



PROJETO DE GRADUAÇÃO

MODELAGEM E APLICAÇÃO DE ALGORITMO DE DECISÃO DE PROJETO FOTOVOLTAICO A PARTIR DA AVALIAÇÃO DE CRITÉRIOS E DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Por
Milena Rodrigues Santos

Brasília, 24 de maio de 2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO

MODELAGEM E APLICAÇÃO DE ALGORITMO DE DECISÃO DE PROJETO FOTOVOLTAICO A PARTIR DA AVALIAÇÃO DE CRITÉRIOS E DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Por

Milena Rodrigues Santos

Trabalho submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de
Produção

Banca Examinadora

Profa. Dra. Ana Carla Bittencourt Reis – UnB/EPR (Orientadora)

Prof Dr. Edgard Costa Oliveira – UnB/ EPR (Coorientador)

Profa. Dra. Sílvia Araújo dos Reis – UnB/ FACE

Reginaldo Pereira dos Santos Filho, Mestre em Gestão do
Conhecimento de Tecnologia da Informação, oriundo da empresa Reny Sol
Sustentabilidade

Brasília, 24 de maio de 2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, por sempre ouvir as minhas preces e estar comigo nas horas desespero e no medo de falhar. Como também, dedicar esses agradecimentos a minha família, meus pais e meus irmãos, que estiveram sempre ao meu lado, me dando conselho, tirando dúvidas e apontando melhorias. Agradeço também aos meus avós e em especial a minha avó Iolanda, que mesmo não estando aqui sei que ela esteve sempre orando e torcendo por mim, sua primeira neta Engenheira.

Quero mostrar minha gratidão ao Pedro Tiago por todo o apoio e confiança, sempre me lembrando que iria dar certo só precisava ter paciência e fé. Agradeço aos meus amigos, especialmente a Dayane C., Fabrício L., Juliana K., Lucas D., Mayara S. que estiveram ao meu lado em todo o período da graduação e que contribuíram para chegar ao final dela.

Reconheço a participação importante da minha orientadora Ana Carla e meu coorientador Edgard Costa e todos os professores que tive na UnB, pela paciência e comprometimento em me ajudar a entregar o melhor projeto de graduação possível e passar pelas fases de aprendizado durante a graduação.

Por fim, agradeço a todos que tiraram um tempo para me ouvir, dar apoio, ajudar ou contribuir de alguma forma para a construção deste trabalho. Sou muito grata por todas as pessoas que Deus colocou no meu caminho nesse momento tão desafiador e especial da minha vida.

Milena Rodrigues Santos

***“Muitas pessoas devem a
grandeza de suas vidas aos
problemas que tiveram que
vencer”***

Baden Powell

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso, tem como propósito desenvolver um algoritmo, em forma de árvore de decisão, que suporte o processo decisório da escolha do melhor tipo de projeto de energia solar fotovoltaica no Brasil. O algoritmo de decisão foi modelado a partir de critérios e indicadores elencados por meio da revisão da literatura, o método de escolha desses partiu da influência deles sobre a geração de energia fotovoltaica visando a eficiência energética. Atualmente, a tomada de decisão do tipo de projeto é realizada sem um auxílio de um sistema automatizado podendo, assim, ocorrer erros no processo decisório. Deste modo, o objetivo desse trabalho é suportar a tomada decisão tornando-a mais eficiente e automatizada. Para isso, foi desenvolvido, a partir do algoritmo criado, um código executável em linguagem Python. E por final, com dados de uma microempresa do ramo, apresentou-se um exemplo da utilização do código desenvolvido, demonstrando a sua aplicação para empresas de energia fotovoltaica.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica. Algoritmo de Decisão. Eficiência Energética. Árvore de decisão

ABSTRACT

The purpose of this final course work is to develop an algorithm, in the form of a decision tree, that supports the decision-making process of choosing the best type of photovoltaic solar energy project in Brazil. The decision algorithm was modeled based on criteria and indicators listed through the literature review, the method of choosing these started from their influence on the generation of photovoltaic energy aiming at energy efficiency. Currently, decision-making of the type of project is carried out without the aid of an automated system, thus, errors in the decision-making process can occur. Thus, the objective of this work is to support decision making, making it more efficient and automated. For that, an executable code in Python language was developed from the created algorithm. And finally, with data from a microenterprise in the industry, an example of the use of the developed code was presented, demonstrating its application for photovoltaic energy companies.

Keywords: Solar photovoltaic energy. Decision Algorithm. Energy efficiency. Decision Tree.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Cenário de geração de energia renovável no período de 2018-2040 | 18 |
| Figura 2 - Fornecimento total de Energia no Brasil (1990 a 2018) | 19 |
| Figura 3 – Quantidade de PM10 na atmosfera em tempo real | 25 |
| Figura 4 - Velocidade do Vento em tempo real | 26 |
| Figura 5 - Temperatura média anual..... | 26 |
| Figura 6 - Climatologia da radiação solar incidente (W/m^2) para a América do Sul (1997-2004)..... | 27 |
| Figura 7 - Árvore de decisão simples para o diagnóstico de um paciente | 32 |
| Figura 8 - Processo da geração de energia solar | 36 |
| Figura 9 - Modelagem do Processo de Desenho do Algoritmo..... | 39 |
| Figura 10 - Faixas de irradiação em temperaturas distintas | 46 |
| Figura 11 - Algoritmo de decisão forma compactada | 45 |
| Figura 12 - Resultados da utilização do programa desenvolvido com os dados do quadro 6 | 50 |
| Figura 13 - Nó da Microgeração..... | 60 |
| Figura 14 - Nó de Minigeração | 60 |
| Figura 15 - Nó de Grandes Plantas Solares..... | 61 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Tipos de sistemas de energia fotovoltaico..... | 20 |
| Quadro 2 - Indicadores de retorno do investimento..... | 23 |
| Quadro 3 - Aproveitamento da irradiação de acordo com orientação | 29 |
| Quadro 4 - Influência de indicadores climáticos na energia, eficiência e irradiação . | 30 |
| Quadro 5 - Requisitos dos tipos de projetos..... | 41 |
| Quadro 6 - Dados do projeto piloto | 49 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Ângulo de inclinação e radiação máxima diária por estado | 28 |
| Tabela 2 - Potência de um módulo de acordo com a faixa de temperatura e de irradiação, para 100% de aproveitamento dos raios solares..... | 47 |
| Tabela 3 - Potência de um módulo de acordo com a faixa de temperatura e de irradiação, para 99,4% de aproveitamento dos raios solares..... | 47 |
| Tabela 4 - Potência de um módulo de acordo com a faixa de temperatura e de irradiação, para 99,7% de aproveitamento dos raios solares..... | 47 |
| Tabela 5 - Umidade relativa média anual por estado | 75 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|---------|---|
| AD | Árvore de decisão |
| DC | Corrente contínua |
| AC | Corrente alternada |
| IAE | Agência Internacional de Energia |
| ICMS | Imposto sobre Mercadorias e Serviços |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metodologia, Qualidade e Tecnologia |
| ER | Energias Renováveis |
| LCOE | Custo Nivelado de Energia |
| PV | Energia fotovoltaica |
| TMA | Taxa Mínima de Atratividade |
| TIR | Taxa Interna de Retorno |
| VPL | Valor Presente Líquido |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA..... | 13 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 14 |
| 1.2.1 Objetivo Geral | 15 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos..... | 15 |
| 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 15 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA | 17 |
| 2.1 FONTES RENOVÁVEIS..... | 17 |
| 2.2 ENERGIA SOLAR..... | 18 |
| 2.3 EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA..... | 19 |
| 2.4 CUSTO E RETORNO FINANCEIRO..... | 22 |
| 2.5 VIABILIDADE ECONÔMICA | 23 |
| 2.6 FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO DE ENERGIA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS | 24 |
| 2.7 ALGORITMO E ÁRVORE DE DECISÃO | 31 |
| 3 METODOLOGIA DA PESQUISA | 33 |
| 3.1 MÉTODO DE PESQUISA..... | 33 |
| 3.2 ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA | 33 |
| 4 PROCESSO DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR MEIO DO SOL | 35 |
| 5 RESULTADOS | 37 |
| 5.1 MODELAGEM DO PROCESSO DE DESENHO DO ALGORITMO | 37 |
| 5.2 REQUISITOS DO ALGORITMO | 40 |
| 5.3 PRESSUPOSTOS E RESTRIÇÕES | 42 |
| 5.4 ALGORITMO DE DECISÃO..... | 44 |
| 5.5 EXEMPLO DA UTILIZAÇÃO DO MODELO | 49 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 51 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |
| APÊNDICES | 60 |
| APÊNDICE A - ALGORITMO DE DECISÃO EM FORMA DE ÁRVORE | 62 |
| APÊNDICE B -CÓDIGO DO MODELO EM PYTHON- NÓ MICROGERAÇÃO..... | 60 |
| ANEXOS | 75 |
| ANEXO A – Tabela de umidade relativa anual por estado..... | 75 |

1 INTRODUÇÃO

A cada ano cresce no mundo a demanda por energia devido ao crescimento populacional urbano, contudo grande parte dessa energia ainda é proveniente de combustíveis fósseis. O uso desse tipo de combustível vem causando diversos problemas como o aumento do efeito estufa, mudanças climáticas e aquecimento global (AMEUR *et al.*, 2020).

Por esse motivo, tornou-se necessário buscar novas tecnologias que supram a demanda energética e não agravem os atuais problemas ambientais mundiais. As energias renováveis se apresentam com uma eficaz solução para os problemas energéticos e ambientais (LI; ZHOU; YANG, 2018).

Dentre as fontes de energias renováveis, temos a energia solar fotovoltaica (PV), solar térmica, eólica, hídrica, das ondas, das marés e biocombustíveis. As que possuem maior participação no mercado energético são: a energia solar fotovoltaica, eólica e hídrica (BAHAIDARAH *et al.*, 2015).

De acordo com o Boletim de Monitoramento do sistema elétrico, em janeiro de 2021, cerca de 80% da energia produzida no Brasil é proveniente de fontes renováveis. Entretanto, desse percentual, as fontes hídricas possuem a maior participação na matriz energética brasileira.

Apesar das fontes hídricas possuírem maior expressividade na produção de energia no Brasil, a fotovoltaica vem ganhando seu espaço, energia essa gerada por meio dos raios solares. Esse tipo de geração de energia vem se destacando no cenário mundial, segundo a Agência Internacional de Energia (2020), com um crescimento de 22% em 2019.

No cenário brasileiro em que possuem fatores favoráveis para instalação de sistema de geração de energia solar, há o crescimento desse tipo de geração na última década, assim como no cenário mundial, principalmente devido a incentivos e a diminuição do custo dessa tecnologia (MOREIRA JÚNIOR; SOUZA; FRAINER, 2020).

O Brasil tem uma irradiação uniforme em todo território nacional, sendo assim considerado uma vantagem em relação a países europeus, em que esse tipo de tecnologia já é bem desenvolvida (MOREIRA JÚNIOR *et al.*, 2020).

A produção de energia fotovoltaica é influenciada por diversos fatores sendo de extrema importância o conhecimento desses para que tenha a utilização eficiente

desse tipo de tecnologia. Uma vez que, módulos fotovoltaicos tem performances diferentes dependendo das condições ambientais do local em que serão instalados. Sendo o aspecto que tem maior influência é a irradiação, um fator abundante no Brasil, além dessa a temperatura, velocidade do vento e poeira. (BAHAIDARAH *et al.*, 2015).

No presente trabalho será discorrido sobre a energia fotovoltaica e sobre diversos fatores que influenciam a geração de energia fotovoltaica. Além da irradiação, temperatura, velocidade do vento e poeira, também sobre a umidade relativa, a orientação e a angulação das placas.

Um dos primeiros passos para criação de um projeto de energia solar é a classificação do tipo de projeto, para isso utilizou-se duas grandes classificações. A primeira é de acordo com a quantidade de kW instalados, podendo ser de microgeração, minigeração e grandes plantas solares. Já a segunda, é de acordo com a conexão com fontes de energia, podendo ser híbrido, isolado ou *On Grid*.

A partir dessa classificação, desenvolveu-se um algoritmo de decisão com intuito de apoiar a tomada de decisão. Sendo essa decisão um processo que envolve a escolha entre uma ou mais opções com intuito de alcançar um ou mais objetivos de forma efetiva (EFRAIM *et al.*, 2011).

Modelou-se o algoritmo em forma de árvore de decisão, que são usadas com o propósito de desenvolver modelos preditivos, de forma confiável, que dão suporte a toma de decisão (ARAÚJO VIEIRA *et al.*, 2018). Além disso, foi desenvolvido um código na linguagem de programação Python, escolhida por ter um grande potencial e ser de fácil utilização.

A validação do algoritmo de decisão ocorreu por meio de levantamentos de requisitos na literatura acerca do tema. Em que se apresentou no total 14 requisitos, divididos em 4 grandes grupos, sendo eles: demanda por energia, viabilidade econômica, viabilidade técnica e localização.

Para apresentar o código desenvolvido utilizou-se dados reais de uma microempresa do ramo de energia solar, a Reny Sol Sustentabilidade, sediada em Sobradinho/DF. O projeto escolhido para demonstrar o funcionamento do algoritmo foi projeto piloto da empresa escolhida.

1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

A tomada de decisão é algo inerente ao ser humano, tomam-se decisões diariamente por diversos motivos, seja na esfera pessoal, educacional ou empresarial. Sendo assim a tomada de decisão pode ser considerada uma atividade totalmente humana, mesmo que ocorra por meio de indivíduos, instituições ou um sistema automatizado (BEN-HAIM, 2006).

De acordo com Dierkes (1997), o processo de decisão é um conjunto de atividades imprescindíveis de informações específicas de um problema inserido numa situação real de decisão.

Hodiernamente esse processo de tomada de decisão está cada vez mais sendo feito por algoritmos, denominados algoritmos de decisão. Mudando assim o processo de gestores, formuladores de políticas, médicos, professores, policiais e entre outros (LEE, 2018).

Esses algoritmos são utilizados para tornar mais assertivo a tomada de decisão, uma vez que, esse processo ocorre baseado em dados. Com isso, demonstram ser mais eficientes e otimizados.

Os trabalhos encontrados na literatura atual englobam área da saúde, Lacourciere et al. (2019), Bonini (2016), aprendizado de máquina, Zhang et al. (2015), monitoramento da qualidade de água, Angello et al. (2012) e gerenciamento de energia híbrida, Simões et al. (2016). Contudo, não se encontrou na literatura atual um trabalho que classificasse o tipo de projeto de acordo com os fatores que impactam a eficiência energética.

Com isso, o presente trabalho irá responder o seguinte questionamento: Qual a melhor escolha de projeto fotovoltaico, considerando os parâmetros e variáveis do processo?

Desse modo, o objetivo é auxiliar o processo de tomadores de decisão a escolher o tipo de projeto adequado, levando em consideração aspectos pertinentes para essa classificação, que tem considerável interferência na eficiência energética.

1.2 OBJETIVOS

Neste tópico será explicado o objetivo geral do projeto de graduação e como também, os referentes objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do seguinte trabalho é modelar e aplicar um algoritmo de decisão do tipo de projeto fotovoltaico, partindo de critérios e indicadores que apresentam influência na geração de energia solar buscando a eficiência energética.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Especificar os requisitos utilizados no desenvolvimento do algoritmo de decisão;
- Levantar os parâmetros e variáveis relacionados ao projeto fotovoltaico: critérios e indicadores que influenciam a geração de energia solar
- Desenvolver um algoritmo de decisão;
- Utilizar a linguagem de programação Python para desenvolver um código a partir do algoritmo de decisão.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estruturação do presente trabalho é dividida em seis sessões, sendo elas:

Sessão 1: Nesta parte do trabalho, apresentou-se a introdução dando uma contextualização de qual será o tema e quais são os objetivos gerais e específicos além da justificativa e descrição do problema.

Sessão 2: Na segunda sessão foi discriminado os principais tópicos relevantes para a revisão de literatura. Primeiramente se abordou de forma genérica as energias renováveis e posteriormente focou-se na energia solar, na evolução desse tipo de tecnologia, o custo e retorno financeiro, a viabilidade econômica dessa tecnologia e os fatores que influenciam a geração de energia solar.

Sessão 3: Esta sessão discorreu-se sobre a metodologia utilizada e aplicada no decorrer do trabalho.

Sessão 4: Nesta sessão trata-se como acontece o processo de geração de energia por meio de raios solares.

Sessão 5: A quinta sessão apresentou os resultados do presente trabalho, o processo de modelagem do algoritmo, os requisitos de projetos que serão utilizadas na parte prática do trabalho, as restrições e pressupostos do modelo, o desenvolvimento do algoritmo de decisão e o exemplo utilizado para apresentar o algoritmo desenvolvido.

Sessão 6: Na última sessão, é exposto as considerações finais da pesquisa e as possíveis melhorias para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A necessidade por energia elétrica se tornou básica, uma vez que é indispensável utilizar energia para produtos de necessidade humana: alimentação, saúde, transporte, comunicação e entre outros (EDNHOFER, 2011). Com isso, devido ao aumento populacional se tornou ainda mais necessário o acesso e a oferta de energia. Conforme Asumadu-Sarkodie & Owusu (2016), o desenvolvimento energético está ligado ao desenvolvimento econômico de um país, principalmente em países em desenvolvimento.

Desde 1950, aproximadamente, a utilização de combustíveis fósseis (petróleo, gás e carvão) domina a fornecimento de energia no mundo, liderando assim, o crescimento de emissão de CO₂ (dióxido de carbono) (MITIGATION, 2011). Por esse motivo é necessário a utilização de fontes renováveis para mitigar esse problema.

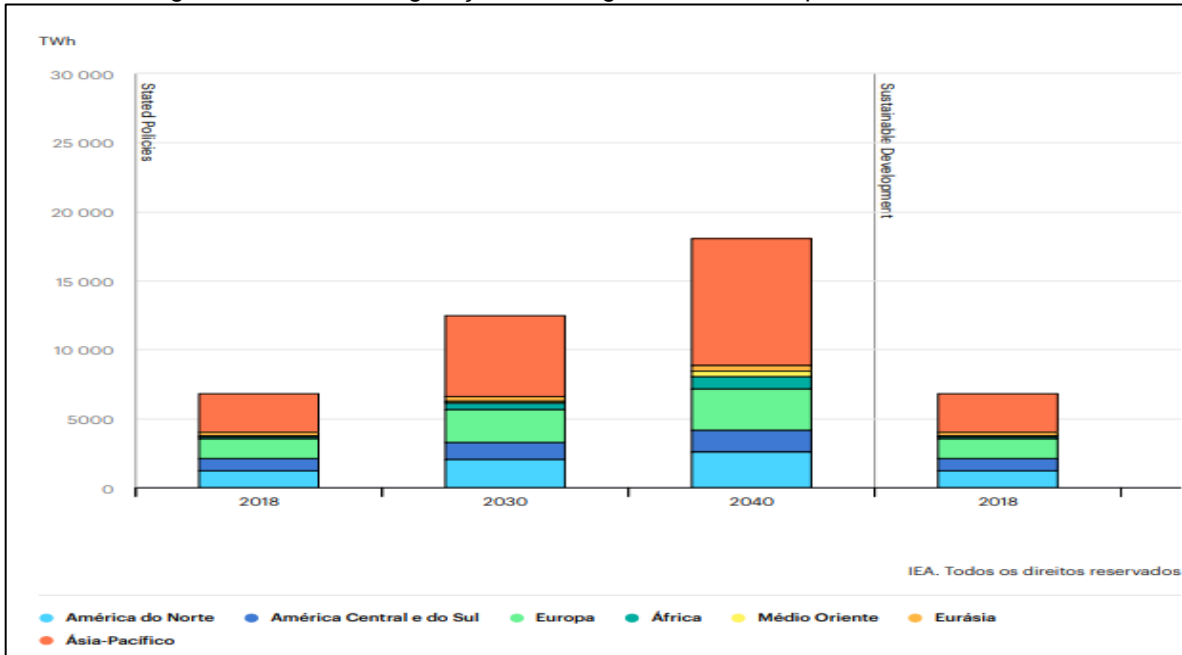
2.1 FONTES RENOVÁVEIS

Por definição, fontes de energia renováveis são aquelas que se reabastecem naturalmente sem se esgotarem na terra. Incluem-se nesta categoria a bioenergia, energia hidrelétrica, energia geotérmica, energia solar, energia eólica e energia oceânica (marés e ondas) (ASUMADU-SARKODIE e OWUSU, 2016)

É notória a importância dos benefícios da utilização de energias renováveis, sendo eles: contribuição no desenvolvimento social e econômico, possibilitar o aumento do acesso à energia e redução das emissões de gases (EDNHOFER, 2011).

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), as energias renováveis têm crescido consideravelmente nos últimos anos, tendo o suporte, principalmente, por políticas de apoio e redução acentuada nos custos da energia solar fotovoltaica e energia eólica. Sendo essas duas, até 2040, responsáveis por mais da metade do fornecimento elétrico, se considerar apenas as fontes renováveis, como pode ser visto na Figura 1. Essas duas acrescidas da energia hidroelétrica possuem destaque no setor elétrico (IAE, 2019).

Figura 1 - Cenário de geração de energia renovável no período de 2018-2040



Fonte: IEA (2019)

2.2 ENERGIA SOLAR

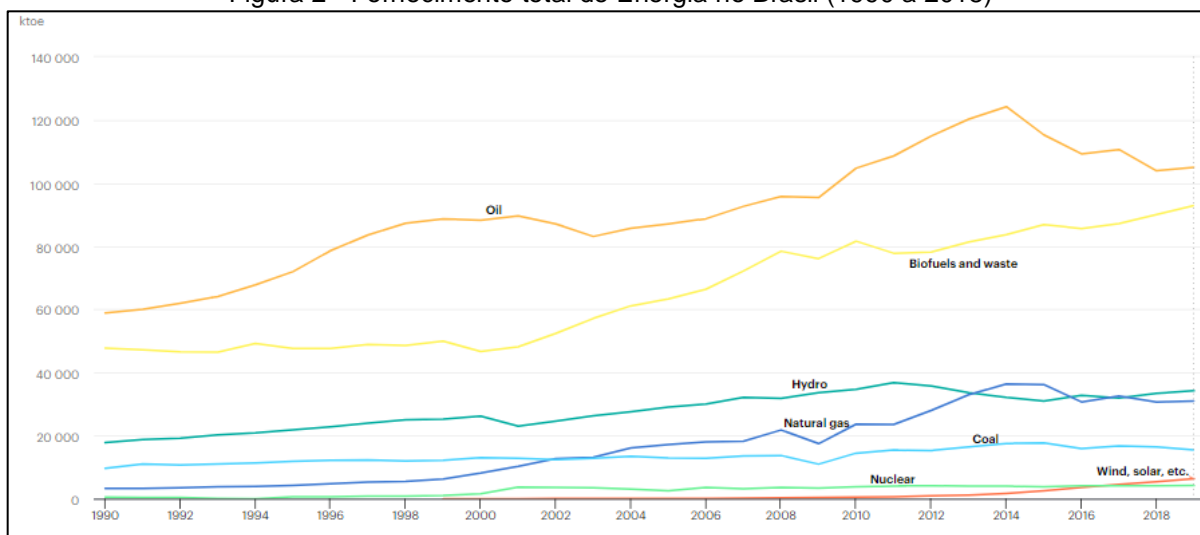
Segundo a IEA (2020), energia solar é a conversão da irradiação solar em formas de energia que possam ser utilizadas. Uma dessas formas é a energia solar fotovoltaica, contando ainda com a eletricidade solar térmica e o aquecimento e resfriamento solar. O foco principal deste trabalho é na primeira forma, em que um sistema de geração de energia solar fotovoltaico é composto por módulos fotovoltaicos, inversores e, se necessário, uma bateria.

De acordo com Sampaio e González (2017), painéis fotovoltaicos em sua maioria são compostos por silício, o segundo componente mais abundante da terra. Sendo assim, um grande ponto positivo da energia solar fotovoltaica. Também, podem-se citar as seguintes características vantajosas: sistema confiável, baixo custo de operação e manutenção, fonte de energia grátis que gera não impacto ambiental (SILVEIRA et al., 2013; PENG et al, 2013; LAN e LI, 2014).

A geração de energia elétrica, através da captura dos raios solares por meio de painéis fotovoltaicos, é considerada no mercado uma das energias renováveis (ER) mais promissoras, principalmente na Europa, Estados Unidos da América e China (SAMPAIO e GONZÁLES, 2017).

No Brasil, apesar do seu potencial, ainda não apresenta expressividade, como pode ser observado na Figura 2 em que a energia solar é inexpressiva se comparada com outras fontes de energia, uma vez que, 62,44% da energia elétrica do país advêm de hidroelétricas (ANEEL,2014).

Figura 2 - Fornecimento total de Energia no Brasil (1990 a 2018)



Fonte: IEA (2019)

Apesar da não expressividade observada, o Brasil apresenta uma relação de 230% entre potencial residencial versus consumo residencial (BEZERRA, 2018). Em outras palavras, o potencial de produção de energia fotovoltaica é muito mais que a necessidade residencial por eletricidade.

Silveira et al (2012), apresentam um cenário, em que, a viabilidade da utilização desse tipo de sistema ainda depende de subsídios. A utilização de subsídios é uma estratégia difundida mundialmente (SOLANGI et al 2011), sendo divididas em estratégias de longo e curto prazo.

As adotadas pelo governo brasileiro se encaixam na categoria de tarifas feed-in (tarifas voltadas para energias renováveis), leilões e *net metering* (compensação ao usuário de eletricidade provinda de ER) (SOLANGI et al 2011). Além disso, o Brasil participa do programa de Energias Limpas em Economias Emergentes que tem por objetivo implementar ações para o cumprimento das metas globais de energia limpa.

2.3 EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA

Os sistemas fotovoltaicos são divididos em cinco categorias, sendo eles: conectado à rede (*on grid*), isolado (*off grid*), híbrido, grandes plantas solares e aplicado a bens de consumo (FERREIRA et al, 2018)

Quadro 1 - Tipos de sistemas de energia fotovoltaico

| Categoria | Definição | Informações adicionais |
|-----------------------------------|---|---|
| Conectado à rede | São desenvolvidos para operar em paralelo e interconectado a rede elétrica. Os inversores são o principal componente desse tipo, uma vez que, ele transforma corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que condiz com a qualidade da energia e a voltagem da rede elétrica (LUPANGU e BANSAL, 2017). | Utilizado normalmente no meio urbano em prédio e casas, tendo como principais vantagens a alta produtividade, não necessidade de baterias e desligamento automático caso haja a queda de energia na rede (URBANETZ et al., 2011). |
| Isolado | Também chamados de sistemas autônomos são utilizados principalmente em áreas rurais, muitas das vezes sem acesso à rede elétrica (PANDEY et al, 2013). | Composto de módulo solar, controlador de carga e baterias considerados suficientes para suprir a demanda por energia elétrica de uma casa rural (PANDEY et al, 2016). |
| Híbrido | Os sistemas de energia híbrida são aqueles que geram eletricidade a partir de duas ou mais fontes, geralmente de origem renovável, compartilhando um mesmo ponto de conexão. | Combinação entre geradores térmicos convencionais, parques eólicos e sistemas fotovoltaicos solares com baterias. |
| Grandes plantas solares | Normalmente são grandes áreas, fazendas, em que são instalados uma grande quantidade de módulos solar. | Produz uma grande quantidade de eletricidade em um único ponto. |
| Aplicado a bens de consumo | Células solares aplicada a diversos objetos, pode-se citar calculadoras, relógios, brinquedos, carregadores de baterias, lanternas, sistema de irrigação e entre outros (FERREIRA et al, 2018). | |

Fonte: Autora (2020).

Em relação ao material utilizado para a fabricação das placas solares, o silício é o líder do mercado, sendo utilizado desde o início. Além dele, existem células de polímeros e orgânicas, de filme fino, híbridas e tinta sensível (PANDEY et al, 2016).

Os benefícios do silício, como a alta eficiência, se comparam aos demais materiais, assim como a fácil disponibilidade, o que faz com que esse material se torne o mais utilizado para a fabricação de células solares (MASSON, 2013). As duas mais conhecidas são a monocristalina e policristalina, sendo a última alternativa devido ao baixo custo, contudo com menos eficiência se comparada às células monocristalinas (MANNA e MAHAJAN, 2007; BRAGA et al, 2008).

De acordo com El Chaar (2011), as células que são fabricadas a partir de filme fino, se comparadas com os de silício, prometem redução de custos sem prejudicar a vida útil da célula e promover qualquer perigo para a o meio ambiente. Isso também acontece com as sensibilizadas com corante, que como as de filme fino possuem menor custo que as de silício e maior facilidade de fabricação. (PANDEY et al, 2016).

Já as de polímeros e orgânicas vêm ganhando espaço como um material alternativo devido a algumas propriedades: flexibilidade mecânica, baixo custo de fabricação, semitransparência e leveza. Entretanto, são considerados menos eficientes que os demais, estudos apresentam perda de até 8% (DOU, 2012).

A combinação de materiais inorgânicos com orgânicos é a composição das células híbridas, resultando na junção da alta potência das inorgânicas com os baixos custos das orgânicas (CAPASSO et al, 2014).

No Brasil estão disponíveis apenas três dessas tecnologias: silício monocristalino, silício policristalino e filme fino, as quais estão homologadas no INMETRO (Instituto Nacional de Metodologia, Qualidade e Tecnologia), podendo assim serem comercializadas no mercado interno (MOREIRA JÚNIOR e SOUZA,2020)

Além das células fotovoltaicas, um sistema é composto de um inversor. A principal função dos inversores é a conversão do sinal DC do sistema fotovoltaico em um sinal AC. Em outras palavras, em um sistema fotovoltaico conectado à rede, o inversor é responsável pela conversão da corrente contínua (DC) gerada pelo sistema em corrente alternada (AC) (PRIEB, 2011; CABAÇA 2014). Os principais utilizados são inversores *string* e micro inversores.

O primeiro é caracterizado por ligação dos módulos em série formando assim uma *string*, que é conectada a um único inversor. Já os Micro inversores são caracterizados por cada módulo ter o seu próprio MPPT (ponto máximo de potência) mesmo que os módulos estejam em série.

A principal diferença entre eles é que com o micro inversor não ocorre a perda de potência devido ao sombreamento em um modulo do sistema. Como afirma Chepp e Krenzinger (2018), que por dia a produção de energia fotovoltaica é 1% maior com micros inversores se comparado a inversores.

2.4 CUSTO E RETORNO FINANCEIRO

O Brasil, por ser um país localizado em sua maioria em zona intertropical, apresenta um grande potencial para aproveitamento da energia solar durante o ano (FERREIRA et al., 2018). Sendo a região nordeste com maior potencial, dentre todas as regiões brasileiras, com 5,9 kWh/m² (DE JONG et al, 2015).

Contudo, ainda de acordo com De Jong et al (2015), a energia solar foi considerada entre a mais cara entre as estudadas (hidroelétricas, eólica, energia das ondas e solar térmica concentrada) pelos autores, seguindo a metodologia LCOE (custo nivelado de eletricidade). Já Bursztyn (2020), defende que a energia solar apresenta, nos anos de 2009 a 2017, a maior redução do custo médio de produção, cerca de 86%, utilizando a mesma metodologia que De Jong et al (2015). Para a viabilidade da energia solar são necessários incentivos governamentais. Uma vez que, de acordo com Bertoi (2012), os módulos fotovoltaicos nacionais podem custar até 75% mais caros do que os módulos importados (sem imposto).

A resolução nº482/2012 da Agência Nacional de Energia, discorre sobre a permissão para instalar sistemas de micro e mini produção de energia elétrica por meio de fontes renováveis. Nesse caso, os sistemas são conectados à rede elétrica e caso haja excedente de energia esse pode ser trocados por créditos com a distribuidora de energia local. Deste modo, a aprovação dessa resolução é um incentivo a instalação, principalmente de sistemas fotovoltaicos, em residências e pequenas plantas solares.

Entretanto, apesar do alto custo de aquisição de um sistema solar, é viável a utilização deste tipo de fonte de energia elétrica, mesmo que sem incentivos fiscais, aumentando apenas o tempo de payback (CALAZANS et al., 2015). Segundo

Krzysztof et al. (2016), novos sistemas fotovoltaicos de grande escala podem produzir eletricidade a preços competitivos. Isso ocorre devido à grandes avanços tecnológicos nas células fotovoltaicas e em qual melhor local para investir nessa tecnologia.

2.5 VIABILIDADE ECONÔMICA

Como já discorrido, a instalação de um sistema fotovoltaico é viável no aspecto econômico. No estudo realizado por Silveira et al (2018), se demonstrou a viabilidade econômica de três instalações no estado do Paraná, duas sendo na Universidade de Tecnologia Federal do Paraná e outra uma residência. Os autores ratificaram a viabilidade por meio do *Payback* simples, do *Payback* descontado, do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR). Os resultados positivos comprovaram que o sistema se paga antes do final da vida útil dos equipamentos instalados. Como pode ser visto no quadro 2.

Quadro 2 - Indicadores de retorno do investimento

| Local | <i>Payback</i> Simples | <i>Payback</i> Descontado |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| UTFPR-GO | 7 anos e 5 meses | 13 anos e 3 meses |
| UTFPR- Neville | 8 anos | 15 anos |
| Residência (Presente) | 7 anos e 8 meses | 14 anos e 1 mês |
| Residência (ICMS 16/15) | 6 anos e 5 meses | 10 anos e 8 meses |

Fonte: Silveira et al (2018) adaptado

Já o foco do estudo de Garcia et al (2018) foi uma residência com características condizentes com a maioria das residências de Curitiba-PR, o ensaio ocorreu considerando que residem três pessoas e com consumo médio de 302 kW/mês. A viabilidade econômica do projeto foi confirmada por meio do cálculo do custo evitado, ou seja, soma da economia com energia elétrica e o retorno sobre o investimento que resultou em um retorno de aproximadamente 8 anos, ou seja, o projeto se paga neste período.

Como também, nos estados de Piauí e São Paulo foi realizado um trabalho para assegurar a viabilidade de instalação de sistema fotovoltaico em residências do programa do governo denominado Minha Casa Minha Vida. Como os demais estudos

apresentados usou-se do VPL e TIR no cálculo da praticabilidade. A viabilidade foi confirmada por meio da comparação entre a TIR e TMA (taxa mínima de retorno), tanto para São Paulo quanto para Piauí o estudo apresentou, em sua maioria, um TIR superior a TMA confirmando a viabilidade econômica. O estado de São Paulo demonstrou-se mais promissor, devido a isenção de impostos como o ICMS (imposto sobre mercadorias e serviços), apesar do estado do Piauí possuir uma irradiação solar superior (VALE et al, 2017).

Além disso, outros estados se mostram viáveis economicamente para se instalar um sistema fotovoltaico, como apresentado por Gomes et al (2018). Para isso os autores empregaram a demanda limite, consumo mínimo de eletricidade necessário para viabilizar o projeto, e o LCEO (custo nivelado de energia). Obtendo um resultado, de que no Brasil, é possível instalar um sistema fotovoltaico em aproximadamente 4 milhões de residências sendo tecnicamente e economicamente viáveis.

Estudos fora do Brasil também reafirmam obter viabilidade econômica em instalação de micro e mini geração de energia. Valdés-González et al (2020) aplicou, além das ferramentas de engenharia econômicas já citadas pelos outros autores, o custo nivelado de energia (LCOE) num estudo em residências no Chile. Obtendo dos resultados TIR e VPL positivos, como também, LCOE abaixo dos preços convencionais de energia.

Já Rodrigues *et al* (2016) analisou treze países, e, dentre os resultados estudados pelos autores os países, os que obtiveram maiores retornos sobre o investimento em energia fotovoltaica foram Austrália, Alemanha e Itália. Em que foi possível quase que quadruplicar, em 25 anos, o investimento nesses países.

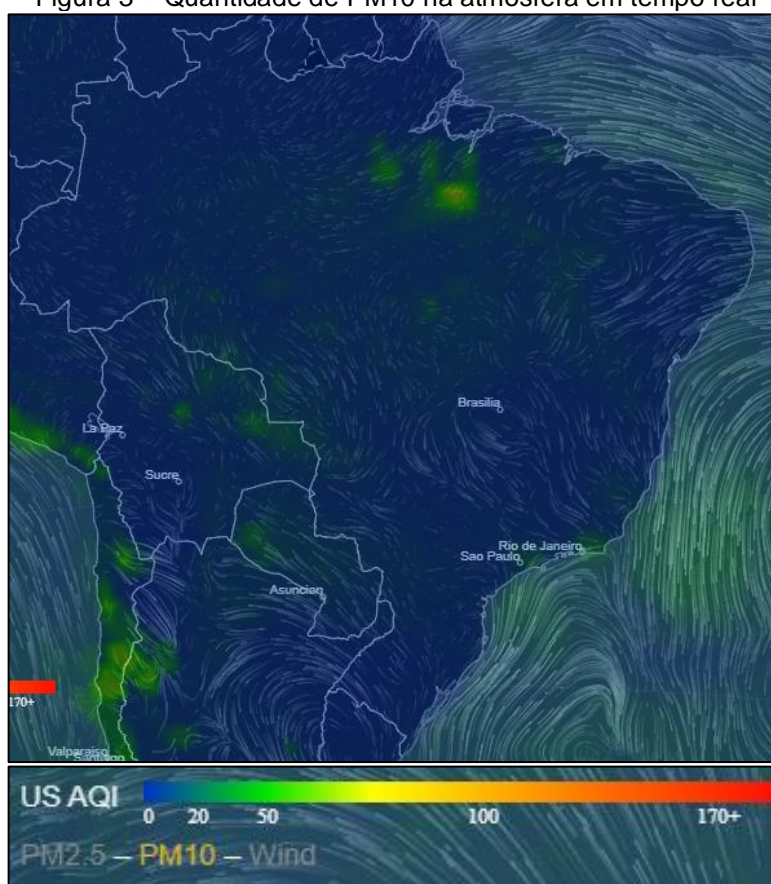
2.6 FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO DE ENERGIA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

É notório que o clima está mudando em todo o mundo, decorrente principalmente da ação humana. Mudança de temperaturas, climas extremos, padrões variados da quantidade de precipitação são alguns fatores que influenciam a geração de energia solar fotovoltaica (KRZYSZTOF et al. 2016). Como também, a poluição do ar, que deve ser considerada por novos sistemas fotovoltaicos, uma vez que, afeta a eficiência e a confiabilidade do sistema (KALDELLIS; KOKALA, 2010).

Isso ocorre devido ao fato de que a potência de saída de um sistema varia de acordo com a radiação solar. Nos estudos apresentados por Wild (2012), é apresentado um fenômeno conhecido como escurecimento global, que ocorreu nas décadas de 50 até 1980. Após 30 décadas, ocorreu um fenômeno reverso de clareamento, contudo não apresentou a mesma radiação apresentada anteriormente ao ano de 1950.

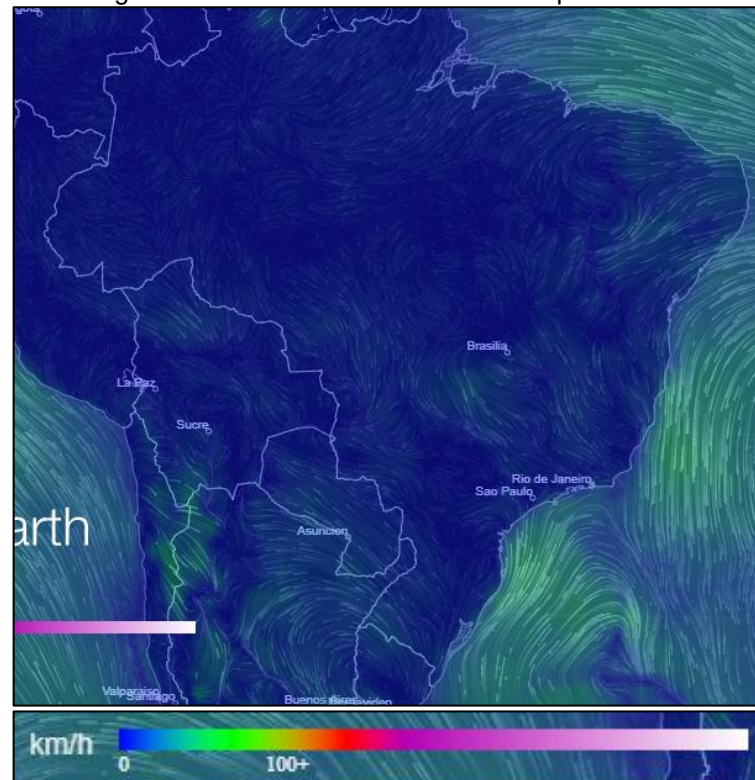
Outros fatores que influenciam radiação solar, por consequência a potência gerada, são: quantidade de SO₂ (Dióxido de enxofre), quantidade de O₃ (Ozônio), velocidade do vento, PM₁₀ (partículas menores a 10µm, micrometros, sendo um elemento de poluição atmosférica) e NO (Óxido nítrico) (KRZYSZTOF et al. 2016). Sendo que os elementos de poluição afetam negativamente a irradiação. As figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, a quantidade de PM₁₀ e a velocidade do vento em tempo real, do dia 17/11/2020 às 15h. A figura 3 demonstra que a quantidade de partículas na atmosfera do Brasil é considerada baixa ou quase nenhuma.

Figura 3 – Quantidade de PM₁₀ na atmosfera em tempo real



Fonte: AirVisual Earth- 3D Real Time air pollution map (2020)

Figura 4 - Velocidade do Vento em tempo real



Fonte: AirVisual Earth- 3D Real Time air pollution map (2020).

Além da irradiância, os estudos realizados por Camargo Francisco et al. (2019) e Dubey et al (2013) apresentaram resultados em que a temperatura e a umidade do ar tem correlação negativa com a potência gerada, uma vez que, afeta tanto eficiência elétrica quanto a potência de saída (SKOPLAKI e PALYVOS, 2009). A temperatura média anual do Brasil pode ser vista na figura 5.

Figura 5 - Temperatura média anual

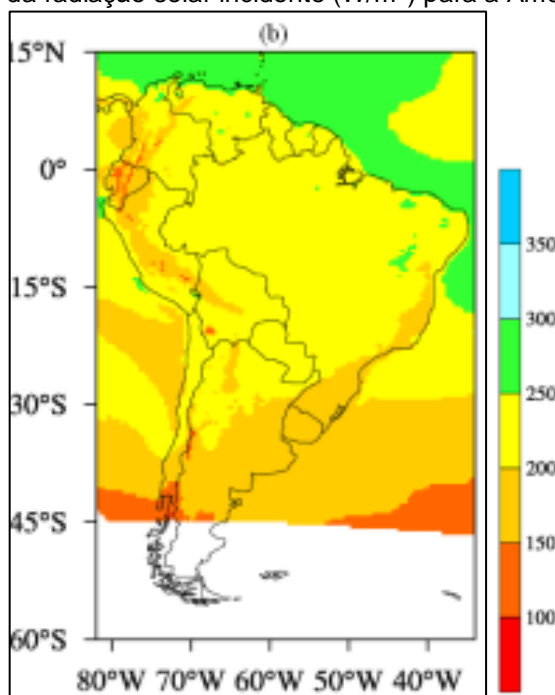


Fonte: Atlas brasileiro de energia solar (2017).

Na figura 6 apresenta-se a radiação solar incidente em todo o território brasileiro e na América do Sul como todo. Podendo se notar que, a figura demonstra que há uniformidade na radiação solar que incide em todo o país em níveis acima de 200 W/m².

Como citado anteriormente, a irradiação é um dos principais fatores que influenciam na potência gerada de sistema fotovoltaico. Por conseguinte, é de extrema importância que os painéis recebam a maior quantidade de irradiação possível, essa quantidade é principalmente afetada pela sua orientação e pelo ângulo de inclinação (DEMAIN et al, 2013).

Figura 6 - Climatologia da radiação solar incidente (W/m²) para a América do Sul (1997-2004)



Fonte: Pinto et al. (2010)

Em relação a sua orientação, normalmente os módulos fotovoltaicos são voltados para equador, ou seja, para o sul no hemisfério norte e para norte no hemisfério sul. Já em relação ao ângulo de inclinação ele varia de acordo com a localização do sistema, uma vez que, cada local tem diferenças nos índices de radiação podendo ter variações diurnas, diárias, mensais, sazonais e anuais (YADAV e CHANDEL, 2013).

Como também, Yadav e Chancel (2013) afirmam que é primordial determinar o ângulo de inclinação ideal, uma vez que, além de ser importante para uma operação

eficiente de um painel solar o posicionamento incorreto dos painéis acarreta perda de energia solar. Em estudos realizados no Brasil, por Dos Santos e R  ther (2014), apresentou qual a angula  o ideal para cada estado, considerando a capital como referência devido a pouca varia  o do ângulo no estado, e sua mais taxa média de radia  o diária. Os dados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 -   ngulo de inclina  o e radia  o máxima diária por estado

| Estado |   ngulo de inclina  o | Radia  o máxima diária em kWh/m ² .dia |
|---------------------|-----------------------|---|
| Roraima | 3   | 5.3 |
| Amapá | 7   | 5.4 |
| Maranhão | 7   | 5.6 |
| Pará | 8   | 5.6 |
| Amazonas | 9   | 5.1 |
| Ceará | 8   | 5.7 |
| Piauí | 9   | 5.8 |
| Rio Grande do Norte | 8   | 5.5 |
| Paraíba | 9   | 5.4 |
| Pernambuco | 10   | 5.2 |
| Alagoas | 10   | 5.3 |
| Rondônia | 13   | 5.2 |
| Tocantins | 15   | 5.6 |
| Acre | 14   | 5.3 |
| Sergipe | 11   | 5.5 |
| Bahia | 16   | 5.5 |
| Mato Grosso | 19   | 5.6 |
| Distrito Federal | 20   | 5.7 |
| Goiás | 16   | 5.9 |

| | | |
|--------------------|-----|-----|
| Minas Gerais | 19° | 5.7 |
| Mato Grosso do Sul | 17° | 5.8 |
| Espírito Santo | 15° | 5.0 |
| Rio de Janeiro | 17° | 5.1 |
| São Paulo | 17° | 5.1 |
| Paraná | 18° | 4.9 |
| Santa Catarina | 19° | 4.8 |
| Rio Grande do Sul | 20° | 5.1 |

Fonte: Dos Santos e Rütther (2014) adaptado.

O Brasil está localizado no hemisfério sul, desse modo, a melhor orientação dos módulos fotovoltaicos é para o norte. Estudos realizados por Cronemberger et al. (2012), apresentam porcentagem de aproveitamento da irradiação, de acordo com a orientação do sistema e tipo de superfície utilizada, para sete cidades brasileiras. Os resultados são apresentados no quadro 3.

Quadro 3 - Aproveitamento da irradiação de acordo com orientação

| Cidade | Superfície | Aproveitamento da irradiação de acordo com orientação | | |
|---------------------|------------|---|----------------|--------------|
| | | Norte | Leste-Oeste | Sul |
| Porto Alegre (RS) | Telhados | 89,1% - 100% | 85,5% - 89,3% | 66,6% - 89% |
| Curitiba (PR) | Telhados | 92,3% - 100% | 87,5% - 92,5% | 71% - 92,3% |
| Belo Horizonte (MG) | Telhados | 92,1% - 100% | 87,6% - 92,4% | 70,7%- 92,1% |
| Brasília (DF) | Telhados | 92,5% - 100% | 88,6% - 92,9 % | 71,9%- 92,5% |
| Aracajú (SE) | Telhados | 96,8% - 100% | 93,1% - 97,8% | 83,5%- 97,4% |
| Teresina (PI) | Telhados | 96%- 100% | 93,9% - 98,6 % | 85,8%- 98,3% |
| Belém (PA) | Telhados | 93,3%- 100% | 94,6% - 99,7% | 89,9%- 99,4% |

Fonte: Cronemberger et al. (2012) adaptado

Como também, o quadro 4 apresenta quanticamente os fatores que influenciam a energia solar e a eficiência. Conclui-se, então, que os principais fatores que influencia um sistema de energia fotovoltaica são: temperatura, umidade, irradiação e velocidade do vento, além da angulação e posição geográfica do sistema.

Quadro 4 - Influência de indicadores climáticos na energia, eficiência e irradiação

| Fator que influencia | Fator influenciado | Correlação | Fonte |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------------|
| Temperatura | Energia Solar | 0,522 | Sum e Jung (2021) |
| | Irradiação | -0,044 | Krzysztof et al. (2016) |
| | Energia Solar | 0,597 | Camargo Francisco et al. (2019) |
| | Eficiência | 0,72 | Mariam e Husni (2006) |
| Umidade | Energia Solar | -0,49 | Camargo Francisco et al. (2019) |
| | Eficiência | -0,076 | Mariam e Husni (2006) |
| | Energia Solar | -0,569 | Sum e Jung (2021) |
| Irradiação | Energia Solar | 0,823 | Camargo Francisco et al. (2019) |
| | Energia Solar | 0,905 | Sum e Jung (2021) |
| | Eficiência | 0,978 | Mariam e Husni (2006) |
| Velocidade do vento | Energia solar | 0,1769 | Sum e Jung (2021) |
| | Energia Solar | 0,121 | Camargo Francisco et al. (2019) |
| | Eficiência | 0,398 | Mariam e Husni (2006) |

Fonte: Autora (2020)

2.7 ALGORITMO E ÁRVORE DE DECISÃO

As árvores de decisão (AD) são consideradas modelos hierárquicos aplicado em diversas áreas do conhecimento, uma vez que possui habilidade preditiva e de resolução de problemas de forma simples e objetiva (ARAUJO VIEIRA *et al.*, 2018).

De acordo com Monard e Baranauskas (2003), uma árvore de decisão é caracterizada por um nó de decisão que possui uma avaliação sobre certo atributo. Para cada produto do teste existe uma aresta que conecta a uma subárvore. Sendo que essa subárvore possui a mesma organização da árvore.

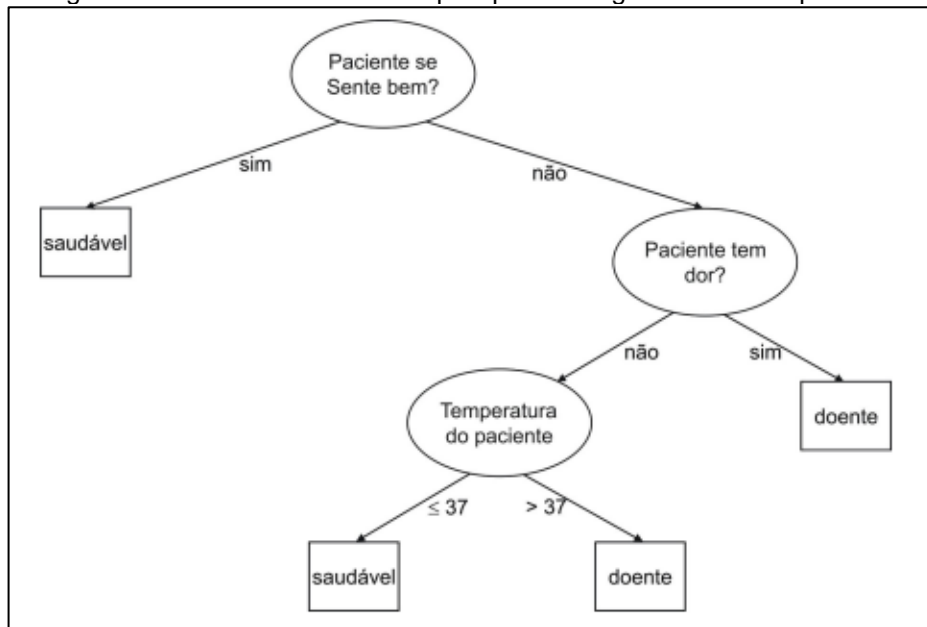
Como também, Halmenschlager (2002) discorre sobre AD em seu trabalho. Apresentando-a como estrutura de dados não linear, que apresenta um número finito de elementos, denominado pela autora como *nodos*. O *nodo* principal fica no topo da estrutura gráfica, chamado de *nodo* raiz ou *nodo* pai. Cada subárvore é considerada um *nodo* filho, caso o *nodo* não possua filhos ele é considerado um nó terminal que são denominadas folhas.

Dependendo da quantidade de filhos de cada nodo é possível classificar a AD. Aquela que possui dois filhos por cada nodo é considerada binária, já a que possui três filhos por nodo ternária e por fim, mista se tiver número de filhos por nodos distintos.

Em relação aos algoritmos, por definição é um processo ou conjunto de regras que serão seguidas para resolução de problemas, principalmente por um computador. Como também, é considerada uma fórmula computacional que de forma autônoma toma decisões baseando-se em regras de decisões ou modelos estatísticos sem que haja de forma evidente a intervenção humana (LEE, 2018).

A figura 7 apresenta um exemplo de árvore de decisão para tomada de decisão se uma pessoa está doente ou não.

Figura 7 – Árvore de decisão simples para o diagnóstico de um paciente



Fonte: Monard e Baranauskas (2003)

Como também, Monard e Baranauskas (2003) apresenta o algoritmo referente a AD apresentada.

```

if paciente se sente bem = sim then
    classe = saudável
else
    if paciente tem dor = não then
        if temperatura do paciente ≤ 37 then
            classe = saudável
        else {temperatura do paciente > 37}
            classe = doente
        end if
    else {paciente tem dor = sim}
        classe = doente
    end if
end if
  
```


3 METODOLOGIA DA PESQUISA

O tópico apresenta os métodos de pesquisa utilizados para desenvolver o presente trabalho.

3.1 MÉTODO DE PESQUISA

De acordo com Marcelino (2020), existem três tipos de pesquisa exploratórias, descritiva e explicativa. A primeira tem por objetivo tornar um problema explícito, como estudos de casos. A pesquisa descritiva como o nome já sugere, tem finalidade de descrever um fenômeno e como ele se expõem. Em relação a última classificação tem como alvo a busca de respostas de porquê algo acontece.

Neste trabalho a classificação que mais se encaixa é a de pesquisa exploratória uma vez que se trata de desenvolvimento de um algoritmo de decisão, que será voltado para sustentabilidade, e que englobam projetos de energia renováveis, mais especificamente energia fotovoltaica, um tema ainda não muito explorado no território nacional.

Com relação aos instrumentos de coleta de dados, utilizou-se informações coletadas por meio de uma revisão de literatura, dado que apresentou informações desenvolvidas por outros autores e pesquisadores disponíveis em periódicos e livro disponíveis eletronicamente (MARCELINO, 2020). No estado da arte procurou-se escolher autores e pesquisas relevantes para o tema escolhido, como também se priorizou pesquisas dos últimos 10 anos.

Em relação a abordagem do problema, a pesquisa é do tipo qualitativo-quantitativo. Os dados levantados serviram para percorrer um caminho no algoritmo de decisão que retornou como resposta o melhor tipo de projeto, considerando certos aspectos.

3.2 ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA

A estruturação da pesquisa seguiu o caminho de acordo com os objetivos específicos citados na sessão 1.2.2. Para o primeiro objetivo que é especificar os requisitos utilizados no desenvolvimento do algoritmo de decisão a metodologia

utilizada foi uma revisão de literatura, onde encontrou-se fatores que influenciavam a potência gerada.

Sendo elas temperatura, citado por Sum e Jung (2021), Krzysztof et al. (2016), Camargo Francisco et al. (2019) e Mariam e Husni (2006), irradiação, citado por Camargo Francisco et al. (2019), Sum e Jung (2021) e Mariam e Husni (2006), umidade, citados por Camargo Francisco et al. (2019), Mariam e Husni (2006) e Sum e Jung (2021), PM10, citado por Krzysztof et al. (2016) e velocidade do vento, citado por Camargo Francisco et al. (2019), Mariam e Husni (2006) e Sum e Jung (2021).

Além dos fatores já citados, também há influência do ângulo de inclinação, citados por Yadav e Chancel (2013) e Dos Santos e Rütther (2014), e da posição geográfica citado por Cronemberger et al. (2012).

Já o segundo objetivo que é desenvolver um algoritmo de decisão foi construída a partir dos levantamentos de requisitos, expostos na sessão 5.2. Esses requisitos foram previamente apresentados na revisão de literatura, na sessão 2.6. Como também, foi utilizado como parâmetro para desenvolvimento do algoritmo o trabalho de Sağlam (2010) que apresenta em seu estudo qual seria a potência de uma célula de acordo com faixas de irradiação e temperatura.

A árvore de decisão foi construída em software online denominado Lucidchart em que foi possível modelar o algoritmo em forma de árvore. Devido a sua extensão separou-se em três árvores a partir do primeiro nó, as três árvores podem ser visualizadas no apêndice B.

O último objetivo que é a de utilizar a linguagem de programação Python para desenvolver um código, a partir do algoritmo de decisão, propôs-se a visualização do algoritmo por meio de um código executável escrito em linguagem Python auxiliado pelo software de desenvolvimento PyCharm.

O processo de modelagem do algoritmo, tanto em forma de árvore quanto em código executável, foi descrito e diagramado utilizando a metodologia BPMN (*Business Process Model and Notation*) uma notação muito usada para mapeamento de processos, uma vez que, transforma um processo de negócio em um diagrama de fácil leitura tanto para utilizadores técnicos quanto para utilizadores de negócios. O software escolhido para essa modelagem foi o Bizagi.

4 PROCESSO DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR MEIO DO SOL

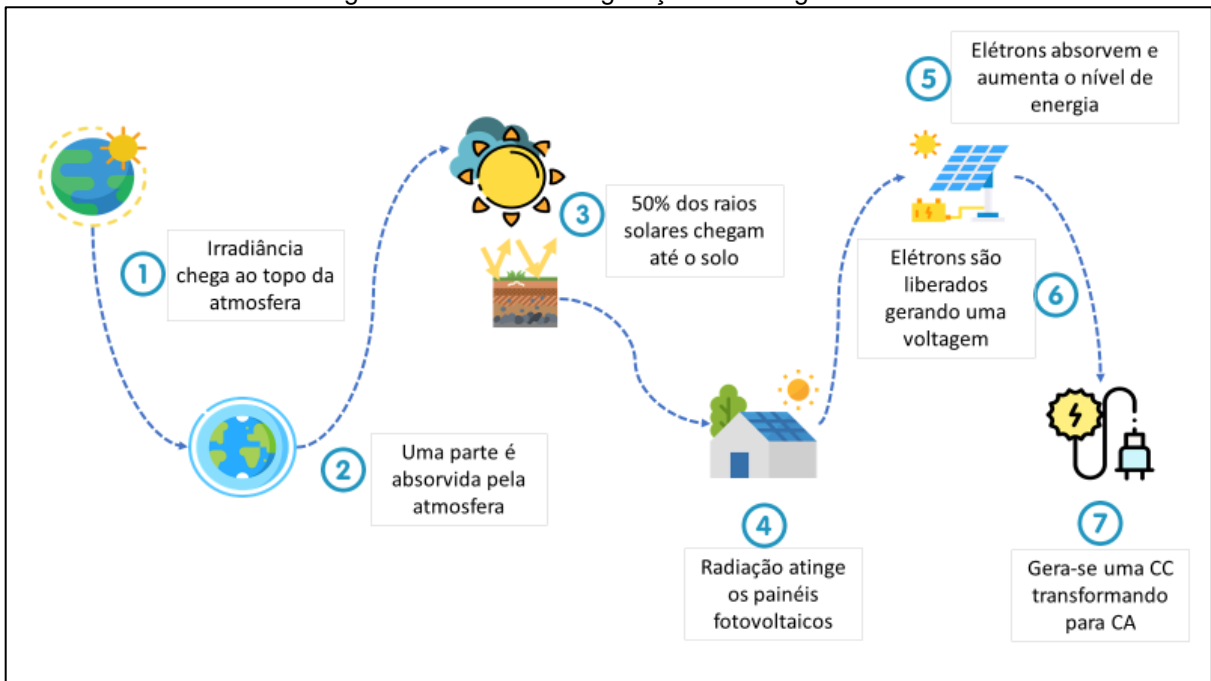
A fonte de energia de sistemas fotovoltaicos são os raios solares, mais especificamente radiação solar. Como também, o recurso energético solar é diretamente ou indiretamente ligada a origem dos outros tipos de fontes renováveis (EL CHAAR et al., 2011). A sua disponibilidade está ligada de forma direta a conceitos astronômicos, como a posição relativa entre o Sol e a Terra (PEREIRA et al., 2017).

O processo da geração de energia fotovoltaica se inicia quando a radiação solar alcança o topo da atmosfera. Sendo composta por 9% de radiação ultravioleta, em torno de 40% de radiação no espectro visível e cerca de 50% é de radiação infravermelha. Da radiação total que consegue penetrar a atmosfera apenas 50% chega ao solo, o restante é absorvido por nuvens ou gases ou até refletido de volta para o espaço. (HINRICHS et al., 2010).

A radiação ao atingir uma célula fotovoltaica acontece o efeito fotovoltaico, sendo a base da conversão de luz em eletricidade. Este fenômeno é descrito como a transmissão de energia pura do sol para alguns elétrons o suficiente para aumentar seu nível de energia e, então, liberá-los. Por conseguinte, na célula fotovoltaica existe um condutor externo, que liga a camada positiva à negativa embutida no material condutor das células, gerando, assim, um fluxo de elétrons que por consequência produz corrente elétrica (PARIDA et al., 2011; DO NASCIMENTO, 2004).

A corrente produzida pelos módulos fotovoltaicos é do tipo corrente contínua (CC) e necessita ser transformada em corrente alternada (CA), esse processo ocorre por meio de inversor ou um transformador. Deste modo, a energia elétrica já está apta a ser utilizada e assim finaliza o processo de geração de energia por meio do sol. A figura 8 ilustra esse processo:

Figura 8 - Processo da geração de energia solar



Fonte: El Chaar et al. (2011), Pereira et al. (2017), Hinrichs et al. (2010), Parida et al. (201, Do Nascimento (2004) adaptado.

5 RESULTADOS

Nesta sessão são apresentados todos os resultados desenvolvidos no presente trabalho, iniciando pelo processo de modelagem do algoritmo, requisitos do algoritmo, os pressupostos e restrições, apresentando em si a construção do algoritmo e um exemplo do funcionamento do código criado em Python.

5.1 MODELAGEM DO PROCESSO DE DESENHO DO ALGORITMO

Inicialmente, foi definido que para modelagem de algoritmo de decisão era necessário elaborar um processo que auxiliasse no seu desenvolvimento. Primeiramente, a autora elencou, por meio da revisão de literatura, os fatores que influenciam na geração de energia solar, esses fatores eram principalmente climatológicos, de angulação e posição do sistema.

Com esses fatores, foi possível escolher os requisitos necessários para o planejamento de projeto fotovoltaico. A autora definiu os requisitos dividindo-os em 4 grandes categorias, contabilizando no total 14 requisitos.

Em posse dos requisitos, estipulou-se os pressupostos do modelo e as restrições. Dado que, dentre os requisitos levantados alguns eram inerentes a um projeto de energia fotovoltaica, ou seja, sem eles não haveria viabilidade no projeto. Como também, nem todos os requisitos podem ser incluídos no algoritmo devido à baixa influência no modelo ou falta de embasamento teórico.

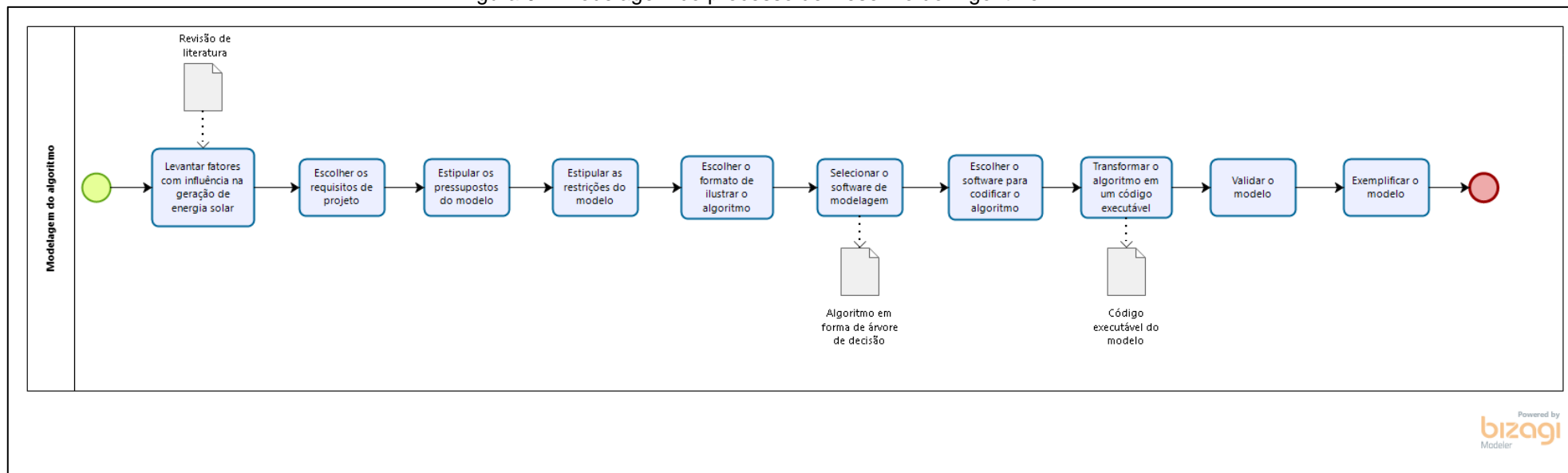
Ademais, foi estabelecido que a melhor forma de ilustrar o algoritmo de decisão era em formar de árvore de decisão. Uma vez que ele pode auxiliar na visualização das ramificações e consequências delas. A definição das ordens dos nós ocorreu se baseando na importância para a classificação do tipo de projeto e a influência na geração de potência.

O software online Lucidchart foi o escolhido para diagramar o algoritmo em forma de árvore. Entretanto, devido a sua extensão necessitou apresentar o algoritmo de outra forma. Desse modo, ponderou-se que a melhor forma seria a de formular um código executável, e, escolheu-se a para isso o software PyCharm que utiliza a linguagem Python.

Por final, após validar o modelo na literatura atual. Utilizou dados reais de uma microempresa do ramo de energia solar para elucidar o código executável e por

consequência o algoritmo de decisão. O processo descrito nos parágrafos acima é ilustrado na figura 9.

Figura 9 – Modelagem do processo de Desenho do Algoritmo



Fonte: Autora (2021).

5.2 REQUISITOS DO ALGORITMO

O principal objetivo deste estudo que é a criação de um algoritmo de decisão do melhor tipo de projeto, para concluir esse objetivo necessitou primeiramente levantar requisitos que irão compor o algoritmo de decisão. Esses requisitos são divididos em 4 grandes grupos sendo eles: demanda por energia, viabilidade econômica, viabilidade técnica e localização.

O primeiro está relacionado a potência de energia do sistema fotovoltaico, ou seja, a quantidade kW serão instalados. A partir da quantidade de kW instalados é possível caracterizar por projetos de pequeno porte, mini e microgeração, ou grandes plantas solares. Projetos de microgeração possuem potência instalada de até 75 kW, os de minigeração de 75 kW até 5 mW e grandes plantas solares acima de 5 mW (ANEEL, 2016)

O montante gasto no projeto é relativo à viabilidade econômica, sendo ele relacionado ao dinheiro gasto como também ao tempo disponível para finalização do projeto, critérios importantes a serem considerados.

Ademais, a viabilidade técnica apresenta subcategorias referente área em que o sistema fotovoltaico deve ser instalado. Foi considerado nessa categoria: o tipo de infraestrutura disponível, a qualidade, área útil, acesso a algum tipo de fonte de energia, ângulo de inclinação e posição geográfica. Em relação a fonte de energia, a classificação foi apresentada no quadro 1, sobre a inclinação discorreu sobre na tabela 1 e a posição geográfica no quadro 3.

A última categoria, a localização, ou seja, onde o projeto será instalado, é caracterizado por atributos climatológicos. Sendo esses: irradiação, temperatura, umidade e poluição média. Esses requisitos estão baseados na sessão 2.6, mais especificamente. O quadro 5 apresenta um resumo dos pontos a apresentados.

Quadro 5 - Requisitos dos tipos de projetos

| Categorias | Subcategorias | Definição | Exemplos |
|------------------------------|--|---|---|
| Demanda de energia | | Quantidade de kW serão instalados | Microgerações, minigerções ou grandes plantas solares |
| Viabilidade econômica | Tempo | Tempo total disponível para realizar o projeto | O projeto deve ser realizado em 3 meses |
| | Dinheiro | Quantidade monetária disponível para realizar o projeto | O custo máximo do projeto é R\$20.000,00 |
| Viabilidade técnica | Infraestrutura disponível | Existência uma superfície disponível | Telhados ou outro tipo de superfície apto a receber os sistemas fotovoltaicos |
| | Qualidade | Condição da área a ser utilizada | Se a superfície tem acesso a luz solar durante a maior parte do dia |
| | Área útil | Área disponível para instalar os módulos solares | O projeto deve ser instalado numa área mínima de 10 m ² |
| | Acesso à fonte de energia | Se o local possui conexão com a rede elétrica ou outra fonte de energia | Projeto <i>On Grid</i> , isolados ou híbridos |
| | Ângulo de inclinação do sistema fotovoltaico | Melhor ângulo de instalação de acordo com o estado | No Distrito Federal o melhor ângulo é 20° |

| | | | |
|--------------------|---------------------|--|--|
| | Posição geográfica | Para qual ponto cardinal está voltado a superfície | Superfície voltada para o norte, sul, leste ou oeste |
| Localização | Irradiância | A radiação incidente média no local | Quanto mais radiação incidente mais o sistema pode gerar energia |
| | Temperatura | Temperatura média do local | Menores temperaturas influenciam positivamente o sistema |
| | Umidade | Umidade média do local | Menores umidades influenciam positivamente o sistema |
| | Velocidade do vento | Velocidade média do Vento | Maiores velocidades influenciam positivamente o sistema |
| | Poluição | Poluição média do local | Menor taxa de poluição influenciam positivamente o sistema |

Fonte: Autora (2020).

5.3 PRESSUPOSTOS E RESTRIÇÕES

A partir dos requisitos descritos na sessão 5.2, estabeleceu que alguns dos requisitos elencados apesar de serem vitais para um projeto fotovoltaico não agregam no algoritmo de decisão. Uma vez que, sem esses requisitos não há exequibilidade do projeto. Para isso tratou-se esses requisitos como pressupostos, sendo eles:

1. Os módulos fotovoltaicos serão instalados com a melhor angulação para sua localização geográfica, de acordo com a tabela 1;
2. Há superfície disponível para instalação do sistema conforme o tipo de geração selecionada;
3. A área disponível para instalação do sistema, conforme o tipo de geração selecionada, é suficiente;
4. Há recursos financeiros disponíveis para realizar o projeto;
5. Há tempo hábil para executar o projeto;
6. A irradiação média do local é maior que 200 W/m^2 ;
7. A temperatura média anual é menor que 50°C ;

Como também, há três restrições no modelo: poluição do ar, a velocidade do vento e umidade. Como apresentado nas outras sessões a poluição tem efeito negativo na produção de energia solar. Contudo, não foi possível considerar a qualidade do ar na árvore de decisão devido à grande parte estudos, como Gholami et al. (2018), Ma e Abd (2017), Sarver, Al-qaraghuli e Kazmerski (2013), tratarem a poluição como um tipo de sujeira e não a principal fonte de perda em sistemas de energia solar.

Já a velocidade do vento foi desconsiderada do algoritmo de decisão uma vez que seu impacto na potência gerada, segundo estudos citados no quadro 4, é considerado baixo. Desse modo, tomou-se a decisão de considerá-los como uma restrição do modelo.

A umidade, de acordo com a quadro 4, tem influência consideravelmente negativa na potência de um sistema de energia solar. A umidade relativa média dos estados brasileiros pode ser consultada no anexo A. Entretanto, para utilização desse fator no algoritmo de decisão era necessário ter conhecimento sobre a influência da umidade na potência gerada conjuntamente com os fatores temperatura e irradiação.

Dado que, na literatura atual não se localizou trabalhos que discorriam sobre os três fatores simultaneamente, apenas sobre a temperatura e irradiação. O único estudo encontrado que discorre sobre a umidade foi o de Kazem (2016), que apresentou um estudo de caso em Sohar, cidade Omã, em que se coletou dados da temperatura do ar, irradiação solar e velocidade do vento e comparou-se com os dados de umidade. Contudo, o estudo comparou os fatores individualmente, desse modo, não sendo útil para o presente trabalho.

5.4 ALGORITMO DE DECISÃO

O algoritmo de decisão foi construído em formato de árvore, no total a árvore possui 6 nós. Devido a extensão da árvore de decisão optou-se por apresentar um apanhado dos principais pontos da árvore. A figura 11 apresenta um resumo desses principais, como também o resultado de cada caminho percorrido. Sendo ele uma combinação de projetos de minigeração, microgeração ou grandes plantas solares e projetos isolados, *On grid* ou híbrido. A algoritmo completo é apresentado no apêndice A.

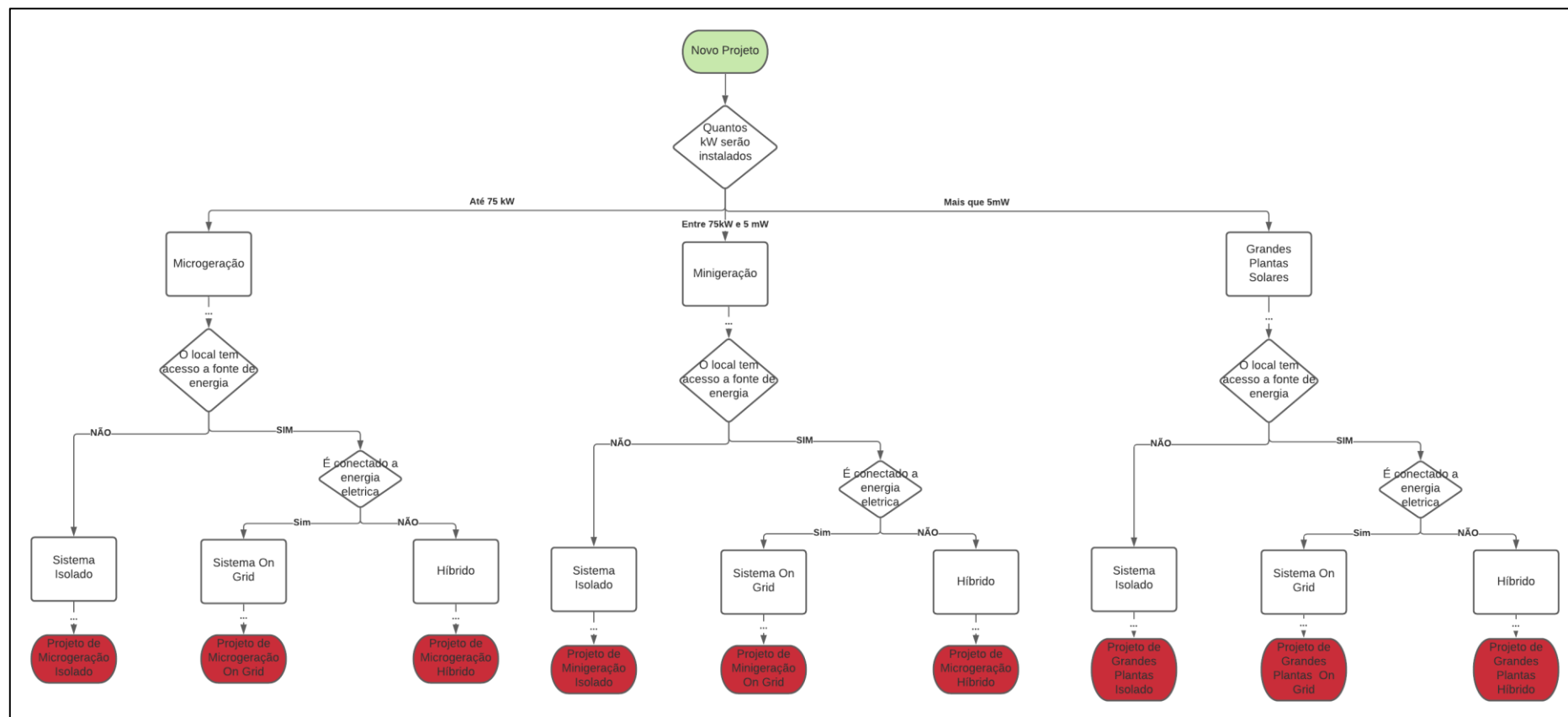
O primeiro nó de decisão refere-se à quantidade de kW que serão instalados, podendo assim ser um projeto de minigeração, microgeração ou de grandes plantas solares. Essa classificação foi descrita de forma mais detalhada na sessão 5.2.

O segundo nó relaciona-se com a orientação do local de instalação: norte, sul leste ou oeste. Cada orientação possui uma porcentagem de aproveitamento da irradiação que pode ser consultado no quadro 3.

Contudo, o quadro 3 apresenta a variações para 7 cidades do Brasil, escolheu-se então para utilizar no algoritmo apenas a cidade que possua a maior porcentagem de aproveitamento em cada orientação. Para exemplificar, na orientação para o sul a cidade escolhida foi Belém (PA) com 99,4% de aproveitamento. Na orientação para o norte todas possuíam 100% de aproveitamento dos raios solares, já para o leste e o oeste também foi escolhida a cidade de Belém (PA) com 99,7% aproveitamento dos raios solares.

Os dois nós seguintes são do tipo binário, sim ou não. Uma das decisões é se o local em que será instalado o sistema fotovoltaico possui acesso a alguma fonte de energia caso a resposta seja não o caminho se trata de um projeto fotovoltaico isolado. Se a resposta for sim o outro nó de decisão é acionado, em que a decisão é referente se há conexão com energia elétrica, se sim é um sistema denominado *On Grid*, caso contrário denominado Híbrido.

Figura 11 – Algoritmo de decisão forma compactada

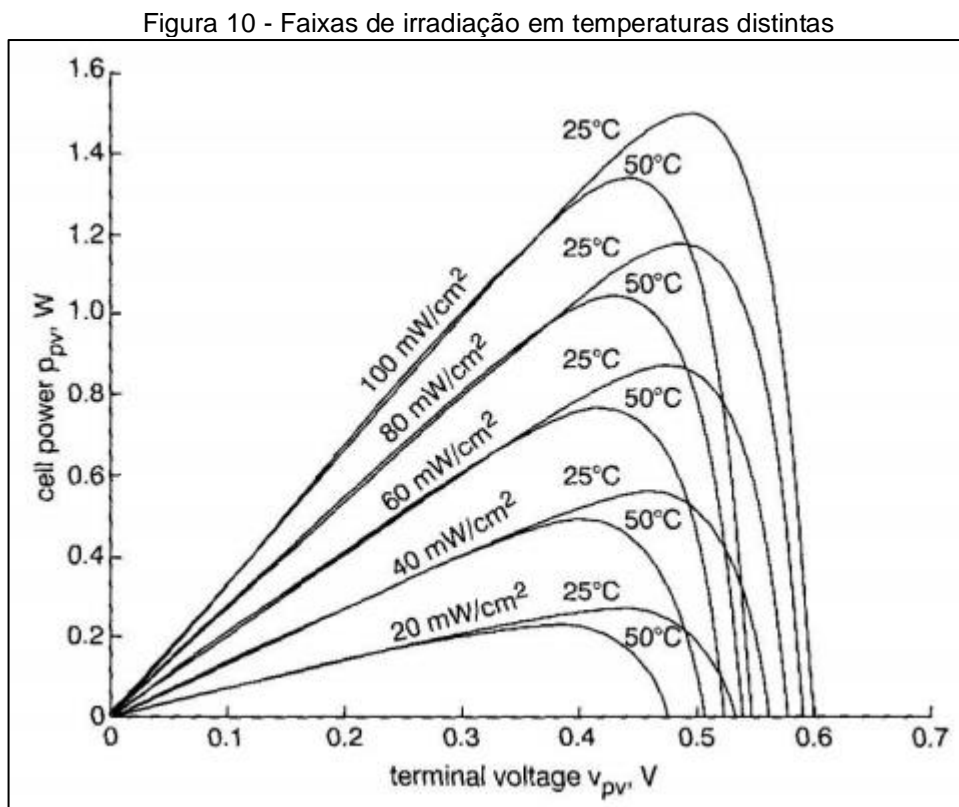


Fonte: Autora (2021).

Os próximos nós são referentes a potência de um modulo sobre diversos fatores climáticos. O quinto nó a decisão a ser tomada é qual faixa de irradiação média do local que será instalado o sistema. As faixas de irradiação vão de 200 a 600 W/m^2 e 600 a 1000 W/m^2 .

O sexto nó o julgamento é de qual a faixa média de temperatura no local. Podendo ser menos que 20°C ou entre 20°C e 50°C. Com o resultado desses dois nós, apresenta-se qual seria a faixa de potência de um módulo fotovoltaico de acordo com o caminho escolhido.

Essa faixa de potência foi baseada na figura 10, apresentado por Sağlam (2010). Para utilização dos dados foi necessário transformar os dados de potência e voltagem da célula para potência e voltagem de um módulo, essa transformação se deu baseando em um módulo que contém 72 células, uma vez que, é o mais utilizado atualmente no mercado. Como também, fixou-se a tensão em 32,4 V.



Fonte: Sağlam (2010)

Os dados transformados são apresentados nas tabelas abaixo, a tabela 2 é considerando que há 100% do aproveitamento da irradiação, no caso do Brasil, com a superfície de instalação de um sistema fotovoltaico voltado para o norte. Já a tabela 3 apresenta os dados da superfície voltado para o sul, considerando o aproveitamento de 99,4%. A tabela 4 apresenta dados da superfície voltada para leste ou para o oeste, com aproveitamento de 99,7%.

Tabela 2 - Potência de um módulo de acordo com a faixa de temperatura e de irradiação, para 100% de aproveitamento dos raios solares.

| Irradiação | Temperatura | | | | |
|------------|-----------------------------|----------------|------------|------------|---------------|
| | | 25°< | 25° | 50° | >50 |
| | 200 W/m² | >21.6 W | 21.6 W | 14.4 W | <14.4 W |
| | 400 W/m² | >39.6 W | 39.6 W | 29.52 W | <29.52 W |
| | 600 W/m² | >58.32 W | 58.32 W | 50.4 W | <50.4 W |
| | 800 W/m² | >82.8 W | 82.8 W | 72 W | <72 W |
| | 1000 W/m² | >102.24 W | 102.24 W | 97.2 W | <97.2 W |

Fonte: Sağlam (2010) adaptado.

Tabela 3 - Potência de um módulo de acordo com a faixa de temperatura e de irradiação, para 99,4% de aproveitamento dos raios solares.

| Irradiação | Temperatura | | | | |
|------------|-----------------------------|----------------|------------|------------|---------------|
| | | 25°< | 25° | 50° | >50 |
| | 200 W/m² | >21.47 W | 21.47 W | 14.31 W | <14.31 W |
| | 400 W/m² | >39.36 W | 39.36 W | 29.34 W | <29.34 W |
| | 600 W/m² | >57.97 W | 57.97 W | 50.10 W | <50.10 W |
| | 800 W/m² | >82.30 W | 82.30 W | 71.57 W | <71.57 W |
| | 1000 W/m² | >101.63 W | 101.63 W | 96.62 W | <96.62 W |

Fonte: Sağlam (2010) adaptado.

Tabela 4 - Potência de um módulo de acordo com a faixa de temperatura e de irradiação, para 99,7% de aproveitamento dos raios solares.

| Irradiação | Temperatura | | | | |
|------------|----------------------------|----------------|------------|------------|---------------|
| | | 25°< | 25° | 50° | >50 |
| | 200 W/m² | >21.54 W | 21.54 W | 14.36 W | <14.36 W |
| | 400 W/m² | >39.48 W | 39.48 W | 29.43 W | <29.43 W |

| | | | | | |
|--|-----------------------------|-----------|----------|---------|----------|
| | 600 W/m² | >58.15 W | 58.15 W | 50.25 W | <50.25 W |
| | 800 W/m² | >82.55 W | 82.55 W | 71.78 W | <71.78 W |
| | 1000 W/m² | >101.93 W | 101.93 W | 96.91 W | <96.91 W |

Fonte: Sağlam (2010) adaptado.

5.5 APLICAÇÃO DO ALGORITMO EM UM CASO

A exemplificação do modelo foi feita a partir de dados do projeto piloto de uma microempresa do ramo de energia solar. Fundada em 2018, denomina-se Reny Sol Sustentabilidade, essa está localizada na cidade de Sobradinho, cidade satélite do Distrito Federal.

Os dados utilizados para apresentação do modelo são apresentados no quadro 6. Com esses dados, inseriu-se no código executável criado a partir do algoritmo proposto.

Quadro 6 - Dados do projeto piloto

| Informação | Dado | Fonte |
|--------------------------------------|------------------------|----------------|
| Potência instalada | 1,8 kW | Dados Reny Sol |
| Orientação | Norte | Dados Reny Sol |
| Local de instalação | Sobradinho-DF | Dados Reny Sol |
| Tipo de conexão com fonte de energia | Energia elétrica | Dados Reny Sol |
| Irradiação média | 200 W/m ² * | Figura 5 |
| Temperatura média | 22°C | Figura 6 |

Fonte: Autora (2021).

Figura 12 - Resultados da utilização do programa desenvolvido com os dados do quadro 6

```

Quantos Kw serão instalados no seu projeto: 1.8
Seu projeto é uma microgeração
Para onde está orientado o seu projeto solar? Digite: Norte,Sul, Leste ou Oeste: norte
O local tem até 100% de aproveitamento dos raios solares!
O local tem acesso a fonte de energia, escreva sim ou não: sim
É conectado a Energia elétrica: Digite sim ou não: sim
O sistema recomendado é On Grid
Qual a faixa de irradiação média do local, Digite um valor entre 200 e 1000 W/m²: 200
Qual a temperatura média do local, digite um valor entre 0 e 50°C: 22

Relatório:

- Seu projeto é de 1.8 kw;
- Seu projeto é uma microgeração;
- Orientado para o norte ;
- O sistema recomendado é On Grid;
- O local tem até 100% de aproveitamento dos raios solares!;
- A Potência gerada por um módulo está entre 21,6 e 58,3w (Tensão= 32,4V).

```

Fonte: Autora (2021).

Como visto na figura 12, com os dados do projeto piloto da Reny Sol Sustentabilidade, o código gerou um relatório afirmando que o projeto é de Microgeração, On Grid, podendo aproveitar até 100% dos raios solares e com potência gerada de um módulo variando entre 21,6 e 58,3 W. O relatório final varia de acordo com os dados de entrada. O algoritmo é apresentado mais detalhadamente nos apêndices A.

Com o resultado apresentado, podemos verificar que o tanto o algoritmo criado quanto o código executável são úteis para sua aplicação em empresas do ramo de energia solar no Brasil. Dado que, além de classificar o tipo de projeto o algoritmo retorna uma previsão da geração de potência de um módulo considerando a orientação do sistema, temperatura e irradiação do local. Desse modo, com os *outputs* é possível planejar melhor como será a eficiência do sistema fotovoltaico. Como também, com o código executável torna o processo decisório automatizado e por conseguinte com menos falhas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia solar fotovoltaica é um tipo de geração de energia em que se utiliza os raios solares como fonte, ela é considerada uma energia renovável, uma vez que, sua principal fonte é inesgotável e não gera nenhum tipo de poluição. Apesar do seu custo ainda elevado, a energia fotovoltaica vem crescendo no cenário mundial e no brasileiro.

A tecnologia utilizada vem evoluindo para fornecer sistemas cada vez mais eficientes e baratos. Para se atingir a eficiência energética, além dos equipamentos utilizados é necessário considerar fatores climáticos e técnicos que influenciam consideravelmente a potência gerada de um sistema fotovoltaico.

Apesar de diversos trabalhos abordarem o tema de PV, poucos apresentam os fatores que influenciam a geração de potência e não se encontrou nenhum que compilasse todos os fatores e gerasse uma classificação do melhor tipo de projeto de acordo com esses fatores.

Desse modo, um dos principais objetivos desse trabalho foi levantar os requisitos que possui influência na potência gerada ou são necessários para classificação do tipo de projeto. Sendo os principais: quantidade de kW a serem instalados, orientação geográfica, acesso à fonte de energia, irradiação e temperatura.

Além dos requisitos principais, outros foram utilizados como pressupostos (ângulo de inclinação, superfície disponível, área útil, recursos financeiros, tempo hábil, irradiação mínima e temperatura máxima) ou restrições (poluição, velocidade do vento e umidade).

Em posse desses requisitos foi desenvolvido um algoritmo de decisão em forma de árvore e posteriormente um código escrito em linguagem Python, sendo esses os dois outros objetivos. Com o alcance desses objetivos, empregou-se dados de uma microempresa do ramo para exemplificar o funcionamento do algoritmo e do programa. Encontrou-se como *output*, o projeto é de microgeração, tendo aproveitamento de 100% dos raios solares, sistema *On grid* e com a faixa de potência gerada por módulo de 21,6 a 58,3 W.

Com os resultados encontrados, se conclui que o algoritmo criado cumpre sua função de auxiliar a tomada de decisão e apresentar um panorama da possível geração de potência modular. Com isso, demonstra uma grande aplicabilidade no ramo de energia solar no território brasileiro. Uma vez que, torna o processo decisório

automatizado e suportado por um algoritmo validado na literatura atual, em consequência disso tornando a classificação do tipo de projeto mais assertiva.

O principal desafio para autora no desenvolvimento do presente trabalho foi elencar na literatura vigente os requisitos do projeto. Uma vez que, ainda não foram desenvolvidos trabalhos que agreguem todos os fatores que influenciam no planejamento de um projeto fotovoltaico. Por isso, o modelo necessitou ter restrições em seu desenvolvimento.

Sugere-se para trabalhos futuros que se aprimore o algoritmo de decisão, considerando as restrições, velocidade do vento, umidade e poluição, como parte do modelo tornando-o mais completo em termos de fatores que influenciem a potência gerada de um sistema de energia solar fotovoltaico. Como também, o desenvolvimento de uma interface mais amigável para utilização o código desenvolvido em Python, tornando assim um produto mais acessível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AirVisual Earth- 3D Real Time air pollution map, 2020. Disponível em : < <https://www.iqair.com/earth> >. Acesso em : 15 nov. 2020.

AMEUR, A. *et al.* Forecast modeling and performance assessment of solar PV systems. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 267, p. 122167, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122167>

ANEEL - Agência Nacional da Energia Elétrica. **ANEEL aprova regras para facilitar a geração de energia nas unidades consumidoras**. Disponível em < http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5457&id_area=90 > ; 2012 [acesso em 07/10/2020].

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica / **Agência Nacional de Energia Elétrica. 2. ed** – Brasília: ANEEL, 2016.

ANGELLO, Joseph E. *et al.* A Rapid Adaptive Needs Assessment kit for water quality monitoring in humanitarian assistance & disaster response applications. In: **2012 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium**. IEEE, 2012. p. 34-39.

ARAUJO VIEIRA, E. M. de *et al.* Avaliação da performance do algoritmo J48 para construção de modelos baseados em árvores de decisão. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 80–90, 2018. Available at: <https://doi.org/10.5335/rbca.v10i2.8078>

ASUMADU-SARKODIE, Samuel; OWUSU, Phebe Asantewaa. A review of Ghana's energy sector national energy statistics and policy framework. **Cogent Engineering**, v. 3, n. 1, p. 1155274, 2016.

BAHAIDARAH, H. *et al.* Performance evaluation of a PV module under climatic conditions of Dhahran, Saudi Arabia. **Energy Exploration and Exploitation**, [s. l.], v. 33, n. 6, p. 909–930, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1260/0144-5987.33.6.909>

BEN-HAIM, Yakov. **Info-gap decision theory: decisions under severe uncertainty**. Elsevier, 2006.

BERTOI, E. F. (2012). **Análise dos incentivos à microgeração distribuída sob a perspectiva da viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. *Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil*.

BEZERRA, Francisco Diniz. Nordeste:“Futuro Promissor para a Energia Solar”. **Caderno Setorial, ETENE-BNB**, n. 31, 2018.

BRAGA, A. F. B. *et al.* New processes for the production of solar-grade polycrystalline silicon: A review. **Solar energy materials and solar cells**, v. 92, n. 4,

p. 418-424, 2008.

BRASIL. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**. 2021.

BONINI, Jéssica Augusti. Aplicação de algoritmos de árvore de decisão sobre uma base de dados de câncer de mama. **Revista ComInG-Communications and Innovations Gazette**, v. 1, n. 1, p. 57-67, 2016.

BURSZTYN, MARCEL. Energia solar e desenvolvimento sustentável no Semiárido: o desafio da integração de políticas públicas1. **Estudos Avançados**, v. 34, n. 98, p. 167-186, 2020.

CALAZANS, Alvaro et al. Economic analysis of a photovoltaic system connected to the grid in Recife, Brazil. In: **2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)**. IEEE, 2015. p. 1-5.

CAPASSO, Andrea et al. Multi-wall carbon nanotube coating of fluorine-doped tin oxide as an electrode surface modifier for polymer solar cells. **Solar energy materials and solar cells**, v. 122, p. 297-302, 2014.

CHIGUERU, Tiba; FRAIDENRAICH, N. Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de dados solarimetricos. **Universitária da UFPE**, 2000.

Climatologia da umidade relativa, INPE (2021). Disponível em: <
<http://clima1.cptec.inpe.br/monitoramentobrasil/pt> >. Acesso em: 27 de mar. de 2021.

CHOPP, Ellen; KRENZINGER, Arno. Estudo comparativo do uso de inversor string e micro inversores na geração de energia elétrica de uma instalação fotovoltaica com sombreamento parcial. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**.

CRONEMBERGER, Joara; CAAMAÑO-MARTÍN, Estefanía; SÁNCHEZ, Sergio Vega. Assessing the solar irradiation potential for solar photovoltaic applications in buildings at low latitudes—Making the case for Brazil. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 264-272, 2012.

DE JONG, Pieter; KIPERSTOK, Asher; TORRES, Ednildo A. Economic and environmental analysis of electricity generation technologies in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 725-739, 2015.

DEMAIN, Colienne; JOURNÉE, Michel; BERTRAND, Cédric. Evaluation of different models to estimate the global solar radiation on inclined surfaces. **Renewable energy**, v. 50, p. 710-721, 2013.

DIERKES, Sascha. Load balancing with a fuzzy-decision algorithm. **Information sciences**, v. 97, n. 1-2, p. 159-177, 1997.

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

DOS SANTOS, Ísis Portolan; RÜTHER, Ricardo. Limitations in solar module azimuth and tilt angles in building integrated photovoltaics at low latitude tropical sites in Brazil. **Renewable energy**, v. 63, p. 116-124, 2014.

DOU, Letian et al. Tandem polymer solar cells featuring a spectrally matched low-bandgap polymer. **Nature Photonics**, v. 6, n. 3, p. 180-185, 2012.

DUBEY, Swapnil; SARVAIYA, Jatin Narotam; SESHADRI, Bharath. Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world—a review. **Energy Procedia**, v. 33, p. 311-321, 2013.

EDENHOFER, Ottmar et al. (Ed.). **Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge University Press, 2011

EFRAIM, Turban. **Decision support and business intelligence systems**. Pearson Education India, 2011.

EL CHAAR, L. et al. Review of photovoltaic technologies. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 15, n. 5, p. 2165-2175, 2011.

FERREIRA, Agmar et al. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 181-191, 2018.

GARCIA, Gabriela; NOGUEIRA, Eliel Ferreira; BETINI, Roberto Cesar. Solar Energy for Residential Use and Its Contribution to the Energy Matrix of the State of Paraná. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, n. SPE, 2018.

GHOLAMI, A. et al. Experimental investigation of dust deposition effects on photovoltaic output performance. *Solar Energy*, [s. l.], v. 159, n. November 2017, p. 346–352, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.010>

GOMES, P. Vilaça et al. Technical-economic analysis for the integration of PV systems in Brazil considering policy and regulatory issues. **Energy policy**, v. 115, p. 199-206, 2018.

HALMENSCHLAGER, Carine. Um algoritmo para indução de árvores e regras de decisão. 2002.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin; DOS REIS, Lineu Belico. **Energia e Meio Ambiente**. Tradução técnica: Lineu Belico dos Reis, Flávio Maron Vichi, Leonardo Freire Mello. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

IAE, Country Progress, 2019. Disponível em:< <https://www.iea.org/countries/brazil>> . Acesso em: 10 out. 2020.

IAE, Tracking Progress, 2020. Disponível em:< <https://www.iea.org/reports/solar-pv>> . Acesso em: 22 de abril de 2021.

KAZEM, Hussein A.; CHAICHAN, Miqdam T. Effect of humidity on photovoltaic performance based on experimental study. **International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)**, v. 10, n. 23, p. 43572-43577, 2015.

KRZYSZTOF, Pytel et al. An influence of selected conditions on the production of energy in photovoltaic panels based on correlation coefficients. In: **2016 17th International Carpathian Control Conference (ICCC)**. IEEE, 2016. p. 401-406.

LAN, Z.; LI, Jian. Photovoltaic Technology and Electricity Saving Strategies for Fixed-Velocity-Measuring System. **TELKOMNIKA Indones J Electr Eng**, v. 12, n. 6, p. 4419-4426, 2014.

LACOURCIERE, Andrea; KUMAR, Orissa; APOLD, Susan. Implementing an OR contact precautions decision algorithm to promote interprofessional teamwork for infection prevention. **AORN journal**, v. 109, n. 5, p. 597-611, 2019.

LEE, Min Kyung. Understanding perception of algorithmic decisions: Fairness, trust, and emotion in response to algorithmic management. **Big Data & Society**, v. 5, n. 1, p. 2053951718756684, 2018.

LI, P.; ZHOU, K.; YANG, S. Photovoltaic Power Forecasting: Models and Methods. **2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration, EI2 2018 - Proceedings**, [s. l.], p. 1–6, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1109/EI2.2018.8582674>

LUPANGU, C.; BANSAL, R. C. A review of technical issues on the development of solar photovoltaic systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 950-965, 2017.

MA, M.; ABD, N. **Effects of operational conditions on the energy efficiency of photovoltaic modules operating in Malaysia**. [s. l.], v. 143, p. 912–924, 2017.

MANNA, T. K.; MAHAJAN, S. M. Nanotechnology in the development of photovoltaic cells. In: **2007 International Conference on Clean Electrical Power**. IEEE, 2007. p. 379-386.

MARCELINO, Carla Andréia Alves da Silva. Metodologia de pesquisa. **Curitiba: Contentus**, 2020.

MARIAM, W. M. W.; HUSNI, S. Influence of Malaysian climate on the efficiency of polycrystalline solar cells. In: **2006 IEEE International Power and Energy Conference**. IEEE, 2006. p. 54-57.

MASSON, Gaëtan et al. Global market outlook for photovoltaics 2013-2017. **European Photovoltaic Industry Association**, p. 12-32, 2013.

MITIGATION, Climate Change. IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation. **Renewable Energy**, v. 20, n. 11, 2011.

MONARD, Maria Carolina; BARANAUSKAS, José Augusto. Indução de regras e

árvores de decisão. **Sistemas Inteligentes-Fundamentos e Aplicações**, v. 1, p. 115-139, 2003.

MOREIRA JÚNIOR, Orlando; SOUZA, Celso Correia de. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha. **Interações (Campo Grande)**, v. 21, n. 2, p. 379-387, 2020.

MOREIRA JÚNIOR, O.; SOUZA, C. C. de; FRAINER, D. M. Uso de diferentes bases de dados de irradiação solar na geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico. **Agrometeoros**, [s. l.], v. 28, 2020. Available at: <https://doi.org/10.31062/agrom.v28.e026645>

PANDEY, A. K.; TYAGI, V. V.; TYAGI, S. K. Exergetic analysis and parametric study of multi-crystalline solar photovoltaic system at a typical climatic zone. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 15, n. 2, p. 333-343, 2013.

PANDEY, A. K. et al. Recent advances in solar photovoltaic systems for emerging trends and advanced applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 859-884, 2016.

PARIDA, Bhubaneswari; INIYAN, S.; GOIC, Ranko. A review of solar photovoltaic technologies. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 15, n. 3, p. 1625-1636, 2011.

PENG, Jinqing; LU, Lin; YANG, Hongxing. Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 19, p. 255-274, 2013.

PEREIRA, E. Bueno et al. Atlas brasileiro de energia solar 2.ed. São José dos Campos. **INPE**, 2017

PINTO, Lucía Iracema Chipponelli et al. Comparação de produtos de radiação solar incidente à superfície para a América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 4, p. 469-478, 2010.

RESOLUÇÃO NORMATIVA, Nº. 482, 17 de Abril de 2012. **Estabelece condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências**, 2012.

RODRIGUES, Sandy et al. Economic feasibility analysis of small scale PV systems in different countries. **Solar Energy**, v. 131, p. 81-95, 2016.

SAĞLAM, ŞAFAK. Meteorological parameters effects on solar energy power generation. **WSEAS Transactions on Circuits and Systems**, v. 9, n. 10, p. 637-649, 2010.

SAMPAIO, Priscila Gonçalves Vasconcelos; GONZÁLEZ, Mario Orestes Aguirre. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, p. 590-601, 2017.

SARVER, T.; AL-QARAGHULI, A.; KAZMERSKI, L. L. A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy : History , investigations , results , literature , and mitigation approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 22, p. 698–733, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.065>

SILVEIRA, Camila de Oliveira et al. Feasibility Study through Grid-Connected Photovoltaic Systems in Curitiba. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, n. SPE, 2018.

SILVEIRA, Jose Luz; TUNA, Celso Eduardo; DE QUEIROZ LAMAS, Wendell. The need of subsidy for the implementation of photovoltaic solar energy as supporting of decentralized electrical power generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 20, p. 133-141, 2013.

SKOPLAKI, Elisa; PALYVOS, John A. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. **Solar energy**, v. 83, n. 5, p. 614-624, 2009.

SOLANGI, K. H. et al. A review on global solar energy policy. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 15, n. 4, p. 2149-2163, 2011.

SOLAR GIS Irradiação horizontal global, 2017. Disponível em < <https://solargis2-web-assets.s3.eu-west-1.amazonaws.com/public/graphic/free-map/GHI/c6ad42aae0/Solargis-Brazil-GHI-solar-resource-map-en.png>> Acesso em: 10 nov. 2020

SON, Namrye; JUNG, Mina. **Analysis of Meteorological Factor Multivariate Models for Medium-and Long-Term Photovoltaic Solar Power Forecasting Using Long Short-Term Memory**. Applied Sciences, v. 11, n. 1, p. 316, 2021

URBANETZ, Jair; ZOMER, Clarissa Debiazi; RÜTHER, Ricardo. Compromises between form and function in grid-connected, building-integrated photovoltaics (BIPV) at low-latitude sites. **Building and Environment**, v. 46, n. 10, p. 2107-2113, 2011.

VALDÉS-GONZÁLEZ, Gonzalo D. et al. Estudio de viabilidad de sistemas fotovoltaicos como fuentes de energía distribuida en la ciudad de Arica, Chile. **Información tecnológica**, v. 31, n. 3, p. 249-256, 2020.

VALE, A. M. et al. Analysis of the economic viability of a photovoltaic generation project applied to the Brazilian housing program “Minha Casa Minha Vida”. **Energy Policy**, v. 108, p. 292-298, 2017.

World Energy Outlook 2019, **IEA (2019)**, Paris. Disponível em < <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>>. Acesso em: 15 out. de 2020.

YADAV, Amit Kumar; CHANDEL, S. S. Tilt angle optimization to maximize incident

solar radiation: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 23, p. 503-513, 2013.

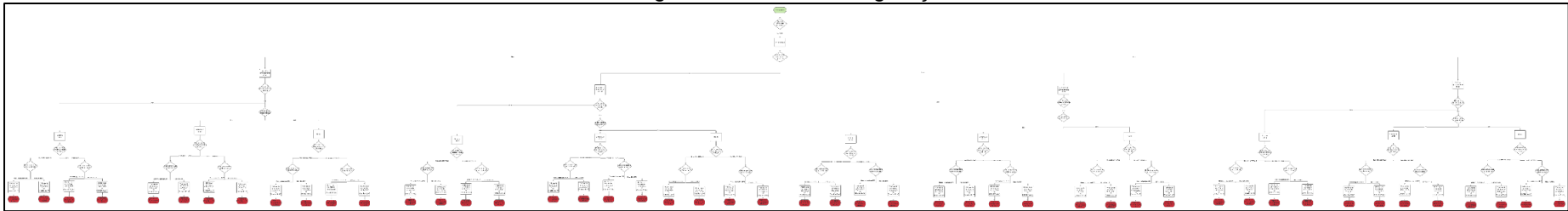
ZHANG, Yun et al. Machine learning-based coding unit depth decisions for flexible complexity allocation in high efficiency video coding. **IEEE Transactions on Image Processing**, v. 24, n. 7, p. 2225-2238, 2015

APÊNDICES

APÊNDICE A - ALGORITMO DE DECISÃO EM FORMA DE ÁRVORE

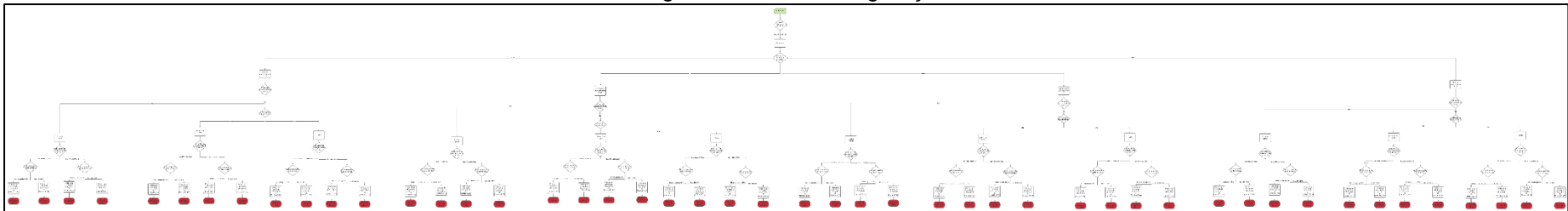
Link para acesso as figuras 13, 14 e 15: https://drive.google.com/drive/folders/1PgYQgUfB7Lx6Vzi_dCAUMYNWfswpgfyc?usp=sharing

Figura 13 - Nó da Microgeração



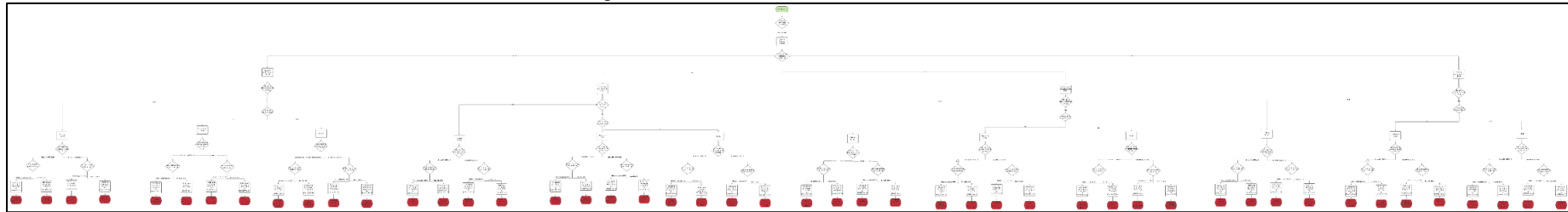
Fonte: Autora (2020)

Figura 14: Nó de Minigeração



Fonte: Autora (2020)

Figura 15: Nó de Grandes Plantas Solares



Fonte: Autora (2020)


```

print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
print('- Seu projeto é uma microgeração;')
print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
print('- O sistema recomendado é On Grid;')
print('- O local tem até 100% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- Potência gerada por um módulo está entre 58,3 e 102,2w (Tensão=
32,4V).')

```

else:

```

print('\n Relatório: \n')
print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
print('- Seu projeto é uma microgeração;')
print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
print('- O sistema recomendado é On Grid;')
print('- O local tem até 100% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- Potência gerada por um módulo está entre 58,3 e 97,2 (Tensão=
32,4V).')

```

else:

```

print(' O sistema recomendado é Híbrido')
taxa = float(input('Qual a faixa de irradiação média do local, Digite um valor entre
200 e 1000 W/m²:  '))
if 200 <= taxa < 600:
    temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor
entre 0 e 50°C:  "))
    if temperatura <= 25:
        print('\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
        print('- O local tem até 100% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
        print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,6 e 58,3w (Tensão=
32,4V).')

```

else:

```

print('\n Relatório: \n')
print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
print('- Seu projeto é uma microgeração;')
print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
print('- O local tem até 100% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,6 e 50,4w (Tensão=
32,4V).')

```

else:

```

temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor
entre 0 e 50°C:  "))
if temperatura <= 25:

```

```

print('\n Relatório: \n')
print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
print('- Seu projeto é uma microgeração;')
print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
print('- O local tem até 100% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
print('- Potência gerada por um módulo está entre 58,3 e 102,2w (Tensão=
32,4V).')

else:
    print('\n Relatório: \n')
    print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
    print('- Seu projeto é uma microgeração;')
    print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
    print('- O local tem até 100% de aproveitamento dos raios solares!;')
    print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
    print('- Potência gerada por um módulo está entre 58,3 e 97,2 (Tensão=
32,4V).')
    else:
        print('O sistema é isolado')
        taxa = float(input('Qual a faixa de irradiação média do local, Digite um valor entre 200
e 1000 W/m²: '))
        if 200 <= taxa < 600:
            temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor entre
0 e 50°C: "))
            if temperatura <= 25:
                print('\n Relatório: \n')
                print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
                print('- Seu projeto é uma microgeração;')
                print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
                print('- O sistema é isolado;')
                print('- O local tem até 100% de aproveitamento dos raios solares!;')
                print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,6 e 58,3w (Tensão=
32,4V).')

            else:
                print('\n Relatório: \n')
                print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
                print('- Seu projeto é uma microgeração;')
                print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
                print('- O local tem até 100% de aproveitamento dos raios solares!;')
                print('- Potência gerada por um módulo está 21,6 e 50,4w (Tensão= 32,4V).')
            else:
                temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor entre
0 e 50°C: "))
                if temperatura <= 25:
                    print('\n Relatório: \n')

```



```

print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
print('- Seu projeto é uma microgeração;')
print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
print('- O sistema é isolado;')
print('- O local tem até 100% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- Potência gerada por um módulo está entre 58,3 e 102,2w (Tensão=
32,4V).')
else:
    print('\n Relatório: \n')
    print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
    print('- Seu projeto é uma microgeração;')
    print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
    print('- O sistema é isolado;')
    print('- O local tem até 100% de aproveitamento dos raios solares!;')
    print('- Potência gerada por um módulo está entre 58,3 e 97,2 (Tensão=
32,4V).')

elif orientacao == 'Sul' or orientacao == 'sul':
    print('O local tem até 99,4% de aproveitamento dos raios solares!')
    acesso = str(input('O local tem acesso a fonte de energia, escreva sim ou não: '))
    if acesso == 'sim':
        energia = str(input('É conectado a Energia elétrica: Digite sim ou não: '))
        if energia == 'sim':
            print('O sistema recomendado é On Grid')
            taxa = float(
                input('Qual a faixa de irradiação média do local, Digite um valor entre 200 e
1000 W/m²: '))
            if 200 <= taxa < 600:
                temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor
entre 0 e 50°C: "))
                if temperatura <= 25:
                    print('\n Relatório: \n')
                    print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
                    print('- Seu projeto é uma microgeração;')
                    print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
                    print('- O sistema recomendado é On Grid;')
                    print('- O local tem até 99,4% de aproveitamento dos raios solares!;')
                    print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 57,9w (Tensão=
32,4V).')
                else:
                    print('\n Relatório: \n')
                    print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
                    print('- Seu projeto é uma microgeração;')
                    print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
                    print('- O sistema recomendado é On Grid;')
                    print('- O local tem até 99,4% de aproveitamento dos raios solares!;')

```

```

print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 50w (Tensão=
32,4V).')
else:
    temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor
entre 0 e 50°C: "))
    if temperatura <= 25:
        print('\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
        print('- O sistema recomendado é On Grid;')
        print('- O local tem até 99,4% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 101,6w (Tensão=
32,4V).')
    else:
        print('\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
        print('- O sistema recomendado é On Grid;')
        print('- O local tem até 99,4% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 96,6w (Tensão=
32,4V).')

else:
    print(' O sistema recomendado é Híbrido')
    taxa = float(
        input('Qual a faixa de irradiação média do local, Digite um valor entre 200 e
1000 W/m²: '))
    if 200 <= taxa < 600:
        temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor
entre 0 e 50°C: "))
        if temperatura <= 25:
            print('\n Relatório: \n')
            print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
            print('- Seu projeto é uma microgeração;')
            print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
            print('- O local tem até 99,4% de aproveitamento dos raios solares!;')
            print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
            print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 57,9w (Tensão=
32,4V).')
        else:
            print('\n Relatório: \n')
            print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
            print('- Seu projeto é uma microgeração;')
            print('- Orientado para o ', orientacao, ';')

```

```

print('- O local tem até 99,4% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 50w (Tensão=
32,4V).')
else:
    temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor
entre 0 e 50°C: "))
    if temperatura <= 25:
        print('\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
        print('- O local tem até 99,4% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
        print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 101,6w (Tensão=
32,4V).')

    else:
        print('\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
        print('- O local tem até 99,4% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
        print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 96,6 (Tensão=
32,4V).')
else:
    print('O sistema é isolado')
    taxa = float(input('Qual a faixa de irradiação média do local, Digite um valor entre 200
e 1000 W/m²: '))
    if 200 <= taxa < 600:
        temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor entre
0 e 50°C: "))
        if temperatura <= 25:
            print('\n Relatório: \n')
            print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
            print('- Seu projeto é uma microgeração;')
            print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
            print('- O sistema é isolado;')
            print('- O local tem até 99,4% de aproveitamento dos raios solares!;')
            print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 57,9w (Tensão=
32,4V).')

        else:
            print('\n Relatório: \n')
            print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
            print('- Seu projeto é uma microgeração;')

```

```

print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
print('- O sistema é isolado;')
print('- O local tem até 99,4% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- Potência gerada por um módulo está 21,5 e 50w (Tensão= 32,4V).')
else:
    temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor entre
0 e 50°C: "))
    if temperatura <= 25:
        print('\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
        print('- O sistema é isolado;')
        print('- O local tem até 99,4% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 101,6w (Tensão=
32,4V).')
    else:
        print('\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
        print('- O sistema é isolado;')
        print('- O local tem até 99,4% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 96,6 (Tensão=
32,4V).')
    elif orientacao == 'Leste' or orientacao == 'leste':
        print('O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!')
        acesso = str(input('O local tem acesso a fonte de energia, escreva sim ou não: '))
        if acesso == 'sim':
            energia = str(input('É conectado a Energia elétrica: Digite sim ou não: '))
            if energia == 'sim':
                print('O sistema recomendado é On Gride')
                taxa = float(
                    input('Qual a faixa de irradiação média do local, Digite um valor entre 200 e
1000 W/m²: '))
                if 200 <= taxa < 600:
                    temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor
entre 0 e 50°C: "))
                    if temperatura <= 25:
                        print('\n Relatório: \n')
                        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
                        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
                        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
                        print('- O sistema recomendado é On Grid;')
                        print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
                        print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 58,1w (Tensão=
32,4V).')

```

```

else:
    print('\n Relatório: \n')
    print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
    print('- Seu projeto é uma microgeração;')
    print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
    print('- O sistema recomendado é On Grid;')
    print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
    print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 50,2w (Tensão=
32,4V).')
else:
    temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor
entre 0 e 50°C: "))
    if temperatura <= 25:
        print('\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
        print('- O sistema recomendado é On Grid;')
        print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 101,6w (Tensão=
32,4V).')
    else:
        print('\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
        print('O sistema recomendado é On Grid;')
        print('O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 96,9 (Tensão=
32,4V).')

else:
    print(' O sistema recomendado é Híbrido')
    taxa = float(
        input('Qual a faixa de irradiação média do local, Digite um valor entre 200 e
1000 W/m²:  '))
    if 200 <= taxa < 600:
        temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor
entre 0 e 50°C: "))
        if temperatura <= 25:
            print('\n Relatório: \n')
            print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
            print('- Seu projeto é uma microgeração;')
            print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
            print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
            print('- O sistema recomendado é Híbrido;')

```

```
print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 58,1w (Tensão=
32,4V).')
```

```
else:
```

```
print('\n Relatório: \n')
print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
print('- Seu projeto é uma microgeração;')
print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 50,2w (Tensão=
```

```
32,4V).')
```

```
else:
```

```
temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor
entre 0 e 50°C: "))
```

```
if temperatura <= 25:
```

```
print('\n Relatório: \n')
print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
print('- Seu projeto é uma microgeração;')
print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 101,6w (Tensão=
```

```
32,4V).')
```

```
else:
```

```
print('\n Relatório: \n')
print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
print('- Seu projeto é uma microgeração;')
print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9e 96,9 (Tensão=
```

```
32,4V).')
```

```
else:
```

```
print('O sistema é isolado')
```

```
taxa = float(input('Qual a faixa de irradiação média do local, Digite um valor entre 200
e 1000 W/m²: '))
```

```
if 200 <= taxa < 600:
```

```
temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor entre
0 e 50°C: "))
```

```
if temperatura <= 25:
```

```
print('\n Relatório: \n')
print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
print('- Seu projeto é uma microgeração;')
print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
print('- O sistema é isolado;')
```

```

print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 58,1w (Tensão=
32,4V).')

else:
    print('\n Relatório: \n')
    print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
    print('- Seu projeto é uma microgeração;')
    print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
    print('- O sistema é isolado;')
    print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
    print('- Potência gerada por um módulo está 21,5 e 50,2w (Tensão= 32,4V).')
else:
    temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor entre
0 e 50°C: "))
    if temperatura <= 25:
        print('\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
        print('- O sistema é isolado;')
        print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 101,6w (Tensão=
32,4V).')
    else:
        print('\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
        print('- O sistema é isolado;')
        print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 96,6 (Tensão=
32,4V).')
else: #orientação para o Oeste
    print('O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!')
    acesso = str(input('O local tem acesso a fonte de energia, escreva sim ou não: '))
    if acesso == 'sim':
        energia = str(input('É conectado a Energia elétrica: Digite sim ou não: '))
        if energia == 'sim':
            print('O sistema recomendado é On Grid')
            taxa = float(
                input('Qual a faixa de irradiação média do local, Digite um valor entre 200 e
1000 W/m²: '))
            if 200 <= taxa < 600:
                temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor
entre 0 e 50°C: "))
                if temperatura <= 25:

```

```

print('\n Relatório: \n')
print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
print('- Seu projeto é uma microgeração;')
print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
print('- O sistema recomendado é On Grid;')
print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 58,1w (Tensão=
32,4V).')
else:
print('\n Relatório: \n')
print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
print('- Seu projeto é uma microgeração;')
print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
print('- O sistema recomendado é On Grid;')
print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 50,2w (Tensão=
32,4V).')
else:
temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor
entre 0 e 50°C: "))
if temperatura <= 25:
print('\n Relatório: \n')
print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
print('- Seu projeto é uma microgeração;')
print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
print('- O sistema recomendado é On Grid;')
print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 101,6w (Tensão=
32,4V).')
else:
print('\n Relatório: \n')
print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
print('- Seu projeto é uma microgeração;')
print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
print('- O sistema recomendado é On Grid;')
print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 96,9 (Tensão=
32,4V).')
else:
print(' O sistema recomendado é Híbrido')
taxa = float(
input('Qual a faixa de irradiação média do local, Digite um valor entre 200 e
1000 W/m²: '))
if 200 <= taxa < 600:
temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor
entre 0 e 50°C: "))

```



```

if temperatura <= 25:
    print('\n Relatório: \n')
    print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
    print('- Seu projeto é uma microgeração;')
    print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
    print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
    print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
    print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 58,1w (Tensão=
32,4V).')

else:
    print('\n Relatório: \n')
    print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
    print('- Seu projeto é uma microgeração;')
    print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
    print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
    print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
    print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 50,2w (Tensão=
32,4V).')

else:
    temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor
entre 0 e 50°C: "))
    if temperatura <= 25:
        print('\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
        print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
        print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 101,6w (Tensão=
32,4V).')

    else:
        print('\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
        print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('- O sistema recomendado é Híbrido;')
        print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9e 96,9 (Tensão=
32,4V);')

    else:
        print('O sistema é isolado')
        taxa = float(input('Qual a faixa de irradiação média do local, Digite um valor entre 200
e 1000 W/m²: '))
        if 200 <= taxa < 600:

```

```

temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor entre
0 e 50°C: "))
if temperatura <= 25:
    print("\n Relatório: \n')
    print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
    print('- Seu projeto é uma microgeração;')
    print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
    print('- O sistema é isolado;')
    print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
    print('- Potência gerada por um módulo está entre 21,5 e 58,1w (Tensão=
32,4V).')

else:
    print("\n Relatório: \n')
    print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
    print('- Seu projeto é uma microgeração;')
    print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
    print('- O sistema é isolado;')
    print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
    print('- Potência gerada por um módulo está 21,5 e 50,2w (Tensão= 32,4V).')
else:
    temperatura = float(input("Qual a temperatura media do local, digite um valor entre
0 e 50°C: "))
    if temperatura <= 25:
        print("\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- O sistema é isolado;')
        print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 101,6w (Tensão=
32,4V);')
    else:
        print("\n Relatório: \n')
        print('- Seu projeto é de ', projeto, 'kw;')
        print('- Seu projeto é uma microgeração;')
        print('- Orientado para o ', orientacao, ';')
        print('- O sistema é isolado;')
        print('- O local tem até 99,7% de aproveitamento dos raios solares!;')
        print('- Potência gerada por um módulo está entre 57,9 e 96,6 (Tensão=
32,4V).')

```

ANEXOS

ANEXO A – Tabela de umidade relativa anual por estado

Tabela 5 - Umidade relativa média anual por estado

| Estado | Umidade relativa média anual (%) |
|---------------------|----------------------------------|
| Roraima | 85.4 |
| Amapá | 80.8 |
| Maranhão | 69.5 |
| Pará | 82.5 |
| Amazonas | 82.9 |
| Ceará | 60.4 |
| Piauí | 59.6 |
| Rio Grande do Norte | 62.1 |
| Paraíba | 67.1 |
| Pernambuco | 63.8 |
| Alagoas | 71.7 |
| Rondônia | 80.0 |
| Tocantins | 69.6 |
| Acre | 82.9 |
| Sergipe | 72.9 |
| Bahia | 61.7 |
| Mato Grosso | 71.7 |
| Distrito Federal | 64.2 |
| Goiás | 66.7 |
| Minas Gerais | 67.9 |
| Mato Grosso do Sul | 68.8 |
| Espírito Santo | 72.9 |
| Rio de Janeiro | 75.0 |
| São Paulo | 66.3 |
| Paraná | 71.3 |
| Santa Catarina | 75.0 |
| Rio Grande do Sul | 70.0 |

Fonte: INPE (2021) adaptado.