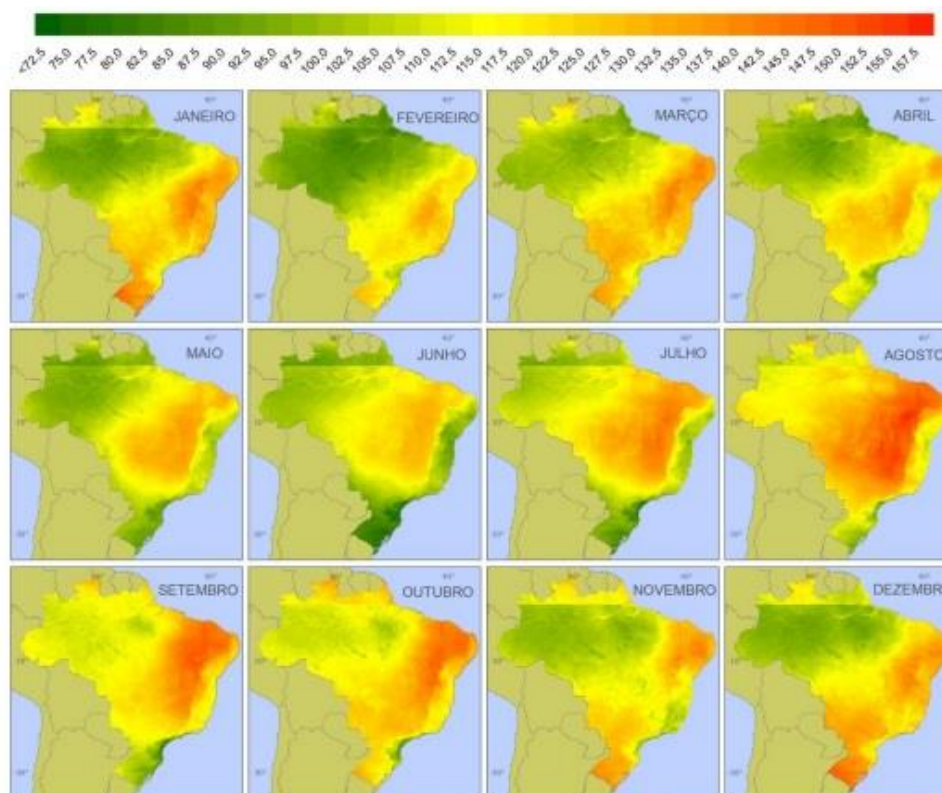
3.1.1 Sistema Ideal e Sistema Real

Assim como já mencionado, o Brasil possui alto potencial de geração de energia fotovoltaica devido aos altos níveis de radiação solar que incidem no país (POSSER, SANTOS, GARCIA, 2020). Entretanto, não se deve ignorar a influência que determinados fatores exercem sobre um sistema fotovoltaico, o que pode influenciar na geração de energia e distanciá-la da geração fornecida por um sistema ideal. Alguns desses fatores são condições específicas de clima da região em que será instalado o sistema, temperatura, a intensidade da irradiação solar na região, a orientação dos módulos e o sombreamento dos mesmos (NÓBREGA, et al., 2018).

Tanto a época do ano quanto a localidade influenciam na quantidade de energia gerada pelo sistema, já que representam diferentes irradiações solares. As irradiações maiores ocorrem no Norte (entre 5,30 e 5,40 kWh/m².dia), Nordeste (entre 6,80 e 6,90 kWh/m².dia) e Centro-Oeste (entre 5,50 e 5,60 kWh/m².dia) em setembro e no Sudeste (entre 5,30 e 5,40 kWh/m².dia) e Sul (entre 6,70 e 6,80 kWh/m².dia) em dezembro (PEREIRA et al., 2017). Já os períodos de menor irradiação solar acontecem em abril na região Norte (entre 2,70 e 2,80 kWh/m².dia), maio na região Centro-Oeste (entre 3,30 e 3,40 kWh/m².dia) e em junho nas regiões Nordeste (entre 2,70 e 2,80

kWh/m².dia), Sudeste (entre 2,50 e 2,60 kWh/m².dia) e Sul (entre 1,20 e 1,30 kWh/m².dia) (Figura 3) (PEREIRA et al., 2017).

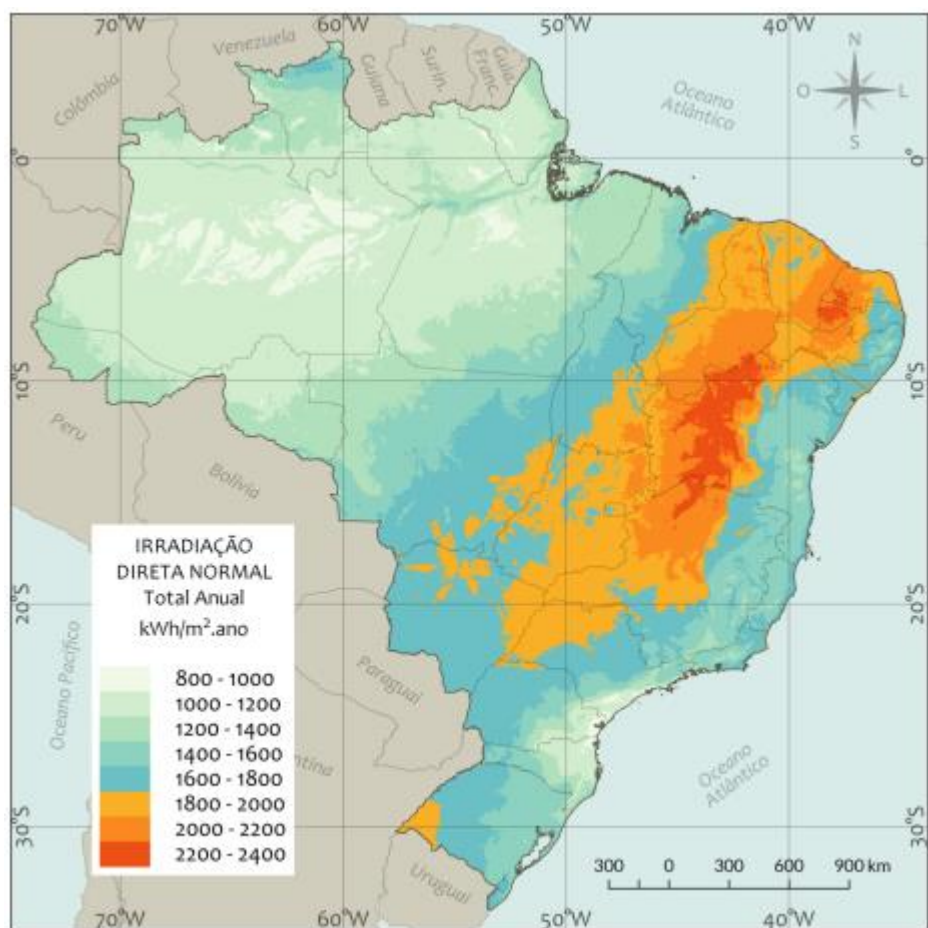
Figura 3 - Irradiação Média Mensal no Brasil



Fonte: Costa, Lopes, Uturbey (2018).

A região brasileira com maior potencial de geração de energia advinda de sistemas fotovoltaicos é o Nordeste, já que é a região do Brasil com maior irradiação solar, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4- Irradiação Solar Média Anual Brasileira

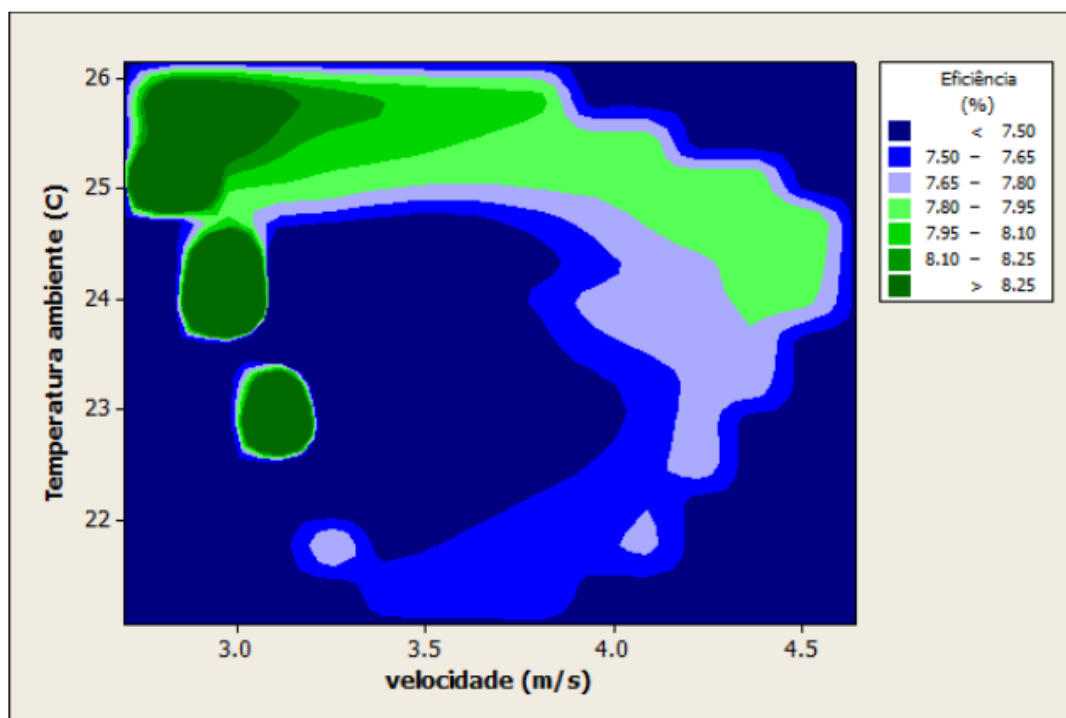


Fonte: Pereira et al. (2017).

Outro fator que influencia na geração de energia solar é a temperatura, uma vez que o aumento da mesma pode ocasionar a diminuição dos valores de tensão de saída, o que reduz a produção de energia (BELTRÃO, 2008). Em pesquisa realizada por Santos, Cavalcante e Silva (2020), determinou-se que, em um local de mesma irradiação solar, a temperatura de 15°C é a temperatura de maior potência elétrica, enquanto a de 55°C é a de menor potência.

A temperatura relaciona-se muitas vezes também com outro fator de influência: a velocidade do vento, como disposto na Figura 5.

Figura 5 - Valores médios mensais da eficiência do módulo solar para o ano 2017



Fonte: Souza et al. (2019).

Devido a esses fatores, sempre é importante a realização de análise dos sistemas fotovoltaicos, para que seja possível monitorar essa geração de energia e detectar a influência de alguns desses fatores (NÓBREGA *et al.*, 2018).

3.1.2 Eficiência dos Módulos Fotovoltaicos

Os painéis solares, assim como são instalados nos sistemas, possuem uma eficiência e validade que considera o STC (Standard Testing Conditions) (RUVIARO, 2018), ou seja, existe uma durabilidade que condiz com alguns padrões de temperatura da célula, massa de ar e irradiação solar (GABRIEL FILHO, 2012).

A temperatura ideal que o módulo solar deve apresentar é de 25°C, independentemente da temperatura externa (ambiental), sendo essa estimativa já determinada levando-se em consideração também a velocidade do vento. Com relação à irradiação solar, ela deve possuir uma média de 1000 W/m² (GABRIEL

FILHO, 2012). Obtendo-se esses parâmetros iniciais, é possível realizar-se uma comparação entre a estimativa de potência a ser gerada e a geração real, o que ajuda na avaliação da eficiência dos módulos.

3.1.3 Ângulo e Orientação dos Módulos

Um dos fatores de maior influência no potencial de geração da energia solar é a irradiação solar. Tendo em vista essa informação, pode-se inferir que a orientação correta dos módulos no sistema fotovoltaico é indispensável para que se possa interceptar a maior irradiação solar possível. Além disso, a orientação correta dos módulos também pode ser um diferencial para que se consiga explorar o máximo potencial de produção energética do sistema. Geralmente, o que se preconiza no Brasil é a instalação de módulos voltados para o Norte geográfico, tendo em vista a movimentação solar, que surge a Leste e em sua trajetória realiza uma leve inclinação ao Norte, conforme caminha em direção a Oeste (DANTAS NETO, 2018; LIMA, GONÇALVES, 2018). É necessário, entretanto, pontuar que em muitos casos não são encontradas nos telhados, condições ideais para que seja respeitada essa orientação (OLIVEIRA et al., 2020). Quando refere-se sobre orientação, pode-se encontrar o termo azimuth. O azimuth é o ângulo formado entre a placa e a direção norte. Portanto, um azimuth de 0° , 90° , 180° e 270° refere-se às direções Norte, Leste, Sul e Oeste, respectivamente (NÓBREGA, et al., 2018).

Além da orientação dos módulos fotovoltaicos, é importante instalá-los sob melhor ângulo de inclinação possível para maior interceptação dos raios solares. Entende-se por ângulo de inclinação o ângulo formado entre o plano horizontal e o sistema fotovoltaico (SEDRAOUI et al., 2017), dessa forma, considerando um ângulo a 0° , consideramos um módulo solar na posição horizontal e um módulo solar com ângulo a 90° na posição vertical (NÓBREGA et al., 2018).

Em outro trabalho, realizado por Gasparin e Krenzinger (2017), onde foram analisadas 10 cidades brasileiras (Santa Maria, Curitiba, São Paulo, Rio de Janeiro, Campo Grande, Belo Horizonte, Brasília, Bom Jesus da Lapa, Fortaleza e Manaus), foi constatada as diferentes orientações e inclinações angulares em função da

localidade. Para a cidade de Santa Maria, a melhor orientação encontrada foi azimute 0° e inclinação angular de 25° . Na cidade de Curitiba, a orientação mais eficiente foi a de azimute 350° e inclinação angular também de 25° . Na cidade de Campo Grande, foi observada orientação ideal de 10° e inclinação angular também de 25° . Já em Bom Jesus da Lapa, a orientação ideal seria de azimute 20° e o ângulo de inclinação ideal de 20° .

Levando-se em consideração que cada localidade possui características específicas as quais afetam a geração de energia, torna-se importante estudos que comparem diferentes orientações e ângulos de inclinação para cada lugar, como forma de se compreender melhor o rendimento de mesmos sistemas em posições diferentes do país (KALOGIROU, 2016), com objetivo final de se reduzir as perdas de geração de energia fotovoltaica e propiciar melhor tomada de decisões a respeito da instalação dos módulos em determinado local (NÓBREGA et al, 2018). Porém, na literatura encontra-se a recomendação para instalar os módulos no mesmo ângulo da latitude do local da instalação, como uma forma de simplificar a escolha da inclinação e extrair maior quantidade de radiação solar para geração de energia. Um dos objetivos desse trabalho é verificar essa hipótese para a cidade sul-mato-grossense Três Lagoas.

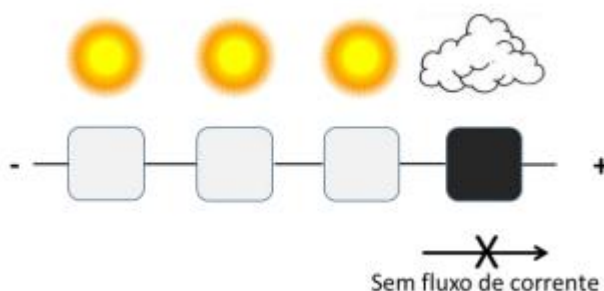
3.1.4 Sombreamento

Um outro fator dentre os que mais influenciam na geração de energia solar é o sombreamento da superfície dos módulos. Esse sombreamento pode acontecer devido a presença nos arredores de agentes de sombreamento, como por exemplo árvores, prédios, postes, torres e cabos elétricos da rede de distribuição (RODRIGUES, et al., 2018). A esses tipos de sombreamento, chama-se de sombreamento previsível (SANTOS; MIGLIANO, 2020).

Ademais os agentes já mencionados, alguns fatores como sujeira sobre os módulos, a qual se acumula com o tempo devido à poeira, dejeto de pássaros; e o sombreamento gerado pela passagem de nuvens (RODRIGUES, et al., 2018). A esse outro tipo de sombreamento, denomina-se sombreamento imprevisível (SANTOS; MIGLIANO, 2020).

O sombreamento pode afetar a geração não só das células dispostas sob a sombra, mas as demais também, já que são todas conectadas em série e necessitam de tensão e corrente aproximadamente iguais entre elas para que não haja problemas na geração de energia (RODRIGUES, et al., 2018). Isso ocorre por conta de um efeito chamado de “*mismatch loss*”, no qual ocorre a diminuição da potência total do sistema em comparação com as potências individuais de todos os módulos que estão associados ocasionada por diferenças elétricas que ocorrem entre os módulos ou sombreamentos (RAMPINELLI; KRENZINGER, 2006). Isso acontece, pois em sistemas ligados em série, caso uma célula deixe de receber radiação solar, ela deixa também não só de gerar energia, mas também de conduzir a corrente elétrica ao restante do circuito (CRESESB, 2008), como é esquematizado na Figura 6.

Figura 6 - Ligação em Série de Módulos Fotovoltaicos em uma Situação de Sombreamento



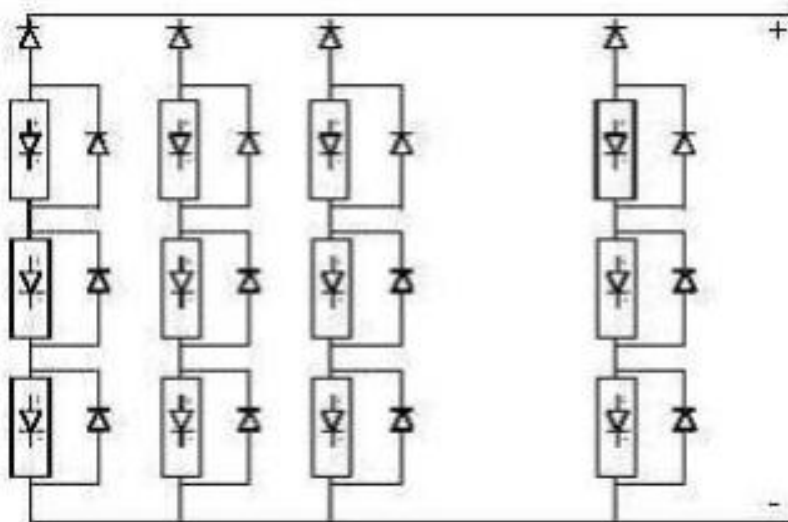
Fonte: Villalva & Gazoli (2012) adaptado por Coutinho et al. (2016).

Estima-se que haja uma perda que varia de 1,5% até 6,2% da geração de energia por conta do sombreamento (MOHAMMAD et al., 2016). Em trabalho realizado por Santos e Migliano (2020), foi constatada perda da eficiência de pico em 8,9% em placas com 75% de sua área sombreada.

Importante pontuar que o problema gerado pelo sombreamento não diz respeito apenas à redução da eficiência de geração de energia, mas também pode ser um problema, devido ao fato de que, como o sombreamento afeta a distribuição de potência para o gerador, essa potência não transmitida acaba sendo dissipada no próprio local, gerando pontos de calor que podem danificar os módulos (PINHO e

GALDINO, 2014). A esse efeito, atribui-se o nome de “*hot-spot heating*”. Como forma de evitar problemas maiores ocasionados por conta dos pontos de calor, associa-se em antiparalelo com as células um diodo, conhecido como “by-pass” (Figura 7). Quando a célula se encontra sombreada, ele permite que a corrente passe através dele, não havendo dissipação nas áreas sombreadas da célula, a qual não gera energia, mas em contrapartida, não esquenta e não se comporta como “carga” para o sistema (RAMPINELLI; KRENZINGER, 2006).

Figura 7 - Diodos de “by-pass” e de Bloqueio em uma Associação de Módulos Fotovoltaicos



Fonte: Rampinelli; Krenzinger (2006).

Em estudo realizado por Rampinelli e Krenzinger (2006), no qual analisou-se a perda de energia ocasionada por células em condições de sombreamento observou-se perdas de energia que variavam de 35% até 70%, o que é uma perda consideravelmente alta. Já outro estudo, realizado por Chepp e Krenzinger (2018), constatou que quanto maior a porção sombreada da placa, maior o impacto na potência máxima. No mesmo trabalho, foram testados inversores “*string*” e microinversores para as mesmas condições de sombreamento. No trabalho em questão, os microinversores apresentaram melhores resultados, apresentando maiores potências de saída. Em outro trabalho, realizado por Coutinho *et. al.*, (2016),

foi constatado que o sombreamento de uma única célula pode afetar metade do módulo. Caso esse sombreamento se estenda por duas células, todo o módulo fica comprometido. Este resultado contava com um sistema utilizando diodo “by-pass”. No caso da ausência desse diodo, apenas uma célula seria capaz de afetar todo o módulo.

A importância dos estudos a respeito dos efeitos do sombreamento sobre as células reside no fato de que além de impactar no desempenho de geração dos sistemas fotovoltaicos, áreas sombreadas em painéis são focos de acidentes, pois quando a sombra atinge o sistema em períodos de grande irradiação, ocorre o sobreaquecimento dos módulos fotovoltaicos nessa condição.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo serão apresentados os dados utilizados nas análises dos sistemas fotovoltaicos do estudo de caso.

4.1 SITUAÇÃO GEOGRÁFICA

A cidade de Três Lagoas (MS) foi fundada em 1915, na época ainda classificada como Vila de Três Lagoas (TRÊS LAGOAS, 2022). Contava em 2010, no último censo realizado com 101.791 pessoas (IBGE, 2010) e conta atualmente com uma população estimada de 125.137 pessoas (IBGE, 2020), e densidade demográfica de 9,97 hab./Km² (IBGE, 2010). Três Lagoas pertence à mesorregião Leste do Mato Grosso do Sul e é centro da microrregião de Três Lagoas, como visto na Figura 8. O município conta com uma área de 10.217,071 km² (IBGE, 2020).

Figura 8 - Mapa do Estado do Mato Grosso do Sul e o Posicionamento da cidade de Três Lagoas.



Fonte: ACHE TUDO REGIÃO (2020).

O município está localizado mediante paralelo $20^{\circ}47'16''$ na latitude sul e meridiano $51^{\circ}41'57''$ na longitude oeste (EARTH, 2022).

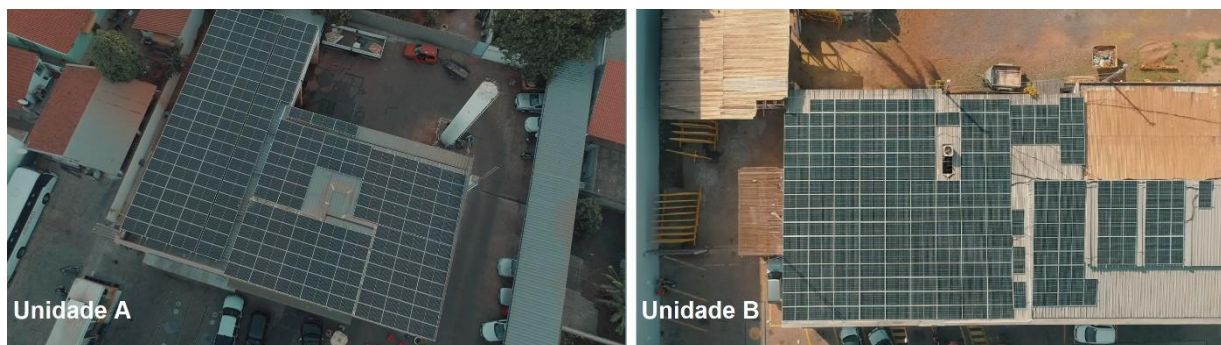
O objetivo desse estudo de caso é analisar qual interferência possuem alguns agentes, como orientação dos módulos fotovoltaicos, na geração de energia solar, assim como mensurar qual variação de energia ocorre devido às diferenças nos ângulos de inclinação dos módulos solares. Para este estudo de caso serão comparadas duas instalações de mesma dimensão, posicionadas em locais e orientações diferentes do município de Três Lagoas (MS).

A cidade cuja localização em graus decimais é -20.787778 , -51.699167 , segundo o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito CRESESB, tem irradiação solar média de $5,14 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$, sendo esse um parâmetro de suma importância no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

O estudo de caso proposto utilizará dados de geração de duas unidades geradoras em Três Lagoas-MS, ambas com sistemas fotovoltaicos idênticos, ou seja, mesmo modelo e quantidade de painéis, mesmo modelo de inversor, autotransformador, comprimentos dos cabeamentos semelhantes, mesmos dispositivos de segurança e níveis de sujeira, uma vez que foram instalados paralelamente.

As duas unidades analisadas são postos de gasolina, os quais terão seus nomes e endereços preservados, sendo identificados como Unidade A e Unidade B (Figura 9).

Figura 9 - Unidade Geradoras A e B Utilizadas no Estudo de Caso.



Fonte: Elaboração do Próprio Autor

4.2 EQUACIONAMENTO DE ÍNDICES DE MÉRITO

Um dos parâmetros mais importantes no dimensionamento de um sistema fotovoltaico é o valor da potência de pico dos painéis ou módulos fotovoltaicos. Os painéis mais utilizados atualmente são modelos monocristalinos com potência de pico entre 400 Wp e 600 Wp. Essa grandeza influencia diretamente na produção de energia em kWh que cada painel pode entregar. A potência de pico informa qual é a máxima potência instantânea que um módulo fotovoltaico pode fornecer em condições ideais de inclinação, orientação e irradiação solar. Portanto, a interpretação desse parâmetro também deve englobar as faixas de tensão e corrente para as quais o módulo entrega máxima potência. Por exemplo, o modelo da Risen Solar RSM-156-6-445M, quando está gerando energia elétrica com tensão de 43,90 V e corrente de 10,15 A, está fornecendo nesse instante, cerca de 445 Wp, que é justamente o seu valor de pico informado pelo fabricante.

Outro parâmetro essencial no correto dimensionamento de um sistema fotovoltaico é a irradiação solar diária da região da instalação. Esse valor, medido em kWh/m².dia, varia de acordo com as características geográficas e meteorológicas do local ao qual o sistema solar será integrado. Há institutos de pesquisa capazes de estimar as diárias de irradiação, dentre eles, o CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito). Como visto no capítulo 2.5.1, a região com maiores valores de irradiação solar no Brasil, é o Nordeste.

Para analisar o desempenho de sistemas fotovoltaicos no município de Três Lagoas, serão utilizados inicialmente os índices Produtividade (Y_f) e Taxa de Desempenho (P_r). Produtividade em um sistema fotovoltaico, também encontrada na literatura como *Yield*, ou *Final Yield* representa a relação entre produção de Energia em determinado intervalo de tempo, geralmente mensal ou anual, e a Potência de Pico instalada do sistema fotovoltaico. Como a Produtividade é normalizada pelo valor de Potência de Pico do sistema, se torna uma ferramenta útil para comparar instalações fotovoltaicas e determinar qual delas é mais produtiva em relação à sua potência total (LIMA, GARCIA, ROSA, 2018). Dessa forma, tem-se o equacionamento:

$$Y_f = \frac{E}{P_p} \text{ (kWh/kWp)}$$

Sendo,

Y_f : Produtividade (kWh/kWp);

E : Energia Gerada (kWh);

P_p : Potência de Pico do Sistema (Wp).

Por sua vez, a Taxa de Desempenho, encontrada na literatura como *Performance Ratio* também é um índice de mérito importantíssimo tanto na etapa de dimensionamento e projeto do sistema fotovoltaico, como na análise da eficiência geral do sistema. Esse índice pode ser resumido como a razão entre a Energia Gerada em um intervalo de tempo, geralmente mensal ou anual, sobre a Energia Teórica Máxima esperada para o mesmo intervalo de tempo (CANAL SOLAR, 2023). Ou seja:

$$P_r = \frac{E}{E_T} \cdot 100 (\%)$$

Sendo,

E : Energia Gerada (kWh);

P_r : Taxa de Desempenho (%);

E_T : Energia Teórica Máxima (kWh).

O cálculo da Energia Teórica Máxima do sistema passa por determinar a Energia Solar Coletada pelos módulos e pelos dados de Eficiência desses painéis fotovoltaicos. Ou seja, é uma estimativa sobre o valor máximo de conversão de energia solar em energia elétrica. Dessa forma, tem-se (LIMA, GARCIA, ROSA, 2018):

$$E_T = E_C \cdot ef \text{ (kWh)}$$

Sendo,

E_T : Energia Teórica Máxima (kWh);

E_C : Energia Solar Coletada (kWh);

ef : Eficiência dos Painéis Fotovoltaicos (%).

A Energia Solar Coletada é determinada pelo produto entre a Irradiação Solar no local da instalação durante certo período e a Área Útil dos Módulos Fotovoltaicos da usina solar, ou seja (LIMA, GARCIA, ROSA, 2018):

$$E_C = G_S \cdot A \text{ (kWh)}$$

Sendo,

E_C : Energia Solar Coletada (kWh);

G_S : Irradiação Solar, medida por exemplo em kWh/m².dia, kWh/m².mês ou kWh/m².ano;

A : Área Útil dos Módulos Fotovoltaicos (m²).

A energia gerada por um sistema fotovoltaico pode ser determinada na fase de projetos, uma vez que se conhece um valor típico de Taxa de Desempenho do sistema como um todo, pois ele resume em si perdas térmicas e elétricas do sistema, englobando cabeamentos, dispositivos de proteção, transformadores, inversores e painéis fotovoltaicos.

Além de perdas térmicas e elétricas, outros fatores podem fazer com que o valor de P_r se afaste de 100%, como por exemplo sombreamentos provocados por objetos fixos do local de instalação, como antenas, postes ou árvores. Orientações ou inclinações desfavoráveis à captação da irradiação solar também contribuem para abaixar a Taxa de Desempenho do sistema.

Em resumo, a energia diária gerada por uma usina fotovoltaica pode ser calculada por (LIMA, GARCIA, ROSA, 2018):

$$E = \frac{P_p \cdot G \cdot P_r}{P_{ref}} \text{ (kWh/dia)}$$

Sendo:

E : Energia Média Gerada Diariamente (kWh/dia);

P_p : Potência de Pico do módulo ou dos módulos fotovoltaicos (Wp);

G : Irradiação Média Diária no local do arranjo solar (kWh/m².dia);

P_r : Taxa de Desempenho (%);

P_{ref} (kWh/m²): Irradiância de Referência STC, considerando 1kWh/m².

Pode-se também calcular a média mensal de geração, multiplicando o valor encontrado pela Equação 1 pela quantidade média de dias no mês em anos comuns, como visto a seguir (LIMA, GARCIA, ROSA, 2018):

$$E = \frac{P_p \cdot G \cdot d \cdot P_r}{P_{ref}} \text{ (kWh/mês)}$$

Sendo:

E : Energia Média Gerada Mensalmente (kWh/mês);

P_p : Potência de Pico do módulo ou dos módulos fotovoltaicos (Wp);

G : Irradiação Média Diária no local do arranjo solar (kWh/m².dia);

P_r : Taxa de Desempenho (%);

d : Quantidade Média de Dias no Mês, 30,42 dias.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão dispostas as análises de desempenho das unidades utilizando os dados de geração dos sistemas e simulações de desempenho segundo os dados meteorológicos de Três Lagoas-MS.

4.3.1 Dados de Geração e Distribuição dos Módulos Fotovoltaicos nas Unidades

Os dois sistemas fotovoltaicos de interesse desse trabalho possuem o mesmo equipamento empregado, ou seja, ambos possuem 190 módulos monocristalinos de 405 Wp, Trina Solar TSM-DE15(II) – 405, totalizando 76,95 kWp de potência instalada e inversor fotovoltaico WEG SIW500H ST060 de 60 kW. Para as duas unidades geradoras, o intervalo de geração de 12 meses foi levado em conta, como disposto a seguir. Os dados de geração foram levantados através dos dataloggers da Solar View instalados em ambas as unidades.

Tabela 1. Dados de Geração Para as Unidade Geradoras Estudadas.

	Unidade A	Unidade B
	Geração mensal (kWh)	Geração mensal (kWh)
Ago/21	7282,5	7365,5
Set/21	8236,3	8711,9
Out/21	10005,4	9637,5
Nov/21	11884,6	11439,2
Dez/21	12373,9	11829,1
Jan/22	11631,3	11206,3
Fev/22	10535,1	10169,1
Mar/22	10060,3	9669,2
01/Abr	9065,4	8644,3
Mai/22	8008	7735,2
Jun/22	6564	6331,2
Jul/22	6854,2	6699,7
Geração Total Anual (kWh/ano)	112501	109438,2
Geração Média Mensal (kWh/mês)	9535,4	9174,7

Fonte: Elaboração do Próprio Autor

A Unidade A possui 92 módulos com orientação SE 117° (sudeste, desvio azimutal 117°) e inclinação de 1°, 98 módulos com orientação N 1° (norte, desvio azimutal de 1°) e inclinação de 1° em relação ao plano horizontal, dessa forma totalizando os 190 módulos do sistema (Figuras 10 e 11).

Figura 10 - Módulos do Sistema Fotovoltaico da Unidade A.



Fonte: Elaboração do Próprio Autor

Figura 11 - Inversor do Sistema Fotovoltaico da Unidade A.



Fonte: Elaboração do Próprio Autor

A Unidade B possui 19 módulos em uma string com orientação SE 157° e inclinação de 2° , 19 módulos em uma string com orientação SE 140° e inclinação de 5° em relação ao plano horizontal, 152 módulos com orientação O 266° (oeste, com desvio azimutal de 266°) e inclinação de 5° , dessa forma totalizando os 190 módulos do sistema (Figuras 12 e 13).

Figura 12 - Módulos do Sistema Fotovoltaico da Unidade B.



Fonte: Elaboração do Próprio Autor

Figura 13 - Inversor do Sistema Fotovoltaico da Unidade B.



Fonte: Elaboração do Próprio Autor

Utilizando o software livre SAM (System Advisor Model) que é capaz de buscar dados meteorológicos do NSRDB (National Solar Radiation Database), um sistema fotovoltaico genérico foi estabelecido, contendo 7 módulos monocristalinos Trina Solar de 510 Wp (TSM-510DE18M-II) e o inversor Huawei SUN2000-5KTL, de potência

nominal 5000 W, com o intuito de simular o desempenho de geração anual em diversas orientações diferentes, variando também a inclinação dos sistemas. Em outras palavras, simulando diversos sistemas fotovoltaicos com módulos fixos, com inclinações e orientações diferentes entre si.

Uma vez que o SAM compilou as simulações, foi possível exportar os dados para o software do Pacote Office, Microsoft Excel, com ferramentas para destacar as gerações dos sistemas em esquemas de cores, facilitando a visualização dos dados. Ainda no Excel, os valores de geração foram normalizados, isto é, todos os dados foram divididos pelo maior valor encontrado, para que se evidenciasse as porcentagens de desempenho ao invés de valores absolutos em kWh/ano. Dessa forma, uma vez que os dados meteorológicos de Três Lagoas-MS foram aplicados na simulação, essas porcentagens de desempenho, podem ser empregadas na análise de qualquer sistema fotovoltaico localizado no mesmo município, não apenas o modelo genérico utilizado.

Primeiramente a simulação foi realizada utilizando incrementos de 10° para o desvio azimutal e 5° para a inclinação dos painéis. Incrementos menores exigem mais processos de simulação internos do SAM, assim como aumenta de forma considerável o número de linhas e colunas da tabela final. Dessa forma, esse processo pode acabar exigindo muito do computador utilizado no trabalho.

As versões completas das simulações geradas, sem as quebras das colunas, estão disponíveis nos Apêndices A e B deste trabalho. São apresentadas variações da inclinação dos painéis de 0° a 90° , sendo que o desvio azimutal 0° representa o norte, desvios azimutais em que 270° representa o oeste e desvio azimutal 180° representa o sul, como disposto na Figura 14. Para a mesma configuração de inclinação dos painéis, são também apresentados valores para desvios azimutais em que 90° representa o leste e desvio azimutal 180° representa o sul, tal como na Figura 15. A inclinação $20,79^\circ$ é a latitude de Três Lagoas-MS.

Figura 14 - Simulações de Desempenho para Diversas Inclinações e Orientações de Painéis Fotovoltaicos em Três Lagoas-MS – Parte 1.

		DESVIO AZIMUTAL																		
		180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°	0°
INCLINAÇÃO	0°	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%
	5°	89%	89%	88%	88%	88%	88%	88%	89%	89%	89%	89%	90%	90%	91%	91%	92%	92%	93%	93%
	10°	86%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	86%	87%	87%	88%	89%	90%	91%	92%	93%	94%	95%
	15°	82%	81%	81%	80%	80%	81%	81%	82%	83%	84%	85%	86%	87%	89%	90%	92%	93%	94%	96%
	20°	77%	76%	75%	75%	76%	76%	77%	78%	79%	80%	82%	83%	85%	87%	89%	91%	93%	95%	96%
	20,79°	76%	75%	74%	74%	75%	76%	76%	77%	79%	80%	81%	83%	85%	87%	89%	91%	93%	95%	96%
	25°	71%	69%	69%	69%	70%	72%	73%	74%	76%	77%	79%	80%	83%	85%	88%	90%	92%	94%	96%
	30°	63%	62%	62%	63%	65%	67%	68%	70%	72%	73%	76%	78%	80%	83%	86%	89%	91%	94%	96%
	35°	56%	54%	55%	57%	59%	62%	64%	66%	68%	70%	72%	75%	77%	80%	84%	87%	90%	93%	96%
	40°	49%	47%	47%	50%	54%	57%	60%	62%	65%	67%	69%	71%	74%	78%	81%	85%	89%	93%	96%
	45°	43%	41%	41%	44%	48%	52%	56%	59%	61%	63%	66%	68%	71%	75%	79%	83%	87%	91%	95%
	50°	39%	37%	36%	38%	43%	48%	52%	55%	58%	60%	63%	66%	68%	72%	76%	81%	85%	90%	93%
	55°	34%	32%	32%	33%	38%	44%	48%	52%	55%	57%	60%	63%	66%	69%	74%	78%	83%	88%	91%
	60°	30%	28%	27%	29%	34%	40%	45%	49%	52%	55%	57%	60%	63%	66%	71%	75%	80%	85%	89%
	65°	25%	23%	23%	25%	30%	36%	42%	46%	49%	52%	54%	57%	60%	63%	68%	72%	77%	81%	86%
	70°	20%	19%	19%	22%	27%	33%	39%	43%	46%	49%	52%	54%	57%	60%	64%	68%	73%	77%	81%
	75°	16%	15%	16%	19%	24%	30%	36%	40%	43%	46%	49%	51%	54%	57%	61%	64%	68%	72%	76%
	80°	11%	11%	13%	16%	21%	27%	33%	37%	41%	44%	46%	49%	51%	54%	57%	60%	63%	67%	71%
	85°	8%	8%	11%	14%	18%	24%	30%	35%	38%	41%	44%	46%	48%	50%	52%	55%	58%	62%	66%
	90°	6%	6%	9%	12%	16%	22%	27%	32%	36%	39%	41%	43%	45%	47%	48%	49%	52%	56%	60%

Fonte: Elaboração do Próprio Autor.

Figura 15 - Simulações de Desempenho para Diversas Inclinações e Orientações de Painéis Fotovoltaicos em Três Lagoas-MS – Parte 2.

		DESVIO AZIMUTAL																		
		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
INCLINAÇÃO	0°	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%
	5°	93%	94%	94%	94%	94%	94%	94%	94%	94%	93%	93%	92%	92%	91%	91%	90%	90%	89%	89%
	10°	95%	95%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	95%	95%	94%	93%	92%	91%	90%	89%	88%	87%	86%
	15°	96%	97%	97%	98%	98%	98%	98%	97%	97%	96%	95%	94%	93%	91%	90%	86%	86%	85%	83%
	20°	96%	97%	98%	99%	99%	99%	99%	98%	98%	97%	96%	94%	92%	90%	88%	86%	83%	81%	79%
	20,79°	96%	98%	98%	99%	99%	99%	99%	98%	98%	97%	95%	94%	92%	90%	88%	85%	83%	80%	78%
	25°	96%	98%	99%	100%	100%	99%	99%	98%	97%	95%	93%	91%	89%	86%	83%	79%	76%	73%	71%
	30°	96%	98%	99%	100%	100%	99%	99%	98%	96%	94%	92%	90%	87%	83%	79%	75%	70%	66%	63%
	35°	96%	98%	99%	100%	100%	99%	98%	97%	95%	93%	91%	88%	85%	80%	75%	70%	64%	59%	56%
	40°	96%	98%	99%	100%	99%	99%	97%	96%	94%	92%	89%	86%	82%	77%	71%	64%	58%	52%	49%
	45°	95%	97%	99%	99%	98%	98%	96%	95%	93%	90%	88%	84%	79%	73%	66%	59%	51%	46%	43%
	50°	93%	96%	98%	98%	97%	96%	95%	93%	91%	89%	85%	81%	76%	70%	62%	53%	46%	41%	39%
	55°	91%	94%	96%	96%	96%	95%	94%	92%	90%	87%	83%	79%	73%	66%	57%	48%	41%	37%	34%
	60°	89%	92%	94%	94%	94%	93%	92%	90%	88%	84%	81%	76%	69%	62%	53%	43%	37%	33%	30%
	65°	86%	89%	91%	92%	92%	91%	90%	88%	85%	82%	78%	72%	66%	57%	48%	39%	32%	28%	25%
	70°	81%	85%	87%	89%	89%	88%	87%	85%	82%	79%	75%	69%	62%	53%	44%	35%	28%	23%	20%
	75°	76%	80%	83%	85%	86%	85%	84%	82%	80%	76%	71%	66%	58%	49%	40%	31%	24%	19%	16%
80°	71%	74%	77%	80%	81%	82%	81%	79%	76%	72%	68%	62%	54%	45%	36%	27%	20%	15%	11%	
85°	66%	69%	71%	74%	77%	77%	77%	75%	73%	69%	64%	57%	50%	41%	32%	23%	17%	11%	8%	
90°	60%	63%	65%	68%	71%	72%	72%	71%	68%	65%	60%	53%	46%	37%	28%	20%	14%	9%	6%	

Fonte: Elaboração do Próprio Autor.

O estudo proposto analisa duas unidades instaladas em telhados metálicos. Tais estruturas tendem a possuir águas com inclinações inferiores a 5°, portanto os modelos dispostos anteriormente se tornariam vagos para tais aplicações. Dessa maneira, outra simulação foi realizada, dessa vez utilizando incrementos de 1° para inclinação.

É apresentada variação da inclinação dos painéis de 0° a 90°, sendo que o desvio azimutal 0° representa o norte, desvio azimutal 270° representa o oeste e desvio azimutal 180° representa o sul (Figura 16). Também são apresentadas

variações da inclinação dos painéis de 0° a 90°, sendo que o desvio azimutal 0° representa o norte, desvio azimutal 90° representa o leste e desvio azimutal 180° representa o sul (Figura 17).

Figura 16 - Simulações de Desempenho para Inclinações até 5° de Painéis Fotovoltaicos em Três Lagoas-MS – Parte 3.

INCLINAÇÃO	DESVIO AZIMUTAL																	
	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°
0°	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%
1°	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	92%
2°	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	91%	91%	91%	91%	91%	92%	92%	92%
3°	90%	90%	90%	90%	89%	89%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	91%	91%	91%	92%	92%	92%
4°	90%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	90%	90%	90%	91%	91%	91%	92%	92%	93%
5°	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	90%	90%	91%	91%	92%	92%	93%

Fonte: Elaboração do Próprio Autor.

Figura 17 - Simulações de Desempenho para Inclinações até 5° de Painéis Fotovoltaicos em Três Lagoas-MS – Parte 4.

		DESVIO AZIMUTAL																		
		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
INCLINAÇÃO	0°	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%
	1°	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%
	2°	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	91%	91%	91%	91%	91%	90%
	3°	92%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	92%	92%	92%	91%	91%	91%	90%	90%	90%
	4°	93%	93%	93%	94%	94%	94%	94%	93%	93%	93%	93%	92%	92%	91%	91%	91%	90%	90%	90%
	5°	93%	94%	94%	94%	94%	94%	94%	94%	94%	93%	93%	92%	92%	91%	91%	90%	90%	89%	89%

Fonte: Elaboração do Próprio Autor.

Através das Partes 1 e 2 das simulações, é possível observar que com inclinações de 20° a 45°, e com desvios azimutais de 20° a 50° (ou seja, entre norte e leste) pode-se extrair valores de geração com no máximo 1% de perda em relação ao valor de maior desempenho. Além disso, com as Partes 3 e 4, mais apropriadas para a análise de telhados com baixa inclinação, pode-se notar que os melhores desempenhos, entre 93% e 94% em relação à posição ideal fixa, estão entre 3° a 5° de inclinação e com desvios azimutais entre 350° e 100°.

Pode-se extrair também das simulações que painéis em posição horizontal, para qualquer desvio azimutal, possuem o mesmo desempenho, cerca de 91%, o que já era esperado, uma vez que nesse caso não importa a inclinação, pois os painéis irão receber o mesmo nível de irradiação direta, independente dessa variável.

4.3.2 Discussão dos Dados Obtidos

Através dos dados de geração anual dos sistemas e da potência de pico instalada, é possível determinar a Produtividade de cada unidade. A Unidade A, com geração anual de 112501 kWh e a Unidade B, com geração anual de 109438,20 kWh, possuem respectivamente as Produtividades 1462,00 kWh/kWp e 1422,20 kWh/kWp. Como ambas possuem a mesma potência instalada, é possível determinar que a Unidade A tem maior Produtividade apenas observando os valores de geração.

Com relação à Taxa de Desempenho das unidades, pode-se determinar o valor experimental de tais sistemas, uma vez que seus desempenhos foram apenas estimados na fase de projetos e dimensionamentos. Os painéis fotovoltaicos TSM-DE15(II) – 405, segundo os dados técnicos fornecidos pelo fabricante, possuem eficiência de 20,2% e dimensões 2015 × 996 × 35 mm, portanto, possuem uma média mensal de Energia Teórica Máxima de 63,39 kWh. Dessa forma, as unidades possuem individualmente, média mensal de Energia Teórica Máxima, cerca de 12043,75 kWh, considerando 190 painéis fotovoltaicos.

Utilizando também os dados de geração média mensal para as duas unidades de interesse, determinou-se que a Unidade A possui Taxa de Desempenho de 79,17%, enquanto a Unidade B possui Taxa de Desempenho igual a 76,18%. Essa diferença de cerca de 3% nos desempenhos dos sistemas, na prática significa uma vantagem em termos de geração anual de 3062,80 kWh para a Unidade A.

As simulações presentes nesse trabalho levam em conta apenas os dados meteorológicos da cidade de Três Lagoas-MS, logo, fatores como sombreamento e perdas por queda de tensão não são simulados. Além disso, as porcentagens de desempenho presentes nas simulações são normalizados acerca de um valor máximo, por isso variam de 6% na pior condição a 100% na melhor condição de orientação e inclinação para um sistema fotovoltaico com painéis fixos.

Nesse contexto é possível estimar a diferença de desempenho através das simulações, uma vez que as orientações e inclinações de todos os módulos são conhecidas para os dois sistemas.

Dessa forma, em relação ao valor máximo de geração em porcentagem para um sistema fixo na cidade de Três Lagoas-MS, olhando para Unidade A, as simulações mostraram que módulos SE 117° com inclinação de 1° possuem geração

estimada em 91%. Módulos com orientação N 1º, com inclinação de 1º possuem geração estimada em 92%. Logo, a Unidade A tem desempenho de geração estimado em 91,52%, em proporção à quantidade de módulos em cada orientação.

$$\text{Desempenho de Geração (\%)} = \frac{92 \text{ módulos} \cdot 91\% + 98 \text{ módulos} \cdot 92\%}{190 \text{ módulos}} = 91,52\%$$

Dessa forma em relação ao valor máximo de geração em porcentagem para um sistema fixo na cidade de Três Lagoas-MS, olhando para Unidade B, as simulações mostraram que módulos SE 157º com inclinação de 2º possuem geração estimada em 91%. Módulos com orientação SE 140º, com inclinação de 5º possuem geração estimada em 91%. Módulos com orientação O 266º com inclinação de 5º possuem geração estimada em 89%. Logo, a Unidade B tem desempenho de geração estimado em 89,4%, em proporção à quantidade de módulos em cada orientação.

$$\text{Desempenho de Geração (\%)} = \frac{19 \text{ módulos} \cdot 91\% + 19 \text{ módulos} \cdot 91\% + 152 \text{ módulos} \cdot 89\%}{190 \text{ módulos}} = 89,4\%$$

É notável que as simulações também apontam para um melhor desempenho da Unidade A, dessa vez com uma diferença percentual de 2,12% entre as unidades. A divergência percentual entre a análise de Taxa de Desempenho e a análise das simulações pode ser atribuídas à fatores não levados em consideração nas simulações como distribuição de MPPTs (rastreador de ponto de máxima potência das strings) e sombreamentos pontuais em certos períodos provocados por exemplo por árvores e postes nos entornos das unidades. Além disso, a Unidade B possui um exaustor na água voltada à oeste que provoca sombreamento em uma string no período da tarde.

5 CONCLUSÃO

Mesmo com as recentes alterações provocadas pela Lei 14.300 no início de 2023, a geração distribuída fotovoltaica se mostra muito viável no Brasil, além de apontar para direções mais sustentáveis de geração de energia no século XXI. No entanto, o dimensionamento assertivo desses sistemas passa pela análise de fatores típicos do local de sua instalação, como os níveis de irradiação solar do ambiente e os entornos e seus possíveis sombreamentos. Em instalações em solo, é possível inclusive determinar a orientação e inclinação ideais para a região de interesse, utilizando softwares de simulação e dados meteorológicos.

Para instalações em telhados, é de total importância, além dos pontos citados anteriormente, o diagnóstico de quais vertentes do telhado possuem maior potencial de geração, além da verificação sobre a necessidade de adaptar certas áreas do telhado, com o intuito de otimizar o sistema fotovoltaico. Além de tornar o projeto mais assertivo em suas estimativas, as análises citadas podem auxiliar inclusive equipes de manutenção, quando há a necessidade de avaliar possíveis falhas ou déficits de geração.

No caso das unidades estudadas nesse trabalho, com o mesmo equipamento para ambas, determinou-se grande diferença na geração anual das usinas, que reflete numa diferença também financeira em economia dos dois projetos, tornando os tempos de retorno financeiros bastante distintos entre si. Dessa maneira, a avaliação minuciosa das variáveis estudadas pode impactar o nível de satisfação geral do cliente, proprietário da usina fotovoltaica, além de ser um diferencial no estudo de viabilidade de projetos fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS

- ACHE TUDO REGIÃO. Geografia de Três Lagoas. 2020. **Site**. Disponível em: https://www.achetudoeregiao.com.br/mt/ms/tres_lagoas/localizacao.htm. Acesso em: 25 jun. 2023.
- ACOUSTIC JOHN LENNON: Yoko Ono Lennon. [John Lennon]. Manaus: EMI Records, 2004. 1 CD (42 min.).
- ALVES, M. de O. L.; **Energia Solar: Estudo da Geração de Energia Elétrica Através dos Sistemas Fotovoltaicos On-Grid e Off-Grid**. 2019. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf. Acesso em: 11 jun. 2023.
- BELTRÃO, R. E. A. **Efeito da temperatura na geração de energia de módulos fotovoltaicos submetidos a condições climáticas distintas: Estudo de caso para as localidades de Recife e Araripina**. 2008. 171f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/9740>. Acesso em: 11 de maio de 2023.
- BOZO, A. C. M. R.; GABRIEL, C. P. C.; GABRIEL FILHO, L.R.A.. Análise de Custos dos Sistemas Fotovoltaicos On-Grid e Off-Grid no Brasil. **Revista Científica**, v. 8, n.12, p. 57-66, 2015.
- CANAL SOLAR. Performance Ratio (Pr) de Usinas Fotovoltaicas. **Site**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/performance-ratio-pr-de-usinas-fotovoltaicas/>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- CHEPP, E. D.; KRENZINGER, A.. Estudo Comparativo do Uso de Inversor stringe Micro inversores na Geração de Energia Elétrica de Uma instalação fotovoltaica com Sombreamento Parcial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: Associação Brasileira de Energia Solar – Abens, 2018. p. 1-8.
- CRESESB – CEPEL. Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica. **Site de Centro de Pesquisa**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301. Acesso em: 11 jun. 2023.
- CORSINI, I.. Brasil registra recorde de geração de energia solar em fevereiro. **Noticiário**. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/brasil-registra-recorde-de-geracao-de-energia-solar-em-fevereiro/>. Acesso em: 18 abr. 2022.
- COSTA, A. M. G.; LOPES, B. M.; UTURBEY, W.. Mapeamento do Potencial de Geração Solar Fotovoltaica no Brasil: Uma Abordagem Preliminar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais [...]** Gramado, 2018. p. 7.
- COUTINHO, C. R. *et al.*. Efeito do Sombreamento em Módulos Fotovoltaicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 6., 2016, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Energia Solar – Abens, 2016. p. 1-8.

DANTAS NETO, P. M.. **Aumento da eficiência na captação de raios solares na produção de energia elétrica em células fotovoltaicas, por meio de um seguidor solar**. 2018. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Ufersa), Caraúbas, 2018. Disponível em; <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/2908>. Acesso em: 11 de junho de 2023.

EARTH, Google. O Globo Terrestre mais Detalhado do Mundo. **Mapa**. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-20.78340034,-51.69953424,322.41751763a,17413.91410366d,35y,0h,0t,0r>. Acesso em: 28 ago. 2022.

ENERGIA solar: sistemas on-grid e off-grid. **Site**. Disponível em: <https://revistapotencia.com.br/eletricista-consciente/instalacao-fotovoltaica/energia-solar-sistemas-on-grid-e-off-grid/>. Acesso em: 11 jun. 2023.

GABRIEL FILHO, L. R. A. *et al.*. Mathematical analysis of maximum power generated by photovoltaic systems and fitting curves for standard test conditions. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 4, p. 650–662, 2012.

GASPARIN, F. P.; KRENZINGER, A.. Desempenho de um Sistema Fotovoltaico em Dez Cidades Brasileiras com Diferentes Orientações do Pannel. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 8, n. 1, p. 10-17, 2017. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/169>. Acesso em: 21 jul. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Tabelas de Estimativas de 2021: Estimativas da população residente**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>. Acesso em: 11 jun. 2023.

IBGE– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Censo Demográfico 2010**, Área territorial brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

KALOGIROU, S. A. **Engenharia de energia solar: processos e sistemas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

LIMA, E. J. de; GARCIA, G. dos R.; ROSA, L. M.. **Fundamentos da Energia Solar: Guia Completo para se Aprofundar no Mundo Fotovoltaico**. São Paulo: Neosolar, 2018. Disponível em: Acesso em: 11 jun. 2023.

LIMA, J. V. F.; GONÇALVES, P. H. S. A.. **A Influência do Ângulo de Inclinação na Incidência de Radiação Solar em Painéis Fotovoltaicos**. 2018. 172 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S.. Photovoltaic Solar Energy: a briefly review. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/664/508>. Acesso em: 19 abr. 2022.

MOHAMMAD, R. *et al.*. Power Loss Due to Soiling on Solar Panel: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p.1307–1316, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.044>. Acesso em: 12 jun. 2023.

MORAES, C.. Célula Fotovoltaica: tudo o que você precisa saber. **Blog**. Disponível em: <https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/>. Acesso em: 19 abr. 2022.

NARUTO, D. T.. **Vantagens e Desvantagens da Geração Distribuída e Estudo de Caso de um Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica**. 2017. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

NÓBREGA, B. S. da *et al.*. Desempenho de um sistema solar fotovoltaico com diferentes inclinações e orientações azimutais em cidades da Paraíba. **Revista Principia**, v. 43, p. 175-188, 2018.

PEREIRA, E. B., *et al.*. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: Inpe, 2017.

CANAL SOLAR. Performance Ratio (Pr) de Usinas Fotovoltaicas. **Site**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/performance-ratio-pr-de-usinas-fotovoltaicas/>. Acesso em: 11 jun. 2023.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB. 2014.

POSSER, L. S.; SANTOS, A.; GARCIA, S. B.. Monitoramento de um Sistema Fotovoltaico Residencial Conectado à Rede Elétrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 8., 2020, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Escola Politécnica, 2020. p. 1-10.

RAMPINELLI, G. A.; KRENZINGER, A.. Efeito do Sombreamento em Células de uma Associação de Módulos Fotovoltaicos Conectados à Rede. **Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 10, p. 9-16, 2006.

RODRIGUES, M. de J. dos S. *et al.* Resultados Experimentais de Sombreamento Parcial em Módulos Fotovoltaicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: Associação Brasileira de Energia Solar – Abens, 2018. p. 1-10.

RUVIARO, R. S. *et al.* Análise da Variação da Eficiência do Módulo Fotovoltaico em Função da Temperatura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: Associação Brasileira de Energia Solar – Abens, 2018. p. 1-8.

SANTOS, T. C. V.; CAVALCANTE, A. T. G.; SILVA, C. R. da. Perdas na produção de energia solar fotovoltaica devido aos efeitos elétricos e térmicos. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 6, p. 3448–3457, 2020. DOI: 10.34115/basrv4n6-013. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BASR/article/view/19839>. Acesso em: 12 jun. 2023.

SANTOS, R. B. dos; MARTINS, V. R.; BORGES, R. R. de S.. Sistema de energia solar a partir de células fotovoltaicas: Estacionamento solar do Centro Universitário Unievangélica. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 6, n. 4, pág. 20097–20106, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n4-255. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/8957>. Acesso em: 12 jun. 2023.

SANTOS, J. C. A.; MIGLIANO, A. C. da C.. Estudo do Sombreamento e Intempéries para Melhor Aproveitamento e Eficiência Energética dos Painéis Fotovoltaicos. **Diálogos Interdisciplinares**, Mogi das Cruzes, v. 9, n. 5, p. 50-59, 2020.

SEDRAOUI, K. *et al.*. Optimum orientation and tilt angle for estimating performance of photovoltaic modules in western region of Saudi Arabia. **Journal Of Renewable And Sustainable Energy**, v. 9, n. 2, p. s.i., 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.4979138>. Acesso em: 12 de jun. de 2023.

SILVA, M. S. da *et al.*. Energia Solar Fotovoltaica: revisão bibliografica. **Revista Mythos**, v. 14, n. 2, p. 51-61, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36674/mythos.v14i2.467>. Acesso em: 12 de jun. de 2023.

SOUZA, Amaury de; *et al.*. Efeitos da Temperatura Ambiente e da Velocidade do Vento no Desempenho de Módulos Solares Fotovoltaicos. **Interespaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 4, n. 15, p. 362, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.v4n15p362-375>. Acesso em: 12 de jun. 2023.

TRÊS LAGOAS (MS). Prefeitura. 2022. **Site**. Disponível em: <http://www.treslagoas.ms.gov.br/view/a-cidade/nossa-historia/1/>. Acesso em: ago. 2022.

OLIVEIRA, L. M.; *et al.*. Painéis Solares em Iporá-GO: qual o melhor sentido: leste ou oeste? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 8., 2020, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Associação Brasileira de Energia Solar – Abens, 2020. p. 1-5.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **População Mundial Atinge 8 Bilhões de Pessoas**. 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342>. Acesso em: 25 jun. 2023.

APÊNDICE A – SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO PARA DIVERSAS
INCLINAÇÕES E ORIENTAÇÕES DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM TRÊS
LAGOAS-MS

		DIREÇÃO AZIMUTHAL																	
		180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°
INCLINAÇÃO	0°	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%
	5°	89%	89%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	89%	89%	89%	90%	90%	91%	91%	92%	92%	93%
	10°	86%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	86%	87%	87%	88%	89%	90%	91%	92%	93%	94%
	15°	82%	81%	81%	80%	80%	81%	81%	82%	83%	84%	85%	86%	87%	89%	90%	92%	93%	94%
	20°	77%	76%	75%	75%	76%	76%	77%	78%	79%	80%	82%	83%	85%	87%	89%	91%	93%	95%
	20,78°	76%	75%	74%	74%	75%	76%	76%	77%	79%	80%	81%	83%	85%	87%	89%	91%	93%	96%
	25°	71%	69%	69%	69%	70%	72%	73%	74%	76%	77%	79%	80%	83%	85%	88%	90%	92%	94%
	30°	63%	62%	62%	63%	65%	67%	68%	70%	72%	73%	76%	78%	80%	83%	86%	89%	91%	96%
	35°	56%	54%	55%	57%	59%	62%	64%	66%	68%	70%	72%	75%	77%	80%	84%	87%	90%	93%
	40°	49%	47%	47%	50%	54%	57%	60%	62%	65%	67%	69%	71%	74%	78%	81%	85%	89%	93%
	45°	43%	41%	41%	44%	48%	52%	56%	59%	61%	63%	66%	68%	71%	75%	79%	83%	87%	91%
	50°	39%	37%	36%	38%	43%	48%	52%	55%	58%	60%	63%	66%	68%	72%	76%	81%	85%	90%
	55°	34%	32%	32%	33%	38%	44%	48%	52%	55%	57%	60%	63%	66%	69%	74%	78%	83%	88%
	60°	30%	28%	27%	29%	34%	40%	45%	49%	52%	55%	57%	60%	63%	66%	71%	75%	80%	85%
	65°	25%	23%	23%	25%	30%	36%	42%	46%	49%	52%	54%	57%	60%	63%	68%	72%	77%	81%
	70°	20%	19%	19%	22%	27%	33%	39%	43%	46%	49%	52%	54%	57%	60%	64%	68%	73%	77%
	75°	16%	15%	16%	19%	24%	30%	36%	40%	43%	46%	49%	51%	54%	57%	61%	64%	68%	72%
	80°	11%	11%	13%	16%	21%	27%	33%	37%	41%	44%	46%	49%	51%	54%	57%	60%	63%	67%
	85°	8%	8%	11%	14%	18%	24%	30%	35%	38%	41%	44%	46%	48%	50%	52%	55%	58%	62%
	90°	6%	6%	9%	12%	16%	22%	27%	32%	36%	39%	41%	43%	45%	47%	48%	49%	52%	56%

APÊNDICE B - SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO PARA INCLINAÇÕES ATÉ 5° DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM TRÊS LAGOAS-MS

INCLINAÇÃO	DESVIO AZIMUTAL																																					
	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	
0°	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	
1°	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%
2°	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%
3°	90%	90%	90%	89%	89%	89%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	91%	91%	91%	92%	92%	92%	92%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	92%	92%	91%	91%	91%	90%	90%	90%	90%
4°	90%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	90%	90%	90%	91%	91%	91%	92%	92%	93%	93%	93%	94%	94%	94%	94%	94%	94%	93%	93%	93%	92%	92%	91%	91%	91%	90%	90%	90%	90%
5°	89%	89%	88%	88%	88%	88%	88%	89%	89%	89%	89%	90%	90%	91%	91%	92%	92%	93%	93%	94%	94%	94%	94%	94%	94%	94%	94%	93%	93%	92%	92%	91%	91%	90%	90%	89%	89%	89%