

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

ENGENHARIA AMBIENTAL

**ANÁLISE DOS EFEITOS ATENUANTES
ATMOSFÉRICOS NA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS SOLAR
FOTOVOLTAICOS PARA A REGIÃO DO SUDOESTE
GOIANO**

ARILSON DARLISON LIMA LEAL

Rio Verde, GO

2021

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO – CAMPUS RIO VERDE**

ENGENHARIA AMBIENTAL

**ANÁLISE DOS EFEITOS ATENUANTES
ATMOSFÉRICOS NA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS SOLAR
FOTOVOLTAICOS PARA A REGIÃO DO SUDOESTE
GOIANO**

ARILSON DARLISON LIMA LEAL

Trabalho de Curso apresentado ao
Instituto Federal Goiano – Campus
Rio Verde, como requisito parcial
para a obtenção do Grau de Bacharel
em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. João Areis Ferreira Barbosa Júnior.

**Rio Verde – GO
Novembro, 2021**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

L435a Leal, Arilson Darlison Lima
ANÁLISE DOS EFEITOS ATENUANTES ATMOSFÉRICOS NA
EFICIÊNCIA DE SISTEMAS SOLAR FOTOVOLTAICOS PARA A
REGIÃO DO SUDOESTE GOIANO / Arilson Darlison Lima
Leal; orientador Dr. João Areis Ferreira Barbosa
Junior. -- Rio Verde, 2021.
58 p.

TCC (Graduação em Bacharelado em Engenharia
Ambiental) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio
Verde, 2021.

1. Radiação Solar. 2. nebulosidade. 3.
temperatura. 4. incidência . 5. INMET. I. Barbosa
Junior, Dr. João Areis Ferreira , orient. II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Arilson Darlison Lima Leal

Matrícula: 20161022004500

Título do Trabalho: ANÁLISE DOS EFEITOS ATENUANTES ATMOSFÉRICOS NA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS SOLAR FOTOVOLTAICOS PARA A REGIÃO DO SUDOESTE GOIANO.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: __/__/__

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 03/12/2021.



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 2/2021 - GEXT-RV/DEXT-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

No dia 29 de novembro de 2021, às 16 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: João Areis Ferreira Barbosa Júnior (orientador), Leandro Carlos (membro), Andriane de Melo Rodrigues (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “ANÁLISE DOS EFEITOS ATENUANTES ATMOSFÉRICOS NA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS SOLAR FOTOVOLTAICOS PARA A REGIÃO DO SUDOESTE GOIANO” do estudante Arilson Darlison Lima Leal, Matrícula nº 2016102200740500 do Curso de Engenharia Ambiental do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

João Areis Ferreira Barbosa Júnior (IF Goiano Campus Rio Verde)

Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Leandro Carlos (IF Goiano Campus Rio Verde)

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Andriane de Melo Rodrigues (IF Goiano Campus Rio Verde)

Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- Leandro Carlos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/11/2021 19:09:57.
- Andriane de Melo Rodrigues, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/11/2021 17:13:31.
- Joao Areis Ferreira Barbosa Junior, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/11/2021 16:44:53.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 30/11/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 335998

Código de Autenticação: a606337535



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho à toda minha família, especialmente à minha avó Joana pelo o amor a família, meus pais e irmãos por todo o suporte prestado e à Ir. Iracema por plantar em mim a semente do amor ao meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou grato à Deus por todas as possibilidades, bênçãos e provações que me apresentou ao longo de minha vida, é nas dificuldades que encontramos a glória, e somente por ele, encontramos a luz, a vida, a verdade e todo o caminho a ser percorrido.

Agradeço à minha família, à minha Mãe Eunice e Pai Genilson por todo o suporte ao longo do período da fase acadêmica, não foi fácil e todas as palavras duras ditas eu sei que no fundo havia algum propósito. Agradeço principalmente a minha irmã Ana Paula, que sempre foi meu exemplo de vida.

A minha namorada, Eduarda, por todo o incentivo e conselhos, principalmente na fase final do curso.

Sou grato ainda a minha madrinha Jacinta e padrinho Machado, Tia Ducila, Biá, Aelson, Irmã Socorro, Irmã Iracema, Raul, Junior, Marcelo, Victor, Tio Constantino, Tio José, aos meus avós Deusdete e Jesus e a todos os meus familiares, vocês contribuíram mesmo que de alguma forma com gestos e ensinamentos e contribuíram para minha formação.

Sou grato ao meu orientador João Areis, por me incentivar nas pesquisas científicas, me guiar nessa jornada de aprendizado. Ao IFgoiano, pelos eventos e estruturas além de uma completa e competente professores que atuam no desenvolvimento de profissionais.

Aos colegas de faculdade que enfrentaram essa jornada desafiadora comigo, em especial o José Rubens, a Bruna, Sunny, Alexander, o Danrley, Izadora, Pablio, Bethânia, Ieza, Carla, Luclécio, obrigado pela companhia nas madrugadas estudando para as provas. Aos integrantes do laboratório de energias renováveis que viraram meus amigos como o Jeferson Paulo, Leonardo, Carlos Gabriel, Divino, Gabriel e Aroldo, vocês sem dúvidas serão ótimos profissionais.

Aos meus sócios e amigos, Gustavo, Washington e Ayslan, não tenho dúvidas que somos uma equipe fantástica juntos e colocaremos nossa Startup Teragrus no topo.

Sou grato ainda ao Ronaldo, meu tutor que tive o primeiro contato na vida profissional na área meio ambiente, com todo bom humor e todos os meus colegas de profissão da área de processos. À toda equipe da Crown embalagens, em especial o meu líder e amigo Alan Nik, a cada dia que conversamos sobre futuro, vida e dia-a-dia é um aprendizado para mim.

RESUMO

A Radiação solar além de ser fonte de energia primária para os fenômenos meteorológicos, pode ser utilizada nos cálculos de simulação de crescimento das culturas agrícolas como também, aplicada para delineamento de sistemas alternativos de produção de energia. No entanto, há fatores que impedem a efetividade do mercado de energia elétrica de fotovoltaica no país. Bem como o alto valor de investimento e um longo prazo de retorno financeiro. Uma das dificuldades dos sistemas fotovoltaicos é direcionada a eficiência máxima de operação, uma vez que fatores externos contribuem para um menor aproveitamento energético, destacando-se a nebulosidade. Diante do exposto surge o presente trabalho de curso, com intuito de avaliar as perdas relacionada aos fatores atenuantes atmosféricos que de alguma forma interferem na eficiência de sistemas fotovoltaicos. Para isso foi avaliado um sistema implantado na cidade de Rio Verde - GO e verificado a interferência da nebulosidade em duas épocas distintas do ano, considerando uma média histórica de 10 anos. Assim, verificou-se que independente dos efeitos da nebulosidade, a tecnologia para a região se mostra eficaz, com uma radiação média global na faixa de $6,36 \text{ kW.m}^{-2}$ (no sistema avaliado) distribuídos anualmente com uma produção de 2300 kWh produzidos em média em um mês.

Palavras-chave: Radiação Solar, nebulosidade, temperatura, incidência e INMET.

ABSTRACT

Solar radiation, in addition to being a primary energy source for meteorological phenomena, can be applied to simulation calculations for the growth of agricultural crops, as well as being applied to the design of alternative energy production systems. However, there are factors that impede the effectiveness of the photovoltaic electricity market in the country. As well as the high investment value and a long-term financial return. One of the difficulties of photovoltaic systems is aimed at maximum operating efficiency, since external factors contribute to lower energy use, especially cloudiness. Given the above, the present course work arises, with the aim of evaluating losses related to atmospheric mitigating factors that somehow interfere with the efficiency of photovoltaic systems. For this, a system implemented in the city of Rio Verde - GO was evaluated and the interference of cloud cover was verified at two different times of the year, considering a historical average of 10 years. Thus, it was found that regardless of the effects of cloudiness, the technology for the region is effective, with a global average radiation in the range of $6.36 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ (in the evaluated system) distributed annually with a production of 2300 kWh produced on average in one month.

Keywords: Solar radiation, cloudiness, temperature, incidence and INMET.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz energética brasileira em operação [MW], ano 2020	17
Figura 2 – Representação efeito fotoelétrico.....	18
Figura 3 - Sistema on-grid.....	19
Figura 4 - Sistemas off-grid.....	20
Figura 5 - Representação da Radiação Solar emitida pelo Sol.....	21
Figura 6 - Espectro solar extraterrestre nas ondas curtas em baixa resolução.	22
Figura 7 - Curvas correspondentes à emitância monocromática do corpo negro, vendo-se o deslocamento máximo na direção do ultravioleta quando a temperatura aumenta. 23	
Figura 8 - Relação de comprimento de onda em função da temperatura.	24
Figura 9 - Representação lei de Lambert.....	25
Figura 10 - Representação do Balanço da energia Radiante	26
Figura 11 - Representação do Balanço da radiação.....	27
Figura 12 - Plano de desenvolvimento do trabalho	30
Figura 13: Radiação Solar difusa para cidade de Rio Verde – GO/ INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.	37
Figura 14: Temperatura média mínima e máxima mensal para cidade de Rio Verde – GO.	38
Figura 15 - Umidade relativa média mensal da cidade de Rio Verde - GO.....	39
Figura 16 - Média mensal pressão atmosférica.	40
Figura 17 - Radiação calculada da cidade Rio Verde - GO.....	41
Figura 18 - Média histórica (10 anos) radiação global Rio Verde – GO.....	42
Figura 19 - Percentual médio em % de décimos de nuvens em relação a abobada terrestre/ Rio Verde - GO	43
Figura 20 - Curva da nebulosidade 13/01/2020 – Rio Verde -GO.....	45
Figura 21: Rendimento mensal em kWh.	46
Figura 22 - Energia elétrica diária em kWh – janeiro/2020	46
Figura 23 - Energia elétrica diária produzida em kWh – junho/2020.	47
Figura 24 -Relação melhor/pior dia no aproveitamento da radiação solar global na geração de energia elétrica.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Datasheet Painei	34
Tabela 2: Datasheet inversor.	34
Tabela 3 - Conversão de valores.....	42
Tabela 4: kWh produzido pelo sistema.	48
Tabela 5: Verificação da Radiação Global em relação a nebulosidade.....	50

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

°C	Graus Celsius
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BOC	Balanço de Onda Curta
BOL	Balanço de Onda Longa
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
Cos	Cosseno
E	Emissão de Radiação
EJ	Exajoule
ϵ	Emissividade
FV	Fotovoltaico
GO	Goiás
I	Energia Radiante
I_0	Superfície Radiada
J	Joule
J0	Constante Solar
K	Kelvin
km	Quilômetro
kWh/m ²	Quilowatts horas por metro quadrado
m	Metro
m/s	Metros por segundos
m ²	Metro quadrado
min	Minutos
MJ/m ²	Mega Joule por metro quadrado
MW	Megawatts
N	Componente semiconductor de silício com cargas negativas
nm	Nanômetro
ONSE	Operador Nacional de Sistemas Elétricos
P	Componente semiconductor de silício com cargas positivas
PV	Photovoltaic
Q	Irradiância Solar
Q ₀	Irradiância Solar Extra Terrestre

Q_c	Fração Difusa
Q_d	Fração Direta
Q_g	Irradiância Solar Global
s	Segundos
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
UV	Ultravioleta
W/m^2	Watts por metro quadrado
Wp/m^2	Watts-pico por metro quadrado
z	Ângulo Zenital
$\lambda_{máx}$	Comprimento de Onda
π	Pí
σ	Constante de Steffan-Boltzmann

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE TABELAS	8
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Energias Renováveis.....	16
3.2 Sistemas Solar Fotovoltaicos.....	18
3.3 Radiação Solar.....	20
3.3.1 Leis da Radiação.....	22
3.3.1.1 Lei de Steffan-Boltzmann.....	23
3.3.1.2 Lei de Wien	24
3.3.1.3 Lei de Lambert.....	24
3.3.2 Balanço da Radiação	25
3.4 Aproveitamento Energético.....	27
3.4.1 Relação Custo-Benefício de Sistemas Solar Fotovoltaicos.....	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1 Plano de trabalho	30
4.2 Verificação dos índices de radiação do local escolhido.	31
4.3 Levantamento de dados das grandezas meteorológicas da região.....	32
4.4 Levantamento histórico da radiação global diária.	32
4.5 Avaliação do modelo de estudo para a mensuração anual da nebulosidade na região.	32
4.6 Implementação do modelo de mensuração para a região estudada.	33
4.7 Levantamento de informações estruturais para implantação de um sistema solar fotovoltaico.....	33
4.8 Demonstração real de um sistema em funcionamento com dados anuais de energia produzida	35
4.9 Correlação da nebulosidade e demais atenuantes atmosféricos com a eficiência de um sistema em operação.....	36

4.10 Verificação da sazonalidade em relação a eficiência do sistema.	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5.1 Verificação dos índices de radiação do local escolhido.	37
5.2 Levantamento de dados das grandezas meteorológicas da região.....	38
5.3 Avaliação do aproveitamento dos tipos de radiação solar durante um dia.....	40
5.4 Avaliação do modelo de estudo para a mensuração anual da nebulosidade na região.	42
5.5 Implementação do modelo de nebulosidade no município de Rio Verde.	44
5.6 Avaliação da produção de energia elétrica de um sistema fotovoltaico na região estudada.	45
5.7 Correlação das informações meteorológicas e de nebulosidade da região com a produção de energia elétrica.	47
6 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A crescente evolução na busca por fontes alternativas e renováveis para geração de eletricidade, vem tomando o cenário econômico brasileiro nos últimos anos, sendo o ponto central de pesquisas científicas, sobretudo, visando a diversificação da matriz energética brasileira, além de contribuir para a independência econômica e energética de certas atividades produtivas. Além disso, deve-se destacar também sua importância para a redução de emissões de gases de efeito estufa, bem como minimização de impactos ambientais oriundos de fontes energéticas tradicionais, fundamentadas em fontes não renováveis.

No Brasil, a matriz elétrica é predominantemente proveniente de usinas hidrelétricas, que segundo dados do Operador Nacional do Sistema (ONS), geram cerca de 70% da energia elétrica (EIFLER NETO, 2012, p.16). No entanto, acredita-se que tal fonte gera impactos expressivos nas regiões que estão inseridas.

Dentre as diversas fontes renováveis de energia emergentes a nível mundial, pode-se destacar a energia solar, que segundo Junior et al (2018), faz uso da energia luminosa do sol, se mostrando assim, uma das opções mais promissoras para integrar a matriz energética brasileira. Apesar da posição geográfica privilegiada do Brasil, para recebimento de radiação solar, a matriz solar fornece atualmente um pouco mais de 1,7% da energia elétrica gerada anualmente no país.

Diante do crescimento da tecnologia, indústrias iniciaram processos de implantação da tecnologia FV, que logo depois, por meios de incentivos econômicos, sociais e da legislação, contribuíram para a difusão do uso dessa tecnologia em condomínios e residências.

O mercado brasileiro de geração distribuída teve início em 2012 com a aprovação da Resolução Normativa N°482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que cria e regulamenta o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), por meio da geração distribuída (ANTONIOLLI et al. 2018).

Apesar das vantagens apresentadas pelo modelo geração fotovoltaico, deve-se ressaltar a necessidade de maiores estudos para a melhoria da eficiência e difusão dessa tecnologia. Dentre estes, pode-se destacar a necessidade da melhor compreensão das condições climáticas e meteorológicas, bem como seus impactos sobre a eficiência de produção de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos. Esses dois fatores podem

favorecer ou não, os níveis de radiação solar que chegam nos painéis, influenciando diretamente na produção de energia elétrica.

No estado de Goiás, especialmente para a região sudoeste, se mostra extremamente propício para o uso da energia solar. O clima da região é caracterizado como tropical úmido, com duas estações bem definidas, verão chuvoso, de outubro a abril, e inverno seco, de maio a setembro (SANTOS et al 2018).

Por estas características e localização geográfica, torna-se bastante favorável a instalação de sistemas fotovoltaicos, uma vez que se acredita que a nebulosidade da região não afetará em grandes escalas no meio produtivo das placas, tendo assim, uma média anual de irradiação solar consideráveis na superfície terrestre.

De acordo com os estudos de Machado e Miranda (2015) onde afirmam que o aproveitamento da presente tecnologia é de apenas 15% do que captado em relação as placas solares. Avaliando toda a região centro-oeste brasileira pelas suas coordenadas e levando consideração um clima tropical chuvoso em determinadas épocas do ano, tal tecnologia em teoria apresenta um bom aproveitamento, onde as perdas se dariam em torno de alguns fatores climáticos e um certo percentual da nebulosidade.

Atualmente, existem alguns modelos de obtenção dos índices de nebulosidade, que são condicionadas de acordo com a atuação da radiação solar, geralmente, essas informações apresentam uma importância para verificar o potencial de operação de instalações fotovoltaicas, apresentando uma certa viabilidade quanto a eficiência.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como proposta inicial, analisar os efeitos da atenuantes atmosféricos da região, por meios de dados oriundos de satélites e estações meteorológicas, onde é considerando fatores climáticos, averiguando os elementos condicionados pelos mesmos, para fins comparativos teóricos de outras regiões, fundamentando um próprio conceito sobre o tema, que é inexistente para a região.

Portanto, acredita-se que os resultados obtidos através desse projeto, favorecerão a tecnologia solar fotovoltaica, através da melhor compreensão dos fatores atenuantes da radiação solar, permitindo assim uma determinação mais exata do tempo de retorno dos investimentos realizados para aquisição de sistemas fotovoltaicos.

2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral, avaliar a influência de fatores e elementos atenuantes atmosféricos que interferem na radiação solar, bem como seus impactos na produção de energia elétrica de um sistema fotovoltaico.

2.2 Objetivos específicos

Para tanto, serão desenvolvidos os seguintes objetivos específicos: levantamento dos índices de radiação solar na região do município de Rio Verde - GO; estudo das grandezas meteorológicas que influenciam na radiação solar; avaliação dos tipos de radiação; avaliação dos tipos de modelos meteorológicos utilizados para estudo de nebulosidade e escolha do modelo a ser utilizado no estudo; implementação do modelo de nebulosidade no município de Rio Verde; avaliação da produção de energia elétrica de um sistema fotovoltaico na região estudada; correlação das informações meteorológicas e de nebulosidade da região com a produção de energia elétrica.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Energias Renováveis

Atualmente a busca por aprimoramentos tecnológicos e desenvolvimentos de tecnologias que agregam e qualificam o setor energético mundial se torna algo desafiador para pesquisadores, uma vez que os objetivos são voltados ao suprimento no setor energético com o intuito de facilitar o desenvolvimento econômico sem impactar ou minimizar grandes efeitos ao meio ambiente.

Sabe-se que o uso de combustíveis fósseis e exploração excessivas de recursos naturais resultam na degradação do meio, uma vez que contribuem ainda a modificações climáticas, perda dos próprios recursos e modificação do meio ambiente. A partir dessa dificuldade surgiu o termo energias renováveis, que segundo Pacheco (2006) são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta e as configuram como um conjunto de fontes de energia que podem ser chamadas de não-convencionais. Borges et al. (2017) ainda discorre sobre as fontes de energias renováveis, que são a opção mais indicada para substituição dos combustíveis fósseis objetivando a geração de energia, pelo fato de quando comparados a outras fontes energéticas, provocam um menor impacto ambiental e, reduzem o uso de produtos derivados do petróleo.

A energia renovável pode fornecer dois terços da demanda total de energia global e contribuir para a maior parte da redução das emissões de gases de efeito estufa que é necessária entre agora e 2050 para limitar o aumento da temperatura média da superfície global abaixo de 2 °C (GIELLEN et al 2019). Bem como foi apresentado no relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), O cenário mais otimista, que significa chegar a emissões líquidas zero, pode até mesmo trazer o aquecimento para patamares ligeiramente inferiores aos 1,5°C. Em outras palavras, estas energias renováveis podem e devem ser utilizadas de forma sustentada, de maneira tal que resulte em mínimo impacto ao meio ambiente.

Dentre as disponíveis no cenário brasileiro, destacam-se:

- Energia hidroelétrica: sendo oriunda da utilização da água e atualmente é a fonte mais utilizada sistema energético brasileiro pela abundância do recurso no território brasileiro (SILVA et al, 2018);

- Energia eólica: sendo aproveitada através da conversão da energia mecânica de correntes de vento em outras formas de energia, utilizando-se turbinas eólicas. (CORRÊA et al 2020),
- Energia da biomassa: caracterizada como qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia térmica, mecânica ou elétrica (SANTOS et al 2017);
- Energia Solar: que de acordo com Kabir et al. (2018), emprega a mesma como tudo aquilo que pode gerar eletricidade a partir da luz solar, o autor ainda afirma que quase quatro milhões de exajoules (1 EJ = 10¹⁸ J) da energia solar atinge a Terra anualmente e tem seu recurso infinito.

O melhor aproveitamento energético de cada energia renovável se dá pelo local de implantação e a influência de fatores intrínsecos e extrínsecos que contribuem para a eficiência energética. Levando em consideração todos os meios de geração de energia elétrica, a Figura 1 apresenta a matriz energética instalada no Brasil no ano de 2020 segundo a ANEEL, sendo destacada a energia solar fotovoltaica que representa 1,7% no cenário geral e 7% de mais de 173.279 MW no âmbito de energias renováveis no país.

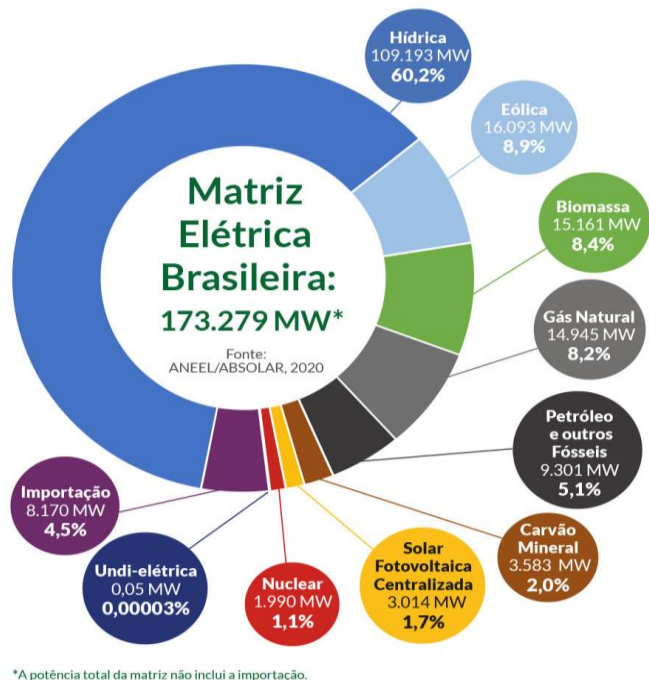


Figura 1 - Matriz energética brasileira em operação [MW], ano 2020
Fonte: ANEEL (2020)

Se tratando da energia solar fotovoltaica, David (2020) afirma que o potencial que o Brasil tem para esse tipo de geração é enorme, como a incidência de irradiação solar, sendo

que produção de energia elétrica através de um sistema fotovoltaico é baseada na conversão de radiação solar em energia para consumo. Da Rosa & Gasparin (2016) complementam que o país apresenta picos de até 2.350 kWh.m^{-2} em alguns locais, afirmando que no Brasil a energia solar fotovoltaica apresenta bons contribuintes energéticos.

3.2 Sistemas Solar Fotovoltaicos

A tecnologia solar fotovoltaica amplia-se a cada ano, apesar do alto custo de implantação a cada dia sistemas FV fazem parte de instalações industriais, residenciais e comerciais.

Sistemas FV apresentam uma série de componentes responsáveis por captar energia oriunda do sol e transformá-la em energia elétrica. Os painéis fotovoltaicos são dispositivos para converter a energia proveniente da luz solar em energia elétrica. Os painéis ou sistema fotovoltaico, geralmente, são constituídos por células fotovoltaicas, caracterizando-se o elemento mais importante do sistema e, que ainda é composto por inversores, baterias e controladores/reguladores de carga (DE OLIVEIRA et al., 2018).

A célula fotovoltaica é o local onde haverá a conversão da radiação solar em corrente elétrica, através do efeito fotoelétrico (ilustrado pela Figura 2) ocorre quando um elétron salta de uma órbita mais externa por conta da incidência da luz sobre a célula, em outras palavras, o efeito fotoelétrico consiste em gerar tensão a partir da inserção da luz solar entre os dois componentes semicondutores (silício tipo P e N ambos com propriedades elétricas diferentes), gerando uma diferença de potencial.

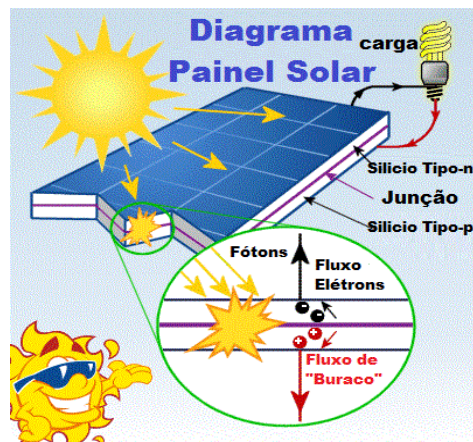


Figura 2 – Representação efeito fotoelétrico.

Fonte: Solar Energy

Essa tensão gerada pelos semicondutores por sua vez geram uma corrente elétrica contínua (CC) que por sua vez é direcionada aos inversores de corrente, onde esses dispositivos têm a capacidade de converter corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) (GERMANOS et al, 2020). Salienta-se que de acordo com o destino de energia elétrica gerada, esses inversores podem ser adaptados, uma vez que eles se diferenciam em sistemas on-grid (ligados diretamente a rede) e off-grid (Sistemas de uso próprio).

Como adiantado, existem sistemas ligados diretamente a rede elétrica são denominados on-grid (Figura 3) que segundo Silva et al (2017) permite que a eletricidade gerada reduza de forma parcial ou total o consumo na rede local durante o dia, porém a noite seriam utilizados os créditos gerados pelos excedentes na distribuidora de energia. Já sistemas isolados, os off-grids (Figura 4) os sistemas que utilizam o excedente da injeção solar de abastecimento nas baterias solares ao qual devolve esse excedente conforme necessidade.

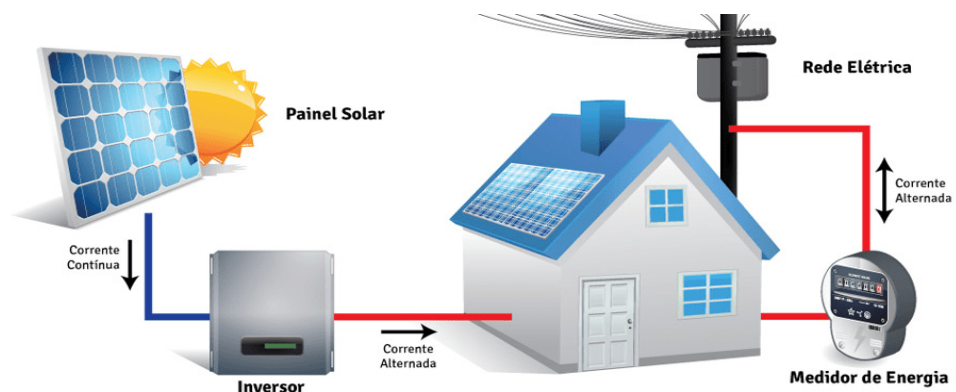


Figura 3 - Sistema on-grid.
Fonte: Roma Engenharia

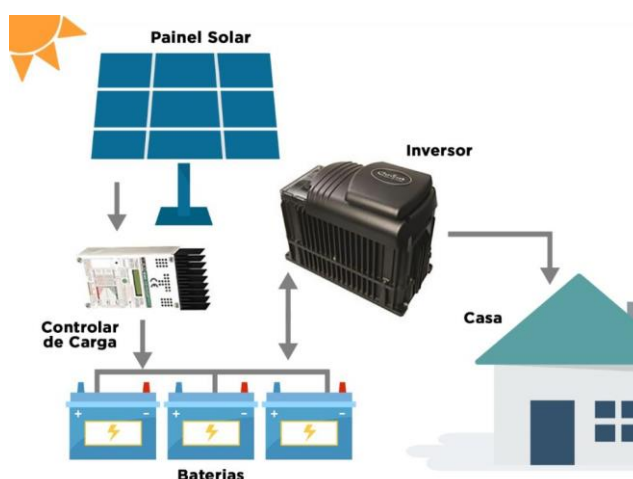


Figura 4 - Sistemas off-grid.

Fonte: Transponder Solar

Para locais afastados como fazendas, granjas e ranchos é recomendado o uso de sistemas off-grid, no entanto são sistemas que apresentam perdas relevantes. Para centros urbanos, residenciais e setor industrial recomenda-se a implantação de sistemas on-grid.

3.3 Radiação Solar

Um importante fator para que haja entendimento da tecnologia solar fotovoltaica é a radiação solar, que de acordo com as afirmações de Pereira et al (2007) sendo o principal elemento meteorológico, pois desencadeia outros processos meteorológicos como a temperatura, umidade, pressão, ventos e precipitação, por tanto no presente trabalho será fundamentada a teoria esboçada pelo presente autor no que se trata da fatores climáticos e radiação solar.

Tratando-se da radiação, pode-se distinguir entre direta que se resumem nos raios solares que chegam à superfície da terra de forma direta e sem interferência de fatores atmosféricos e a radiação difusa, que é determinada pela incidência solar que sofre desvios ao longo do caminho percorrido a superfície terrestre, sendo esta, a mais indicada para estudos. Em contrapartida, existe ainda a radiação global, que segundo Zamadei (2018) em planos horizontais, a radiação global é composta pelas componentes direta e difusa. Da Cruz, Gomes e Cerqueira (2017) contribuem para a definição do tema como a irradiação solar global (em MJ.m^{-2}) que atinge a superfície da Terra sendo a componente direta obtida através da integração da radiação oriunda apenas do ângulo sólido compreendido pelo disco solar. Já a

radiação difusa é obtida através da integração (em ângulo sólido) de todo o semi-hemisfério (isto é, 2π), descontando-se, evidentemente, o disco solar.

Assumindo-se que, até atingir a superfície da Terra, a luz solar percorre uma distância aproximada de 150 milhões de quilômetros ($1,5 \cdot 10^8 \text{ km} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$) a uma velocidade de $300 \cdot 10^3 \text{ km.s}^{-1}$ ($3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$), ela gasta cerca de 500s (8,3 min) nessa trajetória (PEREIRA et al. 2007, p.24), pode se afirmar que os fenômenos atmosféricos que são observados na superfície terrestre já ocorreram a 8,3 min no mínimo.

A diferença entre radiação solar (Figura 5 - Representação da Radiação Solar emitida pelo Sol. e irradiação solar (Q) se dá pelo fluxo radioativo, em outras palavras, a densidade do fluxo é a irradiância solar, sendo expressa em energia por área por tempo (PEREIRA et al 2007) e a radiação solar consiste em radiação eletromagnética emitida por um astro (nesse caso o Sol) (GUEYAMARD et al, 2019). O autor ainda afirma que aplicações terrestres de energia renováveis que utiliza a radiação solar geralmente depende dos fótons, conhecidos como “Radiação óptica”, com uma faixa espectral de cerca de 300-4000 nm (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

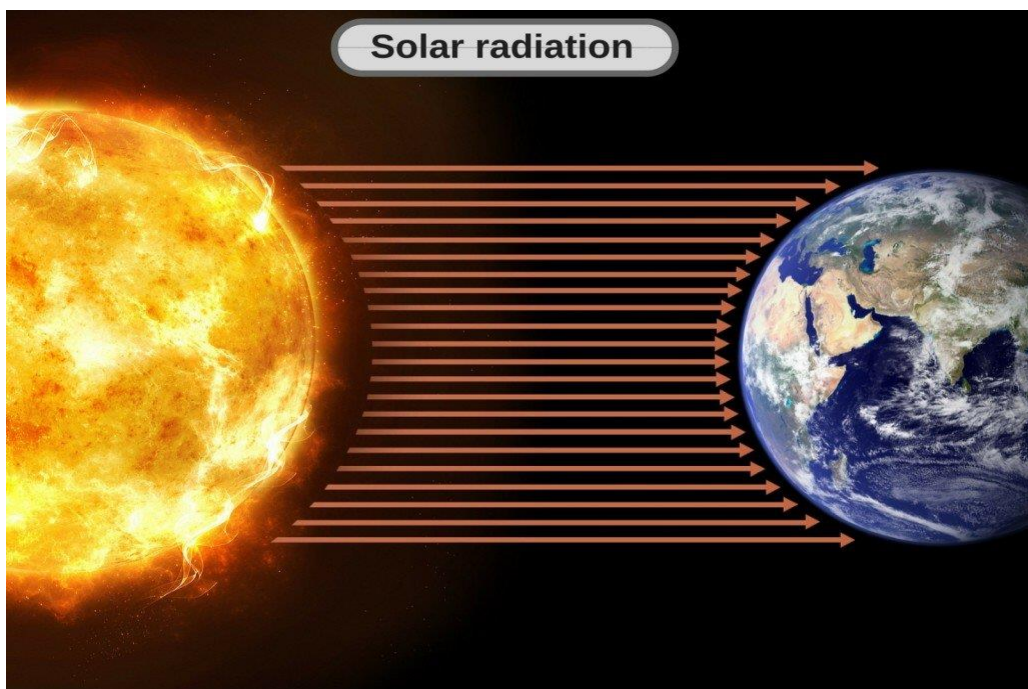


Figura 5 - Representação da Radiação Solar emitida pelo Sol.

Fonte: Azon

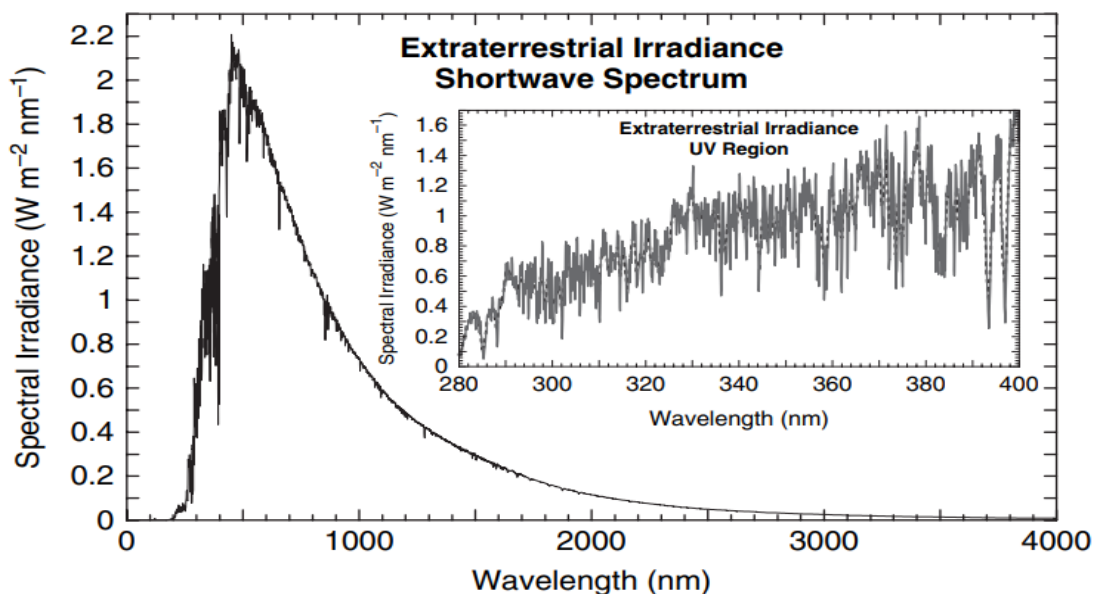


Figura 6 - Espectro solar extraterrestre nas ondas curtas em baixa resolução.

Fonte: Energy Policy.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, a parte UV altamente estruturada deste espectro é detalhada na inserção em baixo (0,5 nm; pontos pretos grossos) e alta resolução (0,05 nm; linha cinza fina).

A partir desses conceitos, chegamos a constante solar (J_0), definida como: Densidade de fluxo de radiação solar incidente em uma superfície plana perpendicular aos raios solares, sem os efeitos atenuantes da atmosfera (Pereira et al 2007).

O movimento de rotação da Terra faz com que um local receba os raios solares com inclinação diferentes ao longo do dia, logo, o Sol tem sua posição modificada, devido ao movimento de rotação da terra, e ao longo do ano, devido ao movimento de translação que a Terra faz (FERREIRA & BARCELOS, 2017). Com a presente variação em termos de posicionamento do globo terrestre em relação ao Sol, há uma variação de valores do que é irradiado ao longo dia, onde é obtido a irradiância solar extraterrestre (Q_0), sendo este, fundamental quando se deseja calcular o potencial solar diário.

Os presentes fundamentos serão expostos no item 3.3.2 do presente trabalho.

3.3.1 Leis da Radiação

Com o intuito de entender melhor sobre os efeitos da radiação em superfícies, é necessário fundamentar em leis das quais são adotadas para sistemas solar fotovoltaicos no

que se trata da captação da luz solar em decorrência a angulação e fatores contribuintes como a temperatura e o balanço de ondas.

3.3.1.1 Lei de Steffan-Boltzmann

A Lei de Steffan Boltzmann contribui em relação a densidade de fluxo radioativa emitida (E) em W/m^2 , Segundo Giddings (2016) a teoria se baseia em que a potência total emitida da radiação por um corpo negro é proporcional a quarta potência da temperatura. Considerando a temperatura em K, Steffan obteve a seguinte equação:

$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ [Equação 1]}$$

Onde σ é chamada de constante de Steffan Boltzmann, ($= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 = 4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ / m}^2 \text{ d K}^4$) e ϵ representa a emissividade. A

apresenta a relação do fluxo.

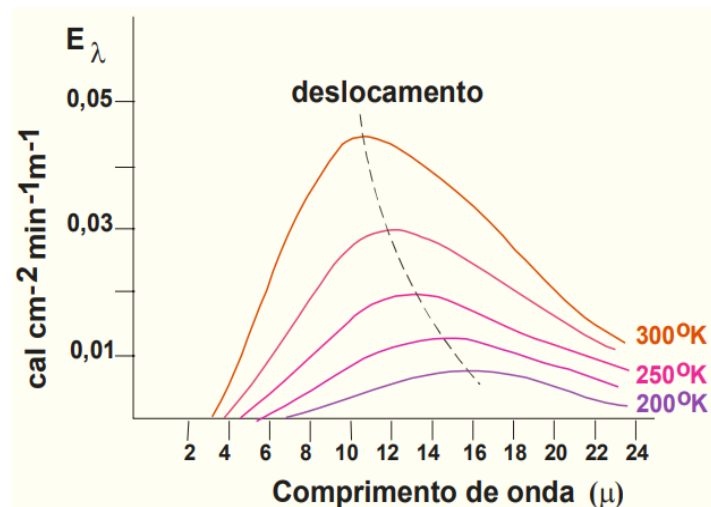


Figura 7 - Curvas correspondentes à emitância monocromática do corpo negro, vendo-se o deslocamento máximo na direção do ultravioleta quando a temperatura aumenta.
Fonte: Pereira et al. (2007)

Considerando a atmosfera terrestre, a composição básica irá variar de acordo com o teor de umidade de ar, o que prova que a emissividade em um dia a outro deverá ser diferente. O presente estudo é fundamental caso se deseja verificar as condições climáticas que interferem na melhor eficiência por parte de sistemas solar fotovoltaicos.

3.3.1.2 Lei de Wien

Wien comprovou que se tratando da temperatura em si, haveria um determinado comprimento de onda ($\lambda_{\text{máx}}$), sendo este inversamente proporcional em relação temperatura da superfície em questão (VAREJÃO-SILVA, 2006). Verifica-se a equação 2.

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2,898\ 106\ \text{nm K}}{T} \quad [\text{mm.K}] \quad [\text{Equação 2}]$$

A presente equação é determinada graficamente na Figura 8.

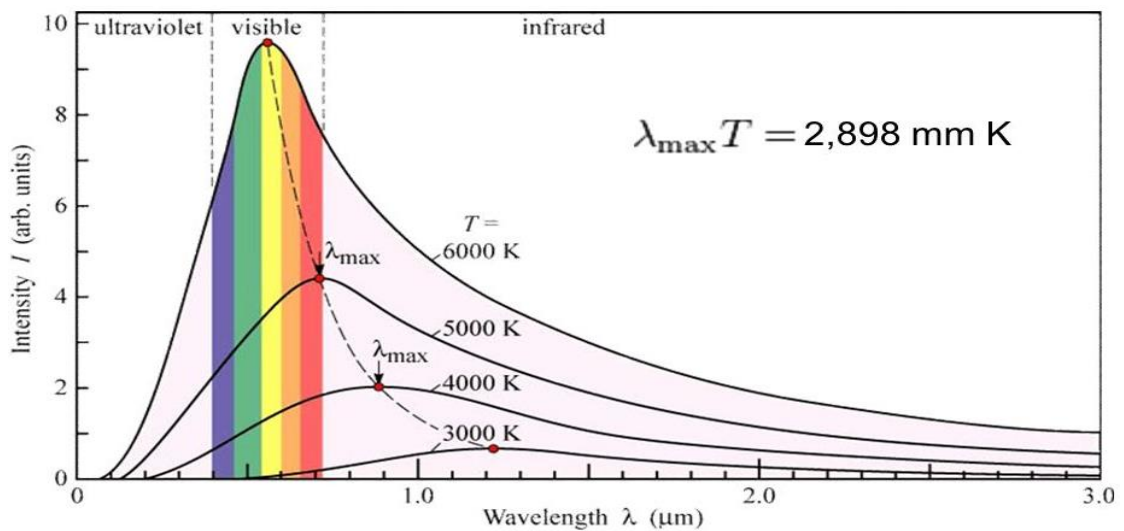


Figura 8 - Relação de comprimento de onda em função da temperatura.
Fonte: Energy Policy.

Verifica-se a importância da presente lei no entendimento do balanço de radiação na superfície, pois de acordo com Pereira et al. (2007) é por meio dela que é possível classificar a radiação solar em Balanço de ondas longas (BOL) e Balanço de ondas curtas (BOC).

3.3.1.3 Lei de Lambert

A presente lei além de verificar o estabelecimento da quantidade de energia recebida por uma superfície que seja ela por meio do ângulo de incidência da radiação, é fundamental quando se trata da verificação da angulação dos painéis solar fotovoltaicos.

Xingcai & Kun (2018) estabelece que um fluxo de energia radiante (I) incide sobre uma superfície (I_0), forma-se um ângulo z com a normal a esta superfície, a irradiância sobre a

superfície considerada será o produto da irradiância na superfície normal aos raios pelo cosseno do ângulo de incidência (Equação 3).

$$I = I_0 * \cos Z \quad [\text{J.s}^{-1}] \text{ [Equação 3]}$$

A Figura 9 interpreta a presente equação.

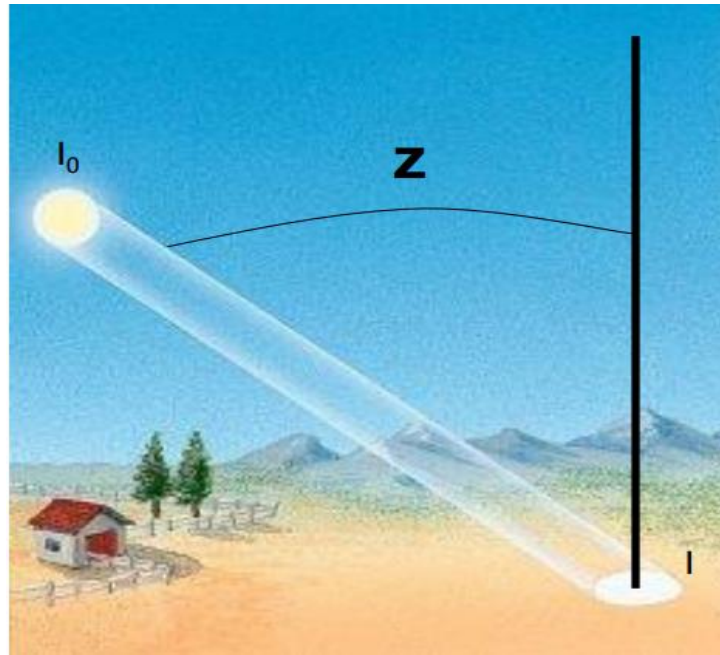


Figura 9 - Representação lei de Lambert
Fonte: Pereira et al. (2007)

Por tanto, em um determinado instante em um dia, com determinada declinação solar, em um local, é obtido uma distribuição da energia solar na superfície da terra.

3.3.2 Balanço da Radiação

Sabe-se que a radiação é um elemento condicionante para os diversos fatores climáticos do globo terrestre, uma vez que os elementos meteorológicos e climáticos afetam a radiação solar, sendo representada pelas leis já apontadas no presente trabalho.

As leis citadas são fundamentais para entender os fenômenos biofísicos como as ilhas de calor, inversão térmica, formação de névoas, ilhas de calor, aumento da massa óptica atmosférica além de situar as modificações climáticas e aquecimento global.

Todos os presentes fenômenos resultam ou influenciam no balanço da radiação/energia superficial terrestre sendo que a radiação representa o saldo (trocas) da energia radiante que chega e é emitida pela superfície e pela atmosfera sem considerar usos e trocas dessa energia radiante, e a energia representa o computo da energia particionada em aquecimento, mudança de estado físico, fotossíntese e armazenamento na superfície terrestre. Alves et al (2018) afirma que seus principais produtos são o albedo de superfície, emissividades e índices de vegetação, temperatura de superfície, saldo de radiação, fluxos de calor no solo, calor sensível e latente, e, por fim, a evapotranspiração real. Alves et al (2018) ainda afirma que o Saldo de Radiação é fundamental para processos de fluxos de massas de energia e evapotranspiração, logo, constituindo uma fonte extraordinária de energia para diversos fenômenos meteorológicos.

Quando é considerado que a atmosfera é um agente atenuante dos raios solares, então essa radiação que chega na superfície segundo Pereira et al (2007) é reduzida em até 49%, os outros 51% da radiação que atinge a superfície (Figura 10) é considerada irradiância solar global (Q_g).



Figura 10 - Representação do Balanço da energia Radiante

Fonte: researchgate

Pavão et al (2016) aponta que dentro irradiância global disponível que chega na da atmosfera compreende uma fração direta (Q_d) e uma fração difusa (Q_c). Sendo Q_o a fração que não sofre desvios durante sua trajetória e Q_g decorre de processos de difusão ou

espalhamento, obtendo assim o $Q_g.R$ (fração refletida), Q_{atm} (fração de troca da atmosfera) e Q_{sup} (fração de troca da superfície), sendo estas variadas proporcionalmente em relação a nebulosidade (Figura 11).

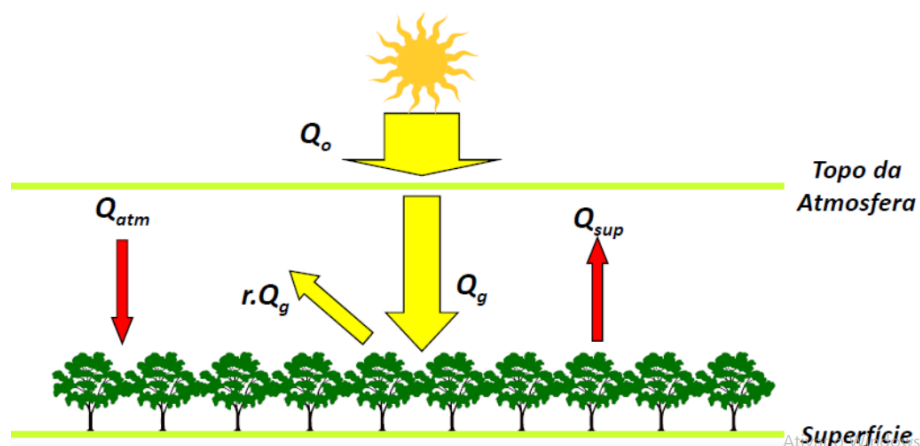


Figura 11 - Representação do Balanço da radiação.

Fonte: Pereira et al. (2007)

Ao interagir com a atmosfera e a superfície, a radiação sofre processos de atenuação, como absorção, difusão e reflexão, sendo que uma parte do que chega no limite externo da atmosfera (Q_o) atinge a superfície, onde outra parte sofre também reflexão. Como Varejão-Silva (2006) aponta que um corpo terrestre emite radiação proporcional a sua temperatura (baseada na lei de Wien) é preciso considerar a troca de ondas longas, sendo conhecidas como Balanço radioativo de ondas longas (BOL).

Também é estabelecido um balanço de radiação de ondas curtas (ganhos e perdas). Pereira et al (2007, p.65), estabelece que uma fração é refletida pela superfície (em média 4%), determinando que o balanço de ondas curtas represente, em média, 48 % do valor de Q_o . Diante do exposto o autor ainda afirma que o valor do coeficiente de reflexão (albedo), é de cerca de 31%.

O albedo (α) pode ser estimado por sensoriamento remoto, das quais será usado no desenvolvimento do presente trabalho, como forma de verificação da radiação solar para o local selecionado.

3.4 Aproveitamento Energético

O Estado de Goiás, especialmente o município cidade de Rio Verde – GO, se mostra extremamente propício para o uso da energia solar. O clima da região é caracterizado como

tropical úmido, com duas estações bem definidas, verão chuvoso, de outubro a abril, e inverno seco, de maio a setembro (SANTOS et al 2018). No período chuvoso apresenta uma precipitação média mensal acima de 200 mm e temperatura média de 24 °C, já no período seco essa precipitação mensal é menor que 50 mm, com temperatura média de 22 °C (INMET, 2015).

A cobertura de nuvens, é considerada o principal fator de modulação da transmitância atmosférica, Tiepolo et al (2018) contribui informando que as demais propriedades óticas da atmosfera são parametrizadas a partir de variáveis meteorológicas em seus valores médios mensais, como temperatura do ar e umidade relativa, entre outros fatores. No entanto, o território goiano se apresenta como propício a implantação da tecnologia.

Todas as informações voltadas ao tipo de radiação solar, tem direta influência no que se trata do aproveitamento solar fotovoltaico, por tanto, é necessária uma averiguação de efeitos atenuantes atmosféricos, sobretudo da nebulosidade para o aproveitamento de placas solares, sejam elas para ênfase de aquecimento, quanto para aproveitamento solar fotovoltaico.

Nesse caso, existe a necessidade de se entender a dinâmica climática, e, portanto, é imprescindível levantar os fatores condicionantes, dos quais são levantados os aspectos do ambiente em questão, podendo se estender ser classificado de acordo com a sazonalidade. Se tratando do território estudado, Barros e Baleiro (2012) destacam que a região Centro-Oeste possui somente duas estações do ano: outono-inverno seco, com temperatura amena, e primavera-verão quente e chuvosa, com elevadas temperaturas. Com isso, a ênfase na análise de grandezas em específicas se tornam importantes, como a temperatura, como afirma Stambuk (2017), quando o autor afirma que a temperatura elevada tem como consequências a queda da eficiência da célula e dano estrutural permanente do módulo se houver estresse térmico contínuo.

Apesar dos reconhecidos benefícios e vantagens da geração fotovoltaica, deve-se ressaltar que a referida tecnologia ainda apresenta uma série de limitações e aspectos carecidos de atenção, tais como: baixa eficiência do processo fotovoltaico, perdas por aquecimento, problemas com sombreamento e mal posicionamento dos painéis fotovoltaicos, redução do tempo de retorno etc.

3.4.1 Relação Custo-Benefício de Sistemas Solar Fotovoltaicos

Um dos maiores questionamentos sobre a tecnologia é pautada na viabilidade (ou não) da mesma, uma vez que apresenta custos elevados de implantação no território brasileiro, além do mais, altas taxas de tributações contribuem para o lento crescimento no Brasil.

Como já citado ao longo da presente revisão bibliográfica, dependendo da região há uma melhor tecnologia renovável pelas condições que o ambiente proporciona, porém, sistemas FV são de longe a mais viável no Brasil, como afirma Costa et al (2019), que apontam o sistema solar fotovoltaico economicamente viável, mesmo que o período de retorno não seja imediato. Gonçalves, Cunha e Rheingantz (2017) apontam ainda que a tecnologia apresenta um tempo de retorno mínimo de 18,38 anos (payback simples), sendo esta variável de acordo com a demanda energética, local de implantação e comportamentos biofísicos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Plano de trabalho

Para realização do presente trabalho, é necessário seguir uma série de etapas das quais visam delimitar melhor os objetivos apresentados na introdução do presente trabalho, sobretudo no levantamento de informações e dados da região que será estudada e na delimitação das análises de parâmetros de um sistema solar fotovoltaico implantado para comparação e confirmação de dados. Diante do exposto, a Figura 12 apresenta o plano de desenvolvimento da metodologia do presente trabalho, subdividindo didaticamente cada item para melhor demonstração de informações.

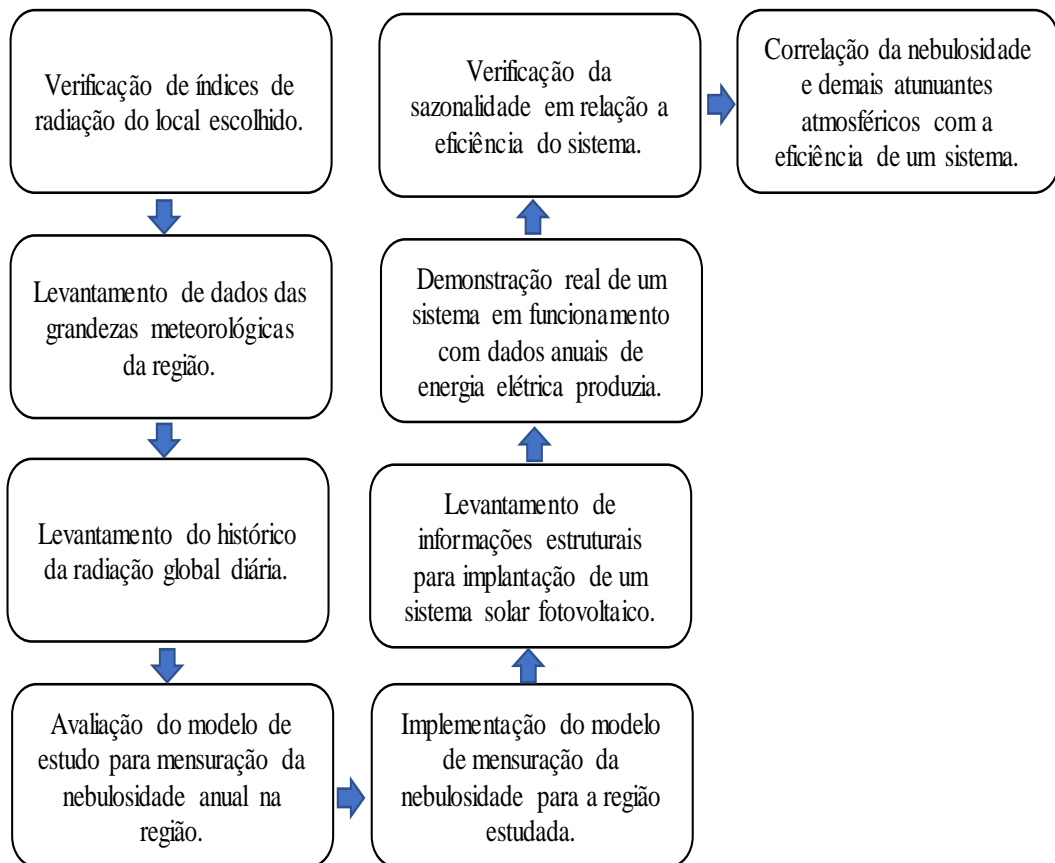


Figura 12 - Plano de desenvolvimento do trabalho

Fonte: Autor.

4.2 Verificação dos índices de radiação do local escolhido.

A verificação dos índices de radiação solar para o presente trabalho em questão será por meio de dados oriundos de satélites e plataformas de institutos que compilam tais dados e mensura-os em escala diária, mensal e anual, fornecendo também dados de sequências históricas e mantendo um padrão de dados. É de conhecimento, que se tratando de Brasil, alguns fatores contribuem para alguns problemas de dados climatológicos devido à grande extensão do território nacional e certa variação quanto a latitude. Assim, Castelhana et al (2017) afirma que as diferentes dinâmicas atmosféricas e condições pluviométricas encontradas no Brasil, são influenciadas pelas características físicas desiguais, contemplando tais fatores as condições de leitura e mensuração de dados dos fatores climáticos, a distribuição espacial e temporal é derivada de efeitos diretos e indiretos. Portanto, é imprescindível uma confiança na acurácia dos dados apresentados, e diante do exposto, o presente trabalho se baseia em dados apresentados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que são os principais órgãos responsáveis pela alimentação de dados climáticos no território nacional.

O INPE desenvolve, opera e utiliza sistemas espaciais ou com acesso ao espaço para o avanço da ciência, da tecnologia e das aplicações nas áreas do espaço exterior e do ambiente terrestre (INPE, 2017), se tornou referência em obtenção de dados não somente climáticos, mas como também florestais.

Já o INMET contribui com o desenvolvimento sustentável por meio de monitoramento, análise e previsão de tempo e de clima, que se fundamentam em pesquisa aplicada, trabalho em parceria e compartilhamento do conhecimento, com ênfase em resultados práticos e confiáveis.

Na realização da metodologia do presente trabalho, é necessário um forte embasamento teórico, conciliando os dados obtidos dos dois institutos em questão e ligando-os aos fatores contribuintes que reduzem a eficiência de sistemas fotovoltaicos, traçando uma curva gráfica de exposição os diferentes tipos de radiações e quanto ao aproveitamento em relação a diferentes condições de planos das placas solares.

Para estipular os índices de radiação solar, foram consultadas as plataformas do INMET, seguindo uma base histórica de dados, uma vez que os mesmos foram adequados seguindo uma média mensal em relação ao apresentado em um intervalo de 10 anos.

Diante do exposto para as coordenadas para uma latitude de: 17°47'44.0"S e longitude de: 50°55'58.5"W, todos os resultados são arredondados seguindo um padrão para a cidade de

Rio Verde – GO, uma vez que o município apresenta apenas uma estação micrometeorológica,

Tais dados serão esboçados em uma escala anual, levando em considerações as médias diárias referentes a cada mês dos dados obtidos.

4.3 Levantamento de dados das grandezas meteorológicas da região

Além da temperatura, será levantada e avaliados a umidade relativa do ar, velocidades e sentidos dos ventos, pressão atmosférica, índices de pluviosidade e outros fatores condicionantes do clima além da própria radiação solar. As principais bases para levantamento de dados será o atribuído pelo INMET e BDMEP.

4.4 Levantamento histórico da radiação global diária.

Os levantamentos serão extraídos a partir de uma série histórica de aproximadamente 10 anos, coletadas do banco de dados do INMET, sendo apresentados graficamente uma média diária/mensal correlacionando com a sazonalidade. Ressalva-se que os modelos de cálculo da radiação difusa são extremamente complexos e que não serão apresentados ao longo do trabalho, sendo exposto uma relação analítica que as estações meteorológicas realizam, tais informações também estão presentes no INMET.

Com os dados em mãos aplicados a uma média diária mensal, é notório uma constância de dados cujas variações pontuais são excluídas ou desconsideradas em um banco de dados, promovendo uma maior exatidão quanto a acurácia de dados.

4.5 Avaliação do modelo de estudo para a mensuração anual da nebulosidade na região.

Na presente etapa da metodologia, as atividades principais são voltadas na avaliação dos tipos de radiação, destaca-se a checagem de dados de acordo com as informações obtidas via estações meteorológicas da região, que de acordo com os dados diários, será traçado uma curva de radiação referente a captação de radiação solar.

Para isso, é imprescindível a checagem dos presentes dados em relação as coordenadas geográficas locais, verificando o aproveitamento da radiação global, sendo considerado um plano cuja captação em teoria, equivale a um sistema com proximidades a eficiência máxima

de aproveitamento da energia solar, desconsiderando perdas e atribuindo graficamente o presente aproveitamento em uma escala que mensura energia elétrica gerada (Watts).

Com os presentes dados alinhados, será possível traçar uma curva graficamente exposta da produção mensal para um sistema implantado em funcionamento ideal para trabalho de acordo com a localidade.

4.6 Implementação do modelo de mensuração para a região estudada.

O método que será utilizado para implementação do sistema na cidade de Rio Verde - GO, será uma conciliação dos estudos adaptados de Pereira et al. (2006) e Varejão (2001) baseados em análises de dados retirados de estações meteorológicas, uma vez que são considerados os fatores climáticos locais, considerando também, os dados do Banco de Dados Meteorológicos do INMET, que consistem em informações históricas meteorológicas extraídas através de satélites, com um pico máximo de 10% em m^2 .

Para Execução analítica, alguns fatores que contribuem para a nebulosidade, uma vez que se tem a insolação e a duração do dia (razão de insolação) em função da radiação global calculada (RG), para obtenção dos valores de pico máximo real em % por m^2 , sendo este, o efeito em horas do período em um dia.

Através da obtenção de todos os dados operacionais e climáticos na avaliação para a implantação de um sistema a ser implantado, será desenvolvido um levantamento de todas as informações supracitadas e por meio de planilhas, realizar a configuração de um banco de dados para compilação.

Com esse valor horário, é traçado os dados médios mensais de insolação e verificados a nebulosidade para o município.

4.7 Levantamento de informações estruturais para implantação de um sistema solar fotovoltaico.

Os dados de levantamentos estruturais, na implantação de um sistema solar fotovoltaico, são demasiadamente importantes na obtenção de uma melhor eficiência. De acordo com Barbosa (2018) a localização dos painéis deve estar o mais próximo possível das baterias, pois a relação entre o diâmetro da fiação e, principalmente, as placas, necessariamente devem apresentar uma distância significativa de qualquer obstáculo para que não haja sombreamento nas placas ocasionados por ele, mantendo um período de radiação

ótimo entre 9h até as 17h. Caso contrário, este também será um fator atenuante que impossibilitará a máxima eficiência no sistema.

O sistema instalado, segundo a Automasol, está localizado na seguinte coordenada: L:17,79°S e longitude 50,91°O. Apresenta uma potência total teórica 20,48 kWp distribuídos em 64 placas de 320 Wp cada, com 1 inversor de 20 kW. É possível observar os dados na Tabela 1 e Tabela 2.

Dados do painel (JKM320P-72 308-320 Watt)	
Tipo de Célula	Poli cristalina 156x156 mm
Dimensões	1.956x992x40 mm
Peso	26,5 kg
Vidro frontal	4,0 mm alta transmissão, vidro temperado com metal leve
Armação	Liga de alumínio anodizado
Caixa de Junção	TUV 1X4 mm, lente: 9 mm ou customizada
Potência máx. [Wp]	305
Tensão máx. [V]	36,8
Corrente máx. [A]	8,3
Eficiência do módulo	
Temperatura de operação	- 40°C - + 85°C
Tolerância (potência)	0-+3%
Temperatura nominal de operação das células	45±2°C

Tabela 1 - Datasheet Painel

Fonte: Fonte: Elaborado pelo Autor, com base na Automasol

Dados do inversor PHB 14K-DT		
Dados de Entrada CC	Max. Potência Fotovoltaica [W]	18.200
	Máx. Tensão CC [V]	1.000
	Faixa de Operação	260-850
	Tensão CC de partida	250
	Número de Strings/MPPT	06/02 (Permite parcelar)
	Conector	MC IV, SUNCLIX (opcional)
	Consumo em Standby [W]	10
	Dados Saída CA	Potência CA Nominal [W]
Máx. Potência CA [W]		14.660
Máx. Corrente CA [A]		37
Saída Nominal CA		60Hz, 220/127 vca
Faixa de Operação CA		57,5~62Hz; 101,6~139,7Vca
THD		<5%
Fator de Potência		Unitário (0.9 Capacitivo / 0.9 Indutivo)
Eficiência	Max. Eficiência	98,20%
	Eficiência SPMP	>99,9%

Tabela 2: Datasheet inversor.

Fonte: Fonte: Elaborado pelo Autor, com base na Automasol

Tecnicamente existem dois tipos de inversores: o string e os microinversores a serem instalados em um sistema, segundo Duarte (2019) a principal diferença entre inversores string e os microinversores é que nos inversores string toda a potência é transformada em um único inversor, transformando a potência gerada por vários painéis em apenas um equipamento, que o caso do presente sistema.

A qualidade dos painéis em si deve ser levada consideração, uma vez que contribuem para perdas em sistemas PV. Para Furquim & Gaspar (2020) Entender as perdas que podem ser geradas é necessário para o correto funcionamento do sistema. E de acordo com Silva (2018), podem ser considerados como as principais perdas fatores como orientação e inclinação dos módulos, sombreamento, acúmulo de sujeira, temperatura, mismatch e degradações.

A qualidade das células também é verificada, sendo que estas, apresentam, uma fonte de corrente cuja intensidade depende não somente da radiação solar incidente, como também da temperatura que está submetida, sendo que está em função da temperatura ambiente (DE CASTRO et al., 2001).

Após uma identificação de uma melhor oferta de área a ser instalada, será levantado, o datasheet de um sistema real, voltados a descrição técnica das placas solares de acordo com a potência exigida e descrição do modelo de inversor.

4.8 Demonstração real de um sistema em funcionamento com dados anuais de energia produzida

Para a realização da presente atividade, será necessário a contribuição de informações reais de um sistema já implantado e com uma ótima relação de dados (preferencialmente com dados anuais coletados), através dessas informações, é possível realizar um baseamento analítico anual, para direcionamento das próximas atividades.

Diante do exposto, será apresentado graficamente os presentes dados em forma de gráficos, quanto ao kWh diário e mensal, evidenciando possíveis alterações pontuais. Tais informações foram fornecidas com a empresa Automasol.

4.9 Correlação da nebulosidade e demais atenuantes atmosféricos com a eficiência de um sistema em operação.

De acordo com o que foi apresentado ao longo na revisão bibliográfica, umas das principais hipóteses avaliadas é que a região oferece certas alterações quanto aos índices de radiação solar em diferentes épocas do ano, como Barcelos, Campos e Freitas (2019, p. 21). Fatores climáticos são correlacionados a radiação solar, e portanto, sabe-se que o sistema apresentará variações de acordo com as condições temporais com a sazonalidade, efeitos dos quais serão expostos ao longo dos resultados do presente trabalho, sendo observados graficamente.

4.10 Verificação da sazonalidade em relação a eficiência do sistema.

Por fim, após todo o levantamento de dados de climáticos, estruturais e de operação, a apresentação de informações neste tópico, é em função da correção da nebulosidade e demais efeitos atenuantes atmosféricos com o foco na máxima eficiência do sistema em operação. Sendo recolhido pelo BDMEP a porcentagem de nuvens em céu aberto sendo atribuído a fração representativa na área estudada.

Diante do exposto, foi realizada uma correlação das informações meteorológicas de maneira analítica, de nebulosidade da região com a produção de energia elétrica, em conjunto com possíveis interferências causais da nebulosidade ao longo do ano.

Além disso, será apresentado um feedback final quanto a viabilidade da implantação de sistemas solar fotovoltaicos para a região do sudoeste goiano e apresentando possíveis pontos de melhorias para a implantação da tecnologia.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação deste tópico será realizada de forma coerente com o que foi detalhado com os tópicos ao longo da metodologia.

5.1 Verificação dos índices de radiação do local escolhido.

Os índices de radiação solar difusa segundo o INMET são apresentados na Figura 13. Salienta-se que os dados de mínima e máxima apresentados na figura, é referente aos valores médios mínimos e máximos ao longo do período, sendo a média, o valor médio mensal.

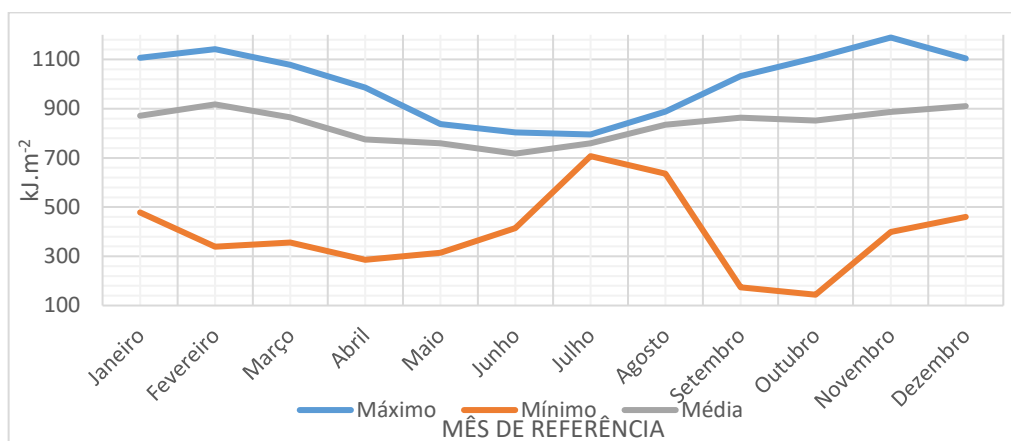


Figura 13: Radiação Solar difusa para cidade de Rio Verde – GO/ INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Fonte: Elaborado pelo Autor, com base no INMET

Avaliando a figura, observa-se que apesar dos menores valores ao longo do ano em radiação, nota-se que o efeito da nebulosidade é menor entre os meses de junho e agosto, isso se dá porque há um menor valor de nuvens em décimos de uma fração da abobada terrestre, sem os presentes efeitos atmosféricos a eficiência de sistemas PV é melhor. Isso confirma a afirmação de Souza et al. (2011) que fala a respeito da quantidade de energia disponível (saldo de radiação) que é utilizada nos processos de evapotranspiração, fotossíntese e aquecimento do ar e do solo, em outras palavras, a evapotranspiração é diretamente proporcional à disponibilidade de energia solar e ao saldo de radiação.

A variação da quantidade de vapor d'água na atmosfera local normalmente está relacionada com a nebulosidade e influencia diretamente o balanço de ondas curtas e ondas longas que, por sua vez, altera o saldo de radiação. Para Fietz & Fisch (2009), a forma de obtenção do saldo de radiação e a variação da nebulosidade podem afetar a evapotranspiração diária.

5.2 Levantamento de dados das grandezas meteorológicas da região

Para entendimento das grandezas meteorológicas que influenciam na radiação solar, é necessário identificar algumas definições em relação aos componentes que influenciam na radiação e irradiação solar.

Dentre eles observa-se a Temperatura, umidade do ar, velocidade e sentido dos ventos, pressão atmosférica e índice de dispersão da radiação.

Nas figuras 14 a 16, são apresentados valores diários de acordo com as leituras da estação micrometeorológica da cidade de Rio Verde – GO, na qual foi atribuída uma média histórica de 10 anos para valores mensais respectivamente para as grandezas temperatura, umidade do ar e pressão atmosférica.

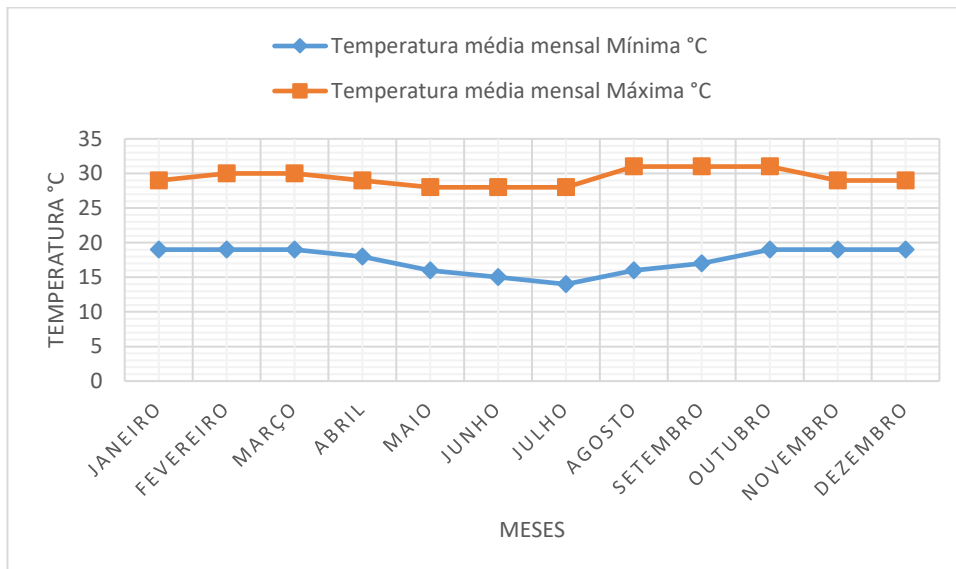


Figura 14: Temperatura média mínima e máxima mensal para cidade de Rio Verde – GO.

Fonte: Elaborado pelo Autor, com base no INMET

Observa-se que a média da temperatura está em uma faixa entre os 20°C (mínima) e 30 °C (máxima), tendo um certo padrão e pouca variância. Diante do exposto, acredita-se que com o certo padrão em relação a tal grandeza, o aproveitamento se torna uniforme. A temperatura em si, contribui para a determinação do albedo, que segundo Leitão et al (2002) é um parâmetro muito importante no balanço de radiação de uma superfície e bastante utilizado em modelos climáticos e agrometeorológicos. Geralmente as estações meteorológicas levam em consideração o presente dado para obter estimativas do fluxo de vapor d'água e do saldo de radiação, dentre outros. No presente trabalho ele não foi estimado, uma vez que a temperatura está diretamente condicionada ao albedo, em outras palavras, superfícies atingem

temperaturas mais baixas com um alto emissividade do albedo expostas à Radiação Solar, reduzindo a transferência de calor para o ar em seu entorno (FERREIRA et al. 2003).

Além disso, a temperatura em elevados valores contribui na redução de eficiência de painéis fotovoltaicos, Oliveira et al. (2017) afirmam se o local do projeto apresentar temperaturas elevadas (acima de 35°C) medidas mitigatórias devem ser levadas em consideração na fase de implantação dos sistemas, como módulos FV de baixo coeficientes de temperatura.

Dando seguimento ao desenvolvimento do trabalho, outro fator importante para determinação de efeitos atenuantes atmosféricos em função da radiação solar é a umidade do ar, em conjunto com a temperatura e o ponto de orvalho, uma vez que a fração de radiação que chega à superfície depende das condições atmosféricas locais, as quais caracterizam a transmitância atmosférica para a radiação de ondas curtas (BORGES et al. 2010).

A Figura 15 a seguir, representa a umidade do ar e sua variação ao longo do ano de 2019.

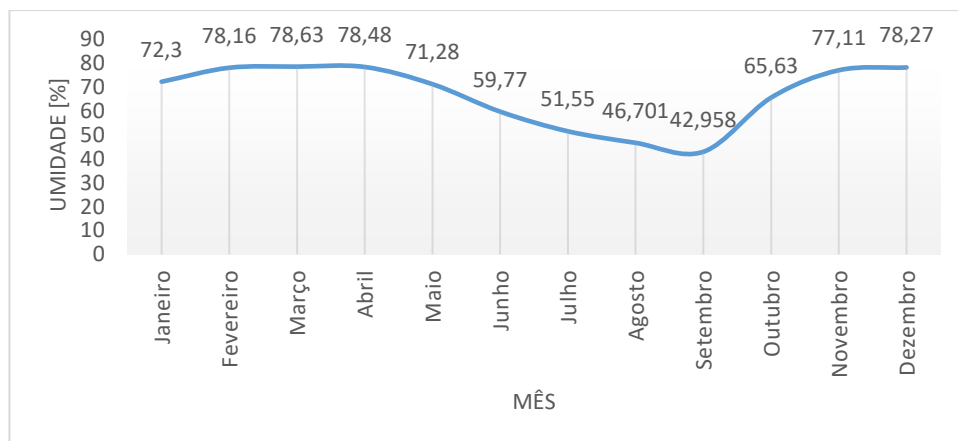


Figura 15 - Umidade relativa média mensal da cidade de Rio Verde - GO.

Fonte: Fonte: Elaborado pelo Autor, com base no INMET.

Observa-se no gráfico que a umidade do ar variou entre as mínimas de 40% e máximas a 80%. Quanto maior a umidade relativamente do ar, maior é o aumento do ponto de orvalho e geração de partículas dispersas na atmosfera agregando no aumento da nebulosidade e consequentemente na dispersão da radiação solar. Nota-se que as mínimas são expostas nos meses de junho a setembro.

Já a pressão atmosférica para o ano de 2019 na cidade apresentou uma variação de 1% segundo as informações fornecidas pelo INMET (Figura 16), com uma média de 927,63 hPa sendo atribuído pelo fator relevo.

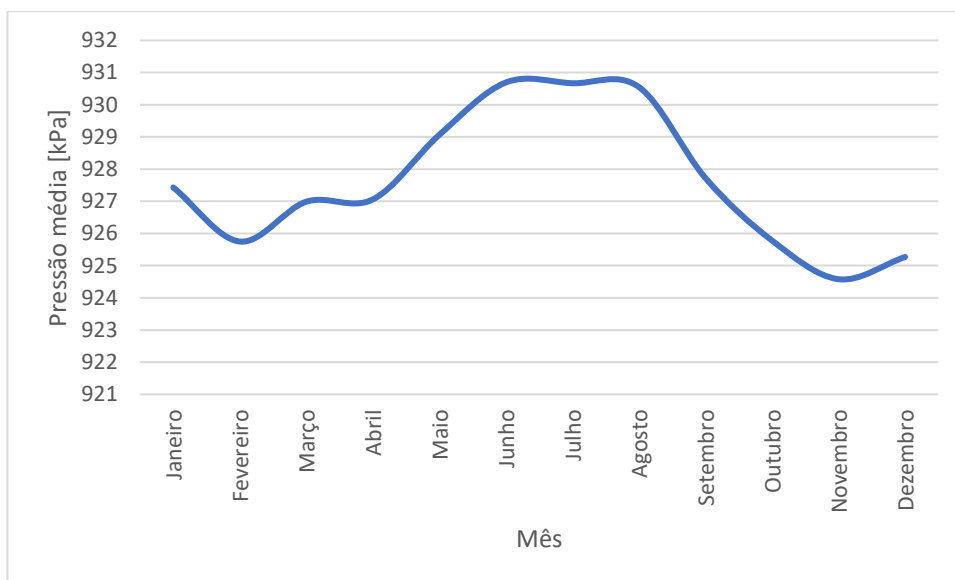


Figura 16 - Média mensal pressão atmosférica.

Fonte: Fonte: Elaborado pelo Autor, com base no INMET

A presente variação de pressão para a topografia local, não irá interferir em grande escala no aproveitamento efetivo da radiação solar para sistemas FV, no entanto, Frontin et al (2017) salienta que o local em si de instalações para painéis fotovoltaicos devem estar livres de depressões e com pressões constantes, uma vez que a variação da pressão deve estar em uma faixa de 3%.

É importante a constância do clima para a região de implantação para os presentes sistemas, Oliveira et al. (2017) ainda afirma que o clima não deve possuir variações bruscas que possam aumentar o risco de danificar os equipamentos. Por tanto, quanto maior estável as condições climáticas como apresenta a cidade, melhor aproveitamento por partes das placas solares e prolongação da vida útil do sistema como um todo.

5.3 Avaliação do aproveitamento dos tipos de radiação solar durante um dia

Para apresentação do presente tópico, é fundamental a realização de uma análise de dados históricos que foram citados ao longo da metodologia do presente trabalho, e em seguida realizada um cálculo médio de acordo com as horas de insolação da região estudada.

A avaliação dos tipos de radiação é apresentada de acordo com a relação ao período de aproveitamento da energia oriunda do Sol, a energia total que chega à atmosfera do planeta sem que haja algum tipo de interferência ou desvios é chamada de radiação solar global, cuja

é destrinchada em radiação difusa (onde ocorre um espalhamento por parte da nebulosidade e efeitos atenuantes) e a radiação direta (total incidido na superfície terrestre).

A Figura 17 apresenta a variação da radiação calculada seguindo um modelo proposto por Ferreira et al. (2003), verifica-se a curva da mesma sem o efeito da nebulosidade na cidade de Rio Verde - GO, cujo pico é apresentado na faixa dos 1.000 kJ.m^{-2} .

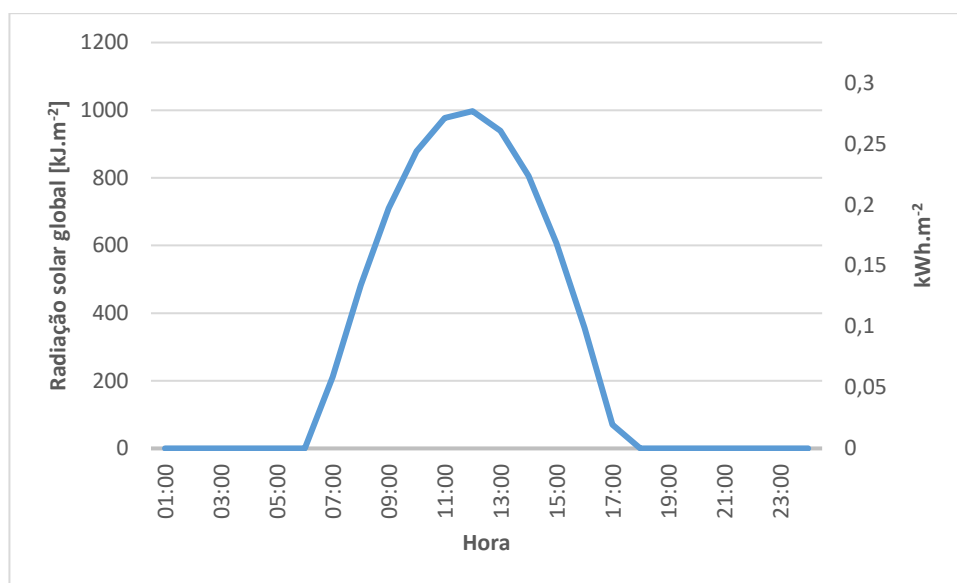


Figura 17 - Radiação calculada da cidade Rio Verde - GO

Fonte: Fonte: Elaborado pelo Autor, com base no INMET

De acordo com Lima et al (2020), tipicamente, um ponto qualquer na superfície do nosso planeta recebe do Sol uma densidade de potência de aproximadamente 1.000 W.m^{-2} , nos momentos de maior iluminação. Salienta-se que a presente curva é relacionada a uma média geral dos dados obtidos em uma escala histórica, atribuídos em uma análise horária de acordo com a declividade em relação ao ângulo azimutal das coordenadas apontadas. Observa-se ainda o eixo a conversão em kWh.m^{-2} que compreende a presente radiação solar.

Na Figura 18, é apresentada a radiação global média histórica ao longo de um ano, atribuindo um eixo convertido em kWh.m^{-2} para efeito comparativo.

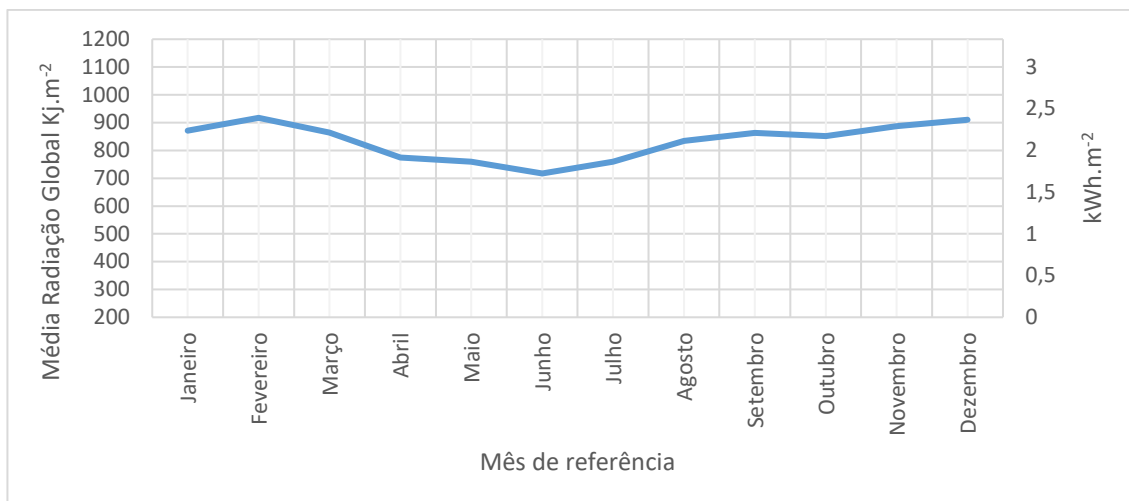


Figura 18 - Média histórica (10 anos) radiação global Rio Verde – GO.

Fonte: Fonte: Elaborado pelo Autor, com base no INMET

A produção média mensal é equivalente à 834 kJ.m^{-2} convertendo o valor, se tem uma produção de energia de $0,231 \text{ kWh.m}^2$ (Ver **Tabela 3**), o presente valor está relacionado com leituras atribuídas pelo INMET para a cidade de Rio Verde.

	kJ.m^{-2}	Ws.m^2	Wh.m^2	kWh.m^2
Kj/m^2	1	1000	0,27778	0,000277
	834	834000	231,66	0,231

Tabela 3 - Conversão de valores

Fonte: Autor.

5.4 Avaliação do modelo de estudo para a mensuração anual da nebulosidade na região.

Segundo Varejão (2001) A nebulosidade é indicada em oitavos ou décimos de céu encoberto, devendo-se esclarecer qual das duas escalas está sendo usada, neste caso em particular usa-se em décimos. Nebulosidade de 5/10 (cinco décimos) ou 0,5 corresponde à metade da abóboda celeste encoberta. O valor zero indica que nenhuma nuvem foi detecta no momento da observação e 1 (10/10) representa a totalidade da abóboda encoberta.

Durante as noites enluaradas uma estimativa razoável da nebulosidade pode ser obtida pelo mesmo processo. Não havendo o auxílio da luz refletida por algum satélite em questão, as áreas sem cobertura de nuvens são estimadas levando-se em conta as estrelas visíveis, desde que a transparência da atmosfera o permita.

Portanto, para a estimativa da nebulosidade, é avaliado mensalmente as condições climáticas da presente região estudada, no caso, a cidade de Rio Verde – GO, verificando as cartas obtidas via satélite, ao longo de um ano conferindo as estações para cidade em espaços variados com a presença de nuvens, sendo esta, estimada visualmente, imaginando-se todas as nuvens arrumadas juntas e arbitrando-se, aproximadamente, a fração do céu que isso representa. Quando há muitas nuvens presentes é preferível imaginar a fração que seria ocupada pelos espaços não cobertos, caso fossem hipoteticamente agrupados em uma única área. A partir dessas informações é possível obter a nebulosidade média terrestre representados Figura 19.

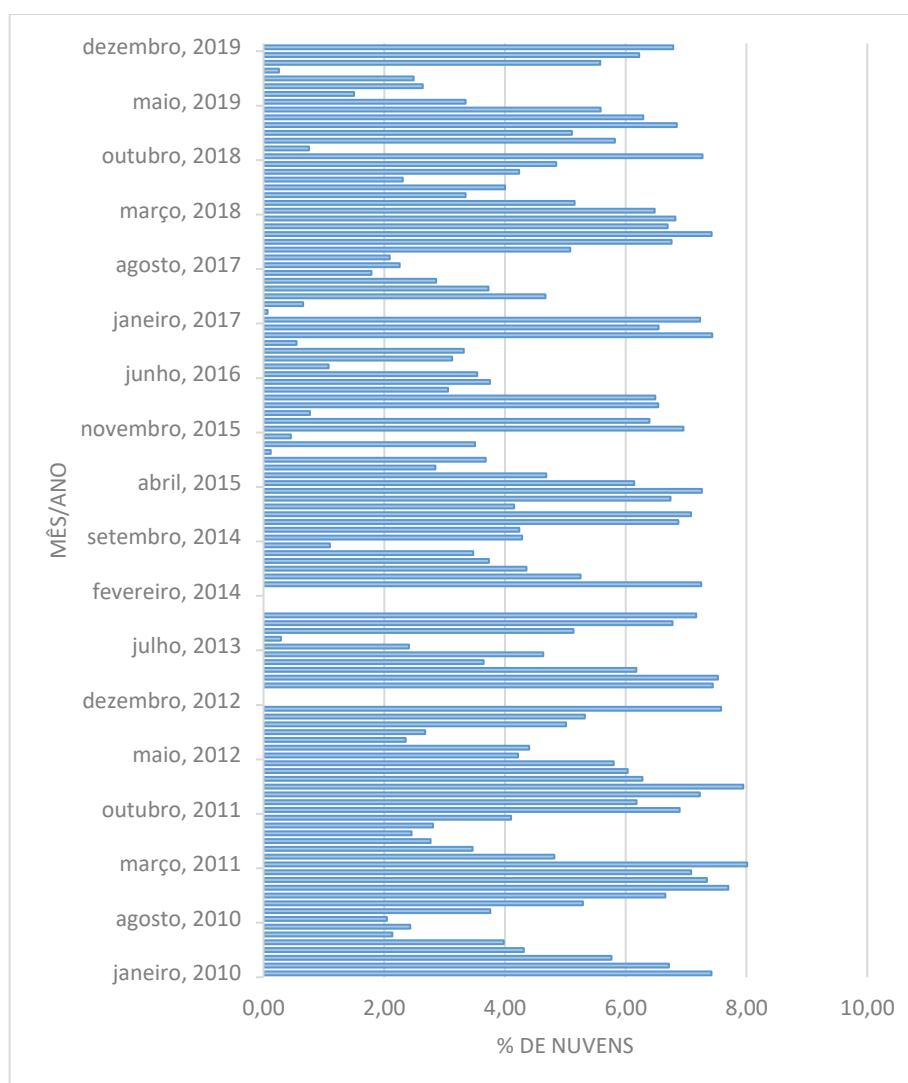


Figura 19 - Percentual médio em % de décimos de nuvens em relação a abobada terrestre/ Rio Verde - GO

Fonte: Fonte: Elaborado pelo Autor, com base no INMET.

A nebulosidade é expressa em % sobre a cobertura máxima da nuvem. A nebulosidade é frequentemente agrupada em classes de 0-25%, 25-50%, seguindo uma certa sequência de leitura.

Zero por cento significa que não há nenhuma nuvem visível no céu. Cinquenta por cento é equivalente à cobertura de nuvens de metade do céu. Cem por cento de cobertura de nuvens significa que céu limpo não é visível. Se a cobertura de nuvens em várias camadas é de cinquenta por cento, apenas uma baixa percentagem do céu será visível. Em outras palavras, é verificado uma área (m^2), a quantidade de nuvens dentro do presente espaço (%) sendo esta, a nebulosidade apresentada em 1 m^2 . Os presentes valores são obtidos das estações micrometeorológicas e lidos diariamente em um intervalo de 4 horas.

As percentagens são calculadas como parte integrante do período de previsão anterior. Variações durante esse período são feitas em média. Observa-se então, valores abaixo dos 8%, podendo afirmar que ao longo do ano, a cidade apresenta na maioria das vezes céu claro com baixa interferência da nebulosidade, o que é fundamental para sistemas fotovoltaicos.

5.5 Implementação do modelo de nebulosidade no município de Rio Verde.

O modelo de nebulosidade implementado consiste em um estudo adaptado realizado por Varejão (2001) e Pereira et al. (2006), uma vez que é levado em consideração os fatores locais, considerando os dados obtidos pelo BDMEP, que consiste em dados extraídos de satélites, com um pico máximo de 10 % em m^2 .

Executando analiticamente alguns fatores que contribuem para a nebulosidade, uma vez que se tem a insolação e a duração do dia (razão de insolação) em função da radiação global calculada (RG), obtém-se um valor aproximado de 11,5% em m^2 , sendo este o efeito em horas do período em um dia.

Portanto, os valores apresentados pelos satélites do INMET juntamente com a metodologia apresentada por Pereira et al. (2006) apresentam uma semelhança de informações, comprovando o modelo utilizado no presente trabalho.

A curva da nebulosidade deve ser feita diariamente, para isso foi recolhido ao longo de um período de 10 anos dados diários de insolação e supondo que o período de um dia foi de 12 horas do nascer do sol ao crepúsculo (6 h a 18 h). Para isso, é recolhido um dia aleatório. Nesse caso foi utilizado o dia 13 de janeiro de 2020 para efeito comparativo e esboçado graficamente (Figura 20).

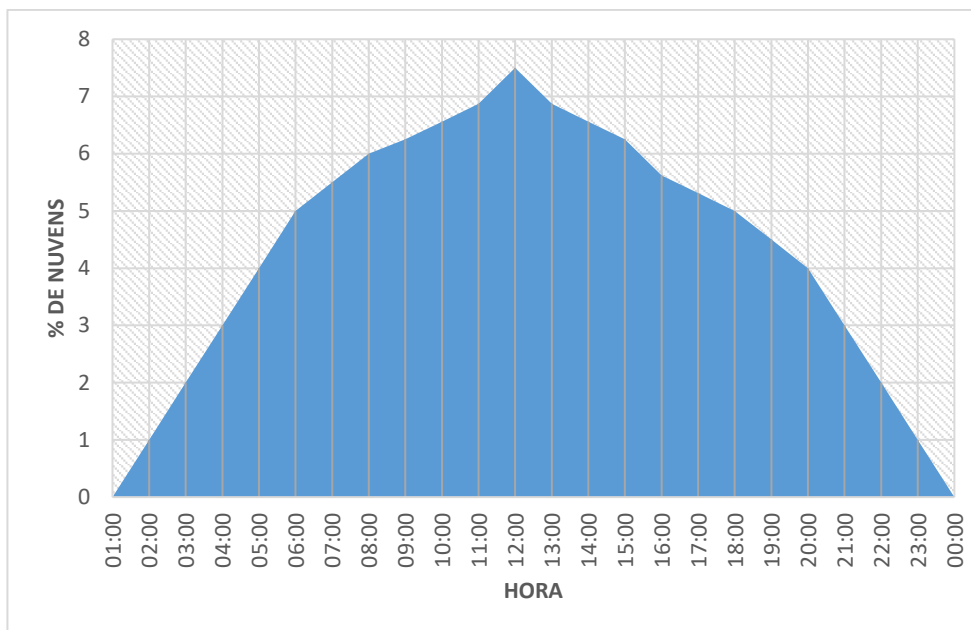


Figura 20 - Curva da nebulosidade 13/01/2020 – Rio Verde -GO.

Fonte: Fonte: Elaborado pelo Autor, com base no INMET

Como as estações micrometeorológicas apresentam valores da nebulosidade em um intervalo de 4 horas, foi realizado uma interpolação para os valores lidos, atribuindo ao longo do dia. No presente caso, foi avaliado um dia de um mês específico que apresenta uma grande quantidade de nuvens, dependendo da sazonalidade, terá meses com céu totalmente livre de nuvens como é o caso de junho a agosto, porém com uma baixa radiação solar.

À medida que o sol incide diretamente em um ângulo sobre uma superfície formando um ângulo z com a normal a esta superfície, a irradiância sobre a superfície considerada será o produto da irradiância na superfície normal aos raios pelo cosseno do ângulo de incidência, como descreve a Lei de Planck da radiação, incorporada a leitura de satélites. Em outras palavras, quando o ângulo de incidência do sol forma uma posição perpendicular em uma determinada área, a leitura do satélite apresentará uma melhor eficiência. Diante do exposto, no presente dia, a nebulosidade apresentou um pico de 7,5% de décimos de nuvens às 12 horas como foi observado na Figura 20.

5.6 Avaliação da produção de energia elétrica de um sistema fotovoltaico na região estudada.

Com o sistema em si instalado e apropriado parte-se para as leituras, e com o apoio da AUTOMASOL, foram fornecidos dados de consumo do sistema instalado e que foram

computadas a partir de setembro de 2019, a Figura 21 demonstra a potência gerada mensalmente pelo sistema.

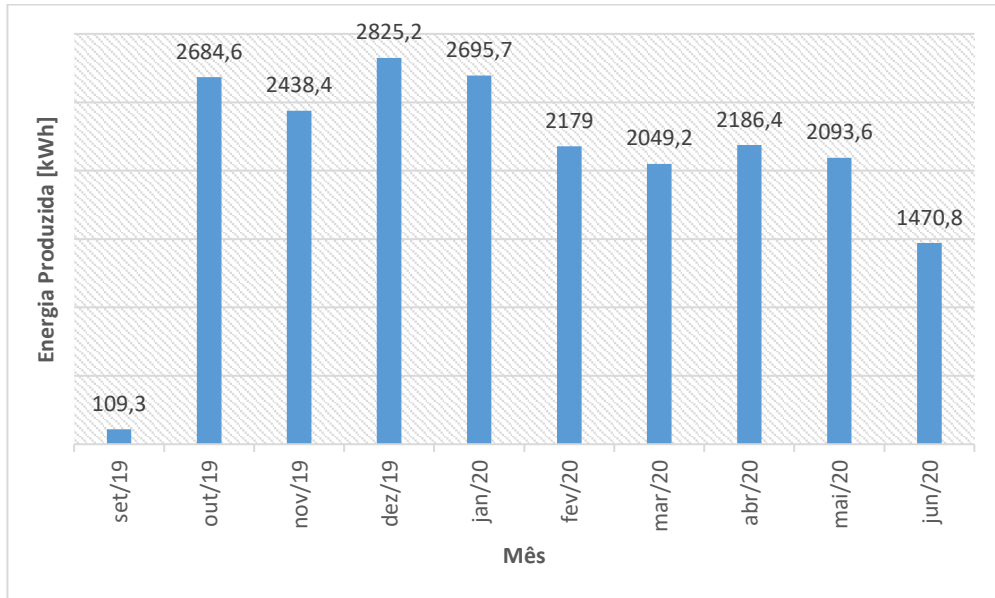


Figura 21: Rendimento mensal em kWh.

Fonte: Fonte: Elaborado pelo Autor, com base na Automasol

No presente trabalho, foram observados os meses de janeiro/2020 e junho/2020 para critério de avaliação do efeito da nebulosidade no presente sistema, diante do exposto, a Figura 22 e a Figura 23 demonstram o potencial gerado em kWh diário.

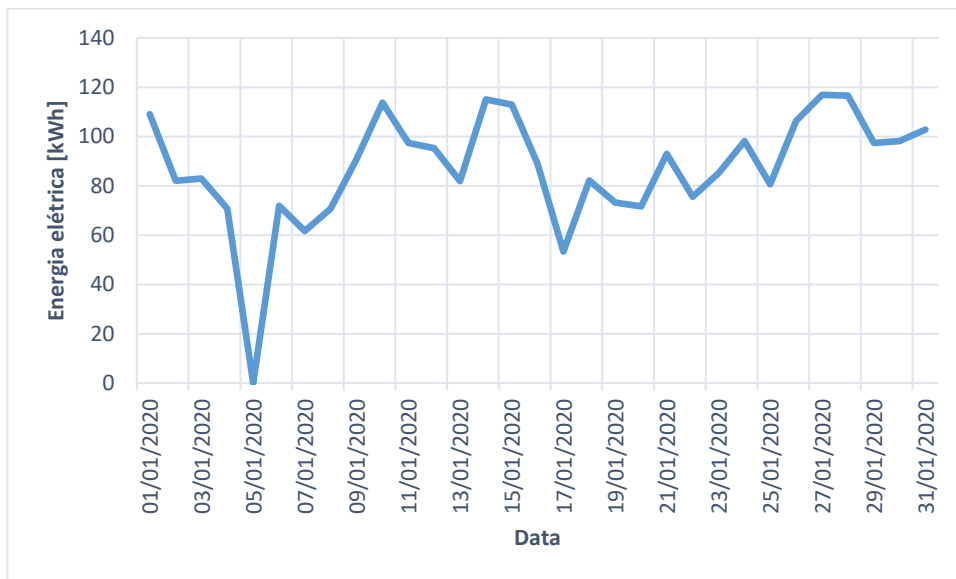


Figura 22 - Energia elétrica diária em kWh – janeiro/2020

Fonte: Fonte: Elaborado pelo Autor, com base na Automasol.

Nota-se que a Figura 22 apresenta o dia 05/01/2020 com geração em 0, correspondendo a uma falha de leitura por parte da empresa responsável pelo controle de geração.

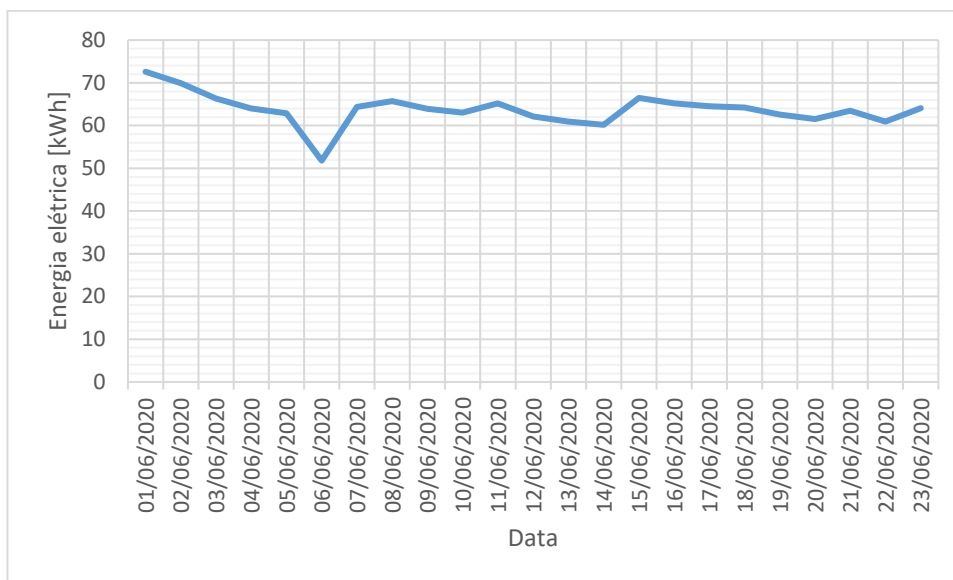


Figura 23 - Energia elétrica diária produzida em kWh – junho/2020.

Fonte: Fonte: Elaborado pelo Autor, com base na Automasol

Observa-se uma diferença gradual em relação ao kWh produzido por dia, no caso da comparação entre o mês de janeiro e junho (meses avaliados como melhor e pior mês de desempenho respectivamente) se tem uma eficiência de 54,5% melhor para o mês de janeiro em relação ao mês de junho conciliando com os efeitos das grandezas meteorológicas apresentadas ao longo da metodologia do presente trabalho, uma vez, que há uma baixa eficiência nos períodos entre junho à agosto.

Em outras palavras, a radiação solar nos presentes meses se dá pelo fator temperatura ser baixa referente a sazonalidade na época do ano na cidade, sendo estas ocasionadas por fenômenos climáticos, cujas massas de ar fria oriundas do Sul, ficam estacionadas na região, podendo apresentar temperatura mínimas de 8 a 14°C em alguns dias durante esse período.

5.7 Correlação das informações meteorológicas e de nebulosidade da região com a produção de energia elétrica.

Para a apresentação da curva de produção de energia elétrica correlacionada com as condições climáticas dos efeitos atenuantes atmosféricos (nebulosidade) em função da radiação e o impacto que apresenta no sistema implantado, foi selecionado 2 dias dos meses

de janeiro e junho de 2020 do sistema em questão, verificando a curva de produção de energia elétrica em um cenário de pior e melhor aproveitamento. Dentro de cada mês foram escolhidos os melhores e os piores dias em relação ao aproveitamento da radiação solar global em relação a nebulosidade.

A Tabela 4 e a Figura 24 apresentam a curva da geração da energia elétrica em função da radiação global e nebulosidade dentro dos dias selecionado.

Hora	Melhor dia janeiro 10/01/2020	Pior dia Janeiro 13/01/2020	Melhor dia Junho 17/06/2020	Pior dia Junho 21/06/2020
01:00	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0
07:00	35,27832031	74,87792969	0	0
08:00	133,3984375	116,9433594	2,719163895	45,80283065
09:00	395,9716797	272,8515625	180,2734375	182,8696925
10:00	585,546875	522,3876953	341,2353516	329,6242069
11:00	729,6386719	412,5	432,1044922	410,5173255
12:00	790,6494141	388,7207031	497,0947266	471,3762811
13:00	824,6826172	622,4121094	521,8261719	483,3333333
14:00	619,6777344	285,4248047	500,6835938	451,000488
15:00	517,6757813	280,7373047	500,6835938	374,3533431
16:00	565,2587891	167,5048828	388,0126953	274,6461689
17:00	351,6113281	94,45800781	270,0683594	76,35431918
18:00	167,7246094	23,68164063	91,23535156	0
19:00	16,35742188	7,51953125	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0

Tabela 4: kWh produzido pelo sistema.

Fonte: Autor, baseado em Varejão Silva (2002)

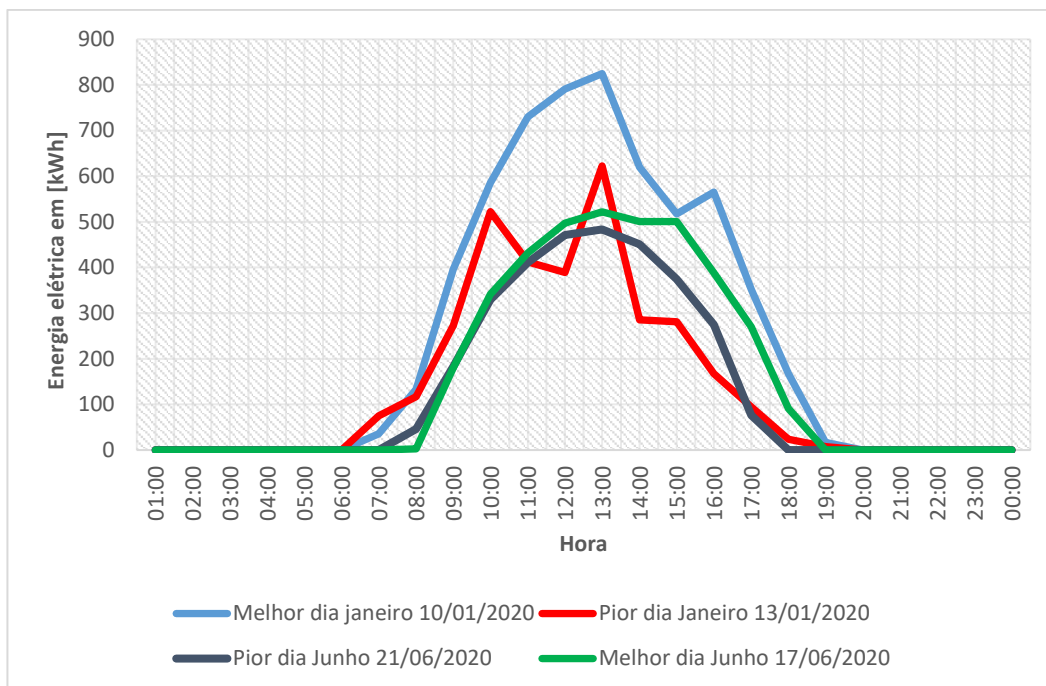


Figura 24 -Relação melhor/pior dia no aproveitamento da radiação solar global na geração de energia elétrica.

Fonte: Fonte: Elaborado pelo Autor, com base na Automasol

Em janeiro nota-se um bom aproveitamento da radiação solar global apesar dos efeitos correlacionados a nebulosidade na cidade, verificando que a influência dela no dia 13/01 foi maior, equivalendo a dias de céu limpo e de boa eficiência comparado aos dias avaliados do mês de junho/2020. Nota-se ainda, que há geração de energia elétrica até as 19h no mês de janeiro, que é explicada devido a atribuição do calor por parte dos painéis, o que mascara a leitura real em relação ao período de insolação do dia. Em outras palavras, as variações de produção de energia elétrica (kWh) pelos painéis fotovoltaicos, se deveu provavelmente a períodos instantâneos de instabilidade atmosférico verificado no local da instalação do sistema fotovoltaico.

Já Costa et al. (2016) atribui as perdas nesses sistemas a poeiras e sujidades acumuladas nas estruturas das placas, ele ainda cita o caso de centros urbanos, onde é notável a composição de carbono, devido às emissões dos veículos automotivos, apresentando uma textura semelhante a uma graxa, aderindo sobre a superfície do módulo. Misturadas a umidade e condições da temperatura, essa poeira pode cimentar em cima das placas, formando uma crosta nas mesmas, dificultando a possibilidade de higienização.

Na **Tabela 5** foram apresentados os dados de radiação global em conjunto com a porcentagem de nebulosidade (%) para uma fração de uma área para os dias avaliados no presente trabalho.

Hora	Melhor dia em aproveitamento (10/01/2020)		Pior dia em aproveitamento (13/01/2020)		Melhor dia em aproveitamento (17/06/2020)		Pior dia em aproveitamento (21/06/2020)	
	Radiação Global [W/h]	Nebulosidade [%]	Radiação Global [W/h]	Nebulosidade [%]	Radiação Global [W/h]	Nebulosidade [%]	Radiação Global [W/h]	Nebulosidade [%]
01:00	0,0	6,2	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0
02:00	0,0	6,4	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0
03:00	0,0	6,6	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0
04:00	0,0	6,8	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0
05:00	0,0	6,9	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0
06:00	57,3	7,0	54,7	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
07:00	146,6	7,5	144,3	5,5	60,0	0,0	58,7	0,0
08:00	228,9	7,5	227,1	6,0	135,3	0,0	134,1	0,0
09:00	298,6	7,5	297,2	6,3	198,3	0,0	197,3	0,0
10:00	350,9	7,5	350,1	6,6	244,9	0,0	244,1	0,0
11:00	382,3	7,5	382,0	6,9	271,8	0,0	271,3	0,0
12:00	390,6	7,5	390,8	7,5	277,2	0,0	277,0	0,0
13:00	375,4	7,5	375,9	6,9	260,7	0,0	260,8	0,0
14:00	337,5	7,5	338,3	6,6	223,4	0,0	223,9	0,0
15:00	279,6	7,5	280,6	6,3	168,0	0,0	168,7	0,0
16:00	205,7	6,9	206,7	5,6	98,1	0,0	99,0	0,0
17:00	120,7	6,6	121,7	5,3	18,5	0,0	19,6	0,0
18:00	30,5	6,3	31,3	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19:00	0,0	6,1	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0
20:00	0,0	6,0	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0
21:00	0,0	5,9	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0
22:00	0,0	5,8	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0
23:00	0,0	5,7	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0
00:00	0,0	5,6	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 5: Verificação da Radiação Global em relação a nebulosidade.

Fonte: Elaborado pelo Autor, com base no INMET.

Para efeito comparativo, foi avaliado os meses que apresentaram influência das grandezas climáticas. O mês de junho apresentava um bom aproveitamento da radiação solar global no período, devido a nebulosidade que segundo os dados do INMET, foi verificada como nula. No entanto, a radiação aproveitada, comparada aos dias avaliados do mês de janeiro é baixa, isso se dá, devido a temperatura nos meses de junho, julho, agosto para a cidade serem inferiores. Isso prova a teoria de Araújo (2005) e Silva et al., (1999) que afirmam que a nessa situação, onde variando a quantidade de radiação solar incidente, podem-se obter condições ambientais diferenciadas e, por conseguinte, promover alteração nos demais processos. Outros autores como Fisch (2017) atribuem a baixa eficiência dos painéis

comercializados relativamente baixa, entre 12,5% a 15,8%, na qual justifica-se por alguns fatores, como limitações do material semicondutor e o efeito da temperatura que reduz a potência fornecida pelo sistema.

Para se ter uma base considerando outras formas de aproveitamento da presente tecnologia, Häberlin (2010) afirma que o valor médio para a Suíça desta energia (térmica) primária fica entre 1000 e 1400 kWh/m² ao, no entanto Ferroni & Hopkirk (2016) pontua que há uma certa derivação de valores da irradiação em países Europeus, uma vez que no desempenho das célula solar fotovoltaicas, devido à presença, de acúmulos de poeira, fungos e fezes de pássaros, a danos na superfície, envelhecimento e desgaste e, finalmente, devido a fenômenos atmosféricos como neve, geada e umidade de condensação, minimizam o aproveitamento da tecnologia. Logicamente em comparação com o clima tropical brasileiro, há uma divergência em relação ao clima, mas os desgastes estruturais e atenuantes presentes na atmosfera além de perdas da radiação, comprometem a eficiência dos painéis solar fotovoltaicos.

Santos & Da Cunha (2020) comprovam que efeitos de sombreamento e intempéries por parte dos painéis pode diminuir consideravelmente a sua eficiência de 23,7% para 14,1% no período de 3 meses, no entanto o mesmo autor pontua que é possível aumentar a eficiência da tecnologia, controlando os fatores de manutenção, aumentando o aproveitamento médio por volta de 6,85%.

Com vastos estudos aplicados ao aproveitamento energético da presente tecnologia, uma média padrão em termos de eficiência é de 143 Wp/m², cujo Woodhouse et al. (2019) aplica esse valor como uma média global se tratando de sistemas solar fotovoltaicos.

Os efeitos diretos que a incidência diferenciada da radiação solar causa na superfície do solo podem ser constatados através da determinação da temperatura e umidade deste (SANTOS et al., 2009), nesse sentido, a radiação verificada a sazonalidade influencia na temperatura, sendo esta, relativamente proporcional à radiação solar global, por mais que não há quantidade de nuvens significativas em uma fração de espaço, justificando a baixa geração de energia elétrica no mês de junho em relação ao mês de janeiro. O Santos et al. 2009, ainda atribui essa relação devido as horas de insolação de um dia em períodos de maio-setembro para cidades do centro-oeste brasileiro.

6 CONCLUSÃO

Portanto, afirma-se que na cidade de Rio Verde - GO, os efeitos atenuantes atmosféricos no aproveitamento da radiação solar para sistemas fotovoltaicos são considerados variáveis, uma vez que o aproveitamento é compreendido de forma eficaz considerando a sazonalidade, a queda da eficiência no aproveitamento da radiação solar se dá em função de horas de insolação, por mais que a localidade esteja próxima da linha do Equador.

Embora seja reconhecido a influência da nebulosidade na radiação a nível do solo e consequentemente na geração de energia solar fotovoltaica, o modelo de nebulosidade utilizado apresentou uma boa resposta, quando comparado com as informações da estação meteorológicas, outro fator avaliado é a distância entre a instalação fotovoltaica e o local da estação, onde não foi possível estabelecer uma correlação adequada entre o kWh produzido e os efeitos da nebulosidade. Acredita-se que essa diferença na localidade pode ter sido distinta, impactando nos resultados.

Contudo, é necessário a aplicação de outros modelos de estudos para eventuais pesquisas para a região, ampliando a gama de resultados e que realize a medição da radiação no local de instalação. Além dos efeitos da nebulosidade, um efeito extremamente influenciador na variação da radiação/kWh produzido entre os períodos de verão e inverno, está relacionado com a variação da posição relativa entre Terra e Sol, e consequentemente na variação do ângulo de incidência da radiação solar em contato com o plano horizontal (a nível do solo) e em relação a região em que o sistema fotovoltaico se encontra instalado.

Diante do exposto, por mais que há uma queda do aproveitamento em uma época do ano e há meses que elevados índices de nebulosidade impactam, isso dependerá do quanto um sistema está exposto a radiação solar, localidade, angulação das placas, excesso de sujidade nas instalações e clima, sendo estes fatores contribuintes para implantação da presente tecnologia na cidade para a cidade, o que torna, a presente tecnologia viável para implantação sem setores residenciais, industriais e comercio.

Para sistemas cujos painéis solares se encontram fixos e apresentam eficiência de geração razoáveis, é aconselhável a implantação de seguidores solares (Sistemas Tracking) que apesar de ser apenas uma realidade em usinas e financeiramente inviável para residências, há mercado para melhorias em busca da máxima eficiência.

Manutenções e higienizações de todos os componentes também são extremamente importantes, pois aumentam a longevidade e funcionamento dos equipamentos. Excesso de

poeiras, respingos de águas de chuva e vetores, impossibilitam que os equipamentos tenham ótima eficiência, por tanto, é necessário uma periodização e planejamento de manutenções preventivas, geralmente este tipo de atividade são oferecidos pelas empresas que contemplam a instalação, contudo, é um fator que afeta o longo prazo, o que não tira a recomendação de implantação da tecnologia na região.

As energias renováveis em geral irão virar tendência nos próximos anos, e avaliando o período que estão presentes na vida das pessoas, é observável uma evolução quanto a tecnologia das mesmas e acredita-se que apesar do alto custo de implantação, ainda se torna viável.

Perspectivas futuras visam uma redução de custo significativos e cientistas e pesquisadores apontam que a oferta e demanda da utilização de tecnologias renováveis em especial a Solar fotovoltaica, estarão ainda mais acessíveis, sendo um investimento até mais viável do que investimentos em renda fixa como ao tesouro direto.

Isso compreende num resultado de economia de gastos e incentivando a população a utilizar meios que não prejudicam de maneira significativa o meio ambiente, onde a sustentabilidade que hoje é uma pauta cobrada em reuniões globais, constroem uma sociedade que visa as energias renováveis como estilo de vida.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. E. R. *et al.* Balanço de radiação através do satélite Landsat-8 na bacia do Rio Pajeú. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 33, p. 117-127, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Matriz Energética. 2019

ANTONIOLLI, A. F. *et al.* Análise de serviço de energia solar fotovoltaica compartilhada no Brasil. **Revista Empreender e Inovar**, v. 1, n. 1, p. 104-116, 2018.

ARAÚJO, K. D. Variabilidade temporal das condições climáticas sobre as perdas de CO₂ na encosta do açude Namorados, em São João do Cariri-PB. 101f. **Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e Água) – Centro de Ciências Agrárias**, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2005.

BARBOSA, M. A. C. ANÁLISE DO DESEMPENHO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS E O SEU IMPACTO NA EDIFICAÇÃO: UM ESTUDO EM PALMAS-TO. 2018.

BARCELOS, C. S. *et al.* LEVANTAMENTO PLUVIOMÉTRICO DO MUNICÍPIO DE RIO VERDE-GO. In: **Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar**. 2019.

BARROS, J. R.; BALERO, J. C. S. A Influência do clima e do tempo do Centro-Oeste do Brasil nas condições de voo na região. **Élisée Rev. Geo.**, Anápolis-GO, v. 1, n. 2, p. 25-49. 2012.

BORGES, A. C. P. *et al.* Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. **REDE-Revista Eletrônica do Prodema**, v. 10, n. 2, 2017.

BORGES, V.P. *et al.* Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG, v.14, n.1, p.74–80, 2010.

CASTELHANO, F. J.; PINHEIRO, G. M.; ROSEGHINI, W. F. F. Correlação entre precipitação estimada por satélite e dados de superfície para aplicação em estudos climatológicos. **Geosul**, Florianópolis, v. 32, n. 64, p. 179-192. 2017

CORRÊA, J. F. *et al.* Energias Renováveis: Uma Realidade Possível. **Revista Viver IFRS**, v. 8, n. 8, 2020.

COSTA, A. C. *et al.* ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: UMA ALTERNATIVA VIÁVEL?. **Anais do Seminário Científico do UNIFACIG**, n. 5, 2019.

COSTA, S. *et al.* Caracterização físico-química da sujidade depositada sobre módulos fotovoltaicos instalados em zonas climáticas de Minas Gerais. In: **VI Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Belo Horizonte. 2016.

DA CRUZ, Y. P.; GOMES, R. L.; CERQUEIRA, A. H. Análise de dados históricos de radiação solar acumulada coletados pela PCD de Ilhéus-BA. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 2582-2587, 2017.

DA ROSA, A. R. O.; GASPARIN, F. P. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 7, n. 2, p. 140-147, 2016.

DAVID, T. M. Identificação de aspectos potenciais para gestão de sistemas solares fotovoltaicos em residências. 2020.

DE OLIVEIRA, E. G. C. *et al.* Conceitos básicos de sistemas solares fotovoltaicos. **CIENTEC-Revista de Ciência, Tecnologia e Humanidades do IFPE**, v. 9, n. 3, 2018.

DE CASTRO A. F., A.; SILVA, S. R.; MARTINEZ, C. B. GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS–GPT AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE E DA TEMPERATURA NO FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS.XVI SNPTEE – Seminário Nacional de Produção de e Transmissão de Energia Elétrica. Campinas – SP, 2001.

DOS SANTOS, D. M. et al. Variabilidade temporal da radiação solar e insolação no Município de Araguaína-TO. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 18, 2009.

EIFLER NETO, E. E. **Estudo da complementariedade entre disponibilidades de energia hídrica e eólica na região nordeste do Brasil**. Monografia. 2012. 92 f. Bacharelado em Engenharia Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FERREIRA, F. L. et al. Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios. 2003.

FERREIRA, M. H. M.; BARCELOS, M. C. S. Desenvolvimento de um Heliostato com Sistema de Controle de Posicionamento Utilizando Arduino. 2017

FERRONI, F.; HOPKIRK, R. J. Energy Return on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation. **Energy Policy**, v. 94, p. 336-344, 2016.

FIETZ, C.R.; FISCH, G.F. Avaliação de modelos de estimativa do saldo de radiação e do método de Priestley-Taylor para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.449-453, 2009.

FISCH, L. B. K. et al. Modelagem Matemática do Comportamento Dinâmico de um Painel Fotovoltaico por meio da Identificação de Sistemas. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 5, n. 1, 2017.

FRONTIN, S. de O. et al. Usina fotovoltaica Jaíba Solar–Planejamento e Engenharia. **Brasília, Teixeira Gráfica e Editora Ltda**, p. 532, 2017.

FURQUIM, J. P. C.; GASPAR, G. A. M. G. COMPARAÇÃO ENTRE ENERGIA SOLAR TÉRMICA E ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: Estudo de caso em uma residência na cidade de São Lourenço-MG, 2020.

GERMANOS, R. A. C. *et al.* Inversores de Potência: Conceitos teóricos e demonstração experimental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020.

GIDDINGS, S. B. Hawking radiation, the Stefan–Boltzmann law, and unitarization. **Physics Letters B**, v. 754, p. 39-42, 2016.

GIELEN, D. *et al.* The role of renewable energy in the global energy transformation. **Energy Strategy Reviews**, v. 24, p. 38-50, 2019.

GONÇALVES, I. P.; CUNHA, E. G.; RHEINGANTZ, P. A. Estudo da Relação Custo-Benefício na Implantação de Diferentes Sistemas Fotovoltaicos em um Edifício de Escritórios na ZB 2. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, v. 14, 2017.

GUEYMARD, C. A. *et al.* Surface albedo and reflectance: Review of definitions, angular and spectral effects, and intercomparison of major data sources in support of advanced solar irradiance modeling over the Americas. **Solar Energy**, v. 182, p. 194-212, 2019.

HÄBERLIN, H. Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetz und Inselanlagen. 2010.
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Dados climáticos da Estação de Rio Verde: Série histórica de 1961 a 2015. **Banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia**. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Dados climáticos da Estação de Rio Verde: série histórica de 1961 a 2015. Banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Área de atuação. 2017 jul./dez., 2012.

JÚNIOR, C. L. *et al.* Energia solar: metodologia para avaliação do local de instalação de sistema fotovoltaico fomentando a Educação Ambiental. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 13, n. 3, p. 233-244, 2018.

KABIR, E. *et al.* Solar energy: Potential and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 894-900, 2018.

LEITÃO, M. V. B. R.; SANTOS, J. M. dos; OLIVEIRA, G. M. de; Estimativas do albedo em três ecossistemas da floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 256-261, 2002.

LIMA, A. A. *et al.* Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015.

OLIVEIRA, L. G. M; et al. Implementação computacional e validação de modelos matemáticos para a estimativa da radiação solar incidente aplicado a projeto de usinas fotovoltaicas software Sunoufmg-módulo recurso solar. Usina fotovoltaica Jarba Solar-Planejamento e Engenharia. **Brasília, Teixeira Gráfica e Editora Ltda**, p. 532, 2017.

PACHECO, F. Energias Renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, v. 149, p. 4-11, 2006.

PAVÃO, V. M. *et al.* Variação espacial e temporal do saldo de radiação superficial em uma área do sul do Amazonas, Brasil. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 37, p. 333-352, 2016.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Meteorologia agrícola. **Departamento de Ciências Exatas**, p. 173, 2007.

PIETZCKER, R. *et al.* **Using the sun to decarbonize the power sector: The economic potential of photovoltaic and concentrating solar power.** Applied Energy, 135 (15), 704-720. 2014.

SANTOS, G. H. F.; DO NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M. Biomassa como energia renovável no Brasil. **Revista Uningá Review**, v. 29, n. 2, 2017.

SANTOS, J. C. A.; DA CUNHA M. A. C. ESTUDO DO SOMBREAMENTO E INTEMPÉRIES PARA MELHOR APROVEITAMENTO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICO. **Diálogos Interdisciplinares**, v. 9, n. 5, p. 50-59, 2020.

SANTOS, J. R. C.; MACHADO, A. J. Estudo observacional da nebulosidade e de parâmetros de umidade do ar em Presidente Prudente-SP. **Geografia em Atos (Online)**, v. 2, n. 7, p. 38-58, 2018.

SILVA, L. R. O. *et al.* Estudo sobre a utilização de fontes de energias renováveis e suas principais tendências. 2018.

SILVA, M. S.; COSTA, L. A. de M.; BENINCASA, M.; LUCAS JR.; J de. Avaliação das perdas de nitrato em solo irrigado e submetido a diferentes intensidades de radiação solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v. 3, n. 1, p. 82-88, 1999.

SILVA, P.; FLORIAN, F; PESTANA, F.A.B. Estudo de perdas em um sistema fotovoltaicos. Trabalho de Conclusão do Curso. Universidade de Araraquara, SP. 2018.

SILVA, V. S. *et al.* AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA NA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES EM RESIDÊNCIAS NA CIDADE DE JOÃO PESSOA COMO FORMA DE AMORTECIMENTO NAS TARIFAS DA ENERGIA ELÉTRICA. *In: ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE*. v. 5. Congestas 2017.

SOUZA, A. P. de et al. Estimativas da evapotranspiração de referência em diferentes condições de nebulosidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 3, p. 219-228, 2011.

STAMBUK, R. H. **Influência da temperatura no desempenho de sistemas fotovoltaicos**. Monografia de Especialização em Energias Renováveis - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

TIEPOLO, G. M. *et al.* Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná-Resultados. *In: Anais do VII Congresso Brasileiro de Energia Solar*, Gramado-RS. 2018. p. 1-10.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e climatologia: versão digital 2. **Recife: Esalq**, 2006.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. Brasília: INMET, Gráfica e Editora Pax, 2001. 532 p.

WOODHOUSE, M. A. *et al.* **Crystalline silicon photovoltaic module manufacturing costs and sustainable pricing: 1H 2018 Benchmark and Cost Reduction Road Map**. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States), 2019.

XINGCAI, L.; KUN, N. Effectively predict the solar radiation transmittance of dusty photovoltaic panels through Lambert-Beer law. **Renewable energy**, v. 123, p. 634-638, 2018.

ZAMADEI, T. *et al.* ESTIMATIVAS DA RADIAÇÃO DIFUSA DIÁRIA COM BASE NA TRANSMISSIVIDADE ATMOSFÉRICA E INSOLAÇÃO NA TRANSIÇÃO CERRADO-AMAZÔNIA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 2018.