

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RONALDO RICARDO SACCARDO

**UM MODELO PARA INDICAR LOCAIS PARA INSTALAÇÃO DE USINAS
FOTOVOLTAICAS NO BRASIL**

BAURU/SP
2024

RONALDO RICARDO SACCARDO

**UM MODELO PARA INDICAR LOCAIS PARA INSTALAÇÃO DE USINAS
FOTOVOLTAICAS NO BRASIL**

Dissertação de mestrado apresentado como exigência para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Campus Bauru, sob orientação da Prof. Dra. Regiane Máximo Siqueira e coorientação do Prof. Dr. João Batista Sarmiento dos Santos Neto.

**BAURU/SP
2024**

Saccardo, Ronaldo Ricardo.

Um modelo para indicar locais para instalação de
usinas fotovoltaicas no Brasil / Ronaldo Ricardo
Saccardo, 2024

126 f.: il.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual
Paulista (UNESP). Faculdade de Engenharia, Bauru

Orientador: Regiane Máximo Siqueira

Coorientador: João Batista Sarmento dos Santos Neto

1. Modelo de apoio à decisão. 2. MACBETH. 3. Análise
de Localização 4. Usina Fotovoltaica. 5. Geração
centralizada. I. Universidade Estadual Paulista.
Faculdade de Engenharia. II. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru



ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE RONALDO RICARDO SACCARDO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 17 dias do mês de junho do ano de 2024, às 09:30 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de RONALDO RICARDO SACCARDO, intitulada **UM MODELO PARA INDICAR LOCAIS PARA INSTALAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS NO BRASIL**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof.^a Dr.^a REGIANE MÁXIMO SIQUEIRA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Estadual Paulista (Unesp) - Faculdade de Engenharia - Câmpus Bauru, Prof. Dr. JOÃO VICTOR ROJAS LUIZ (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Estadual Paulista (Unesp) - Faculdade de Engenharia - Câmpus Bauru, Prof. Dr. LUCAS BORGES LEAL DA SILVA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof.^a Dr.^a REGIANE MÁXIMO SIQUEIRA

Regiane Máximo Siqueira
 Prof.^a Dr.^a Regiane Máximo Siqueira
 Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
 Faculdade de Engenharia de Bauru - FEB

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu gostaria de agradecer a Deus pela oportunidade de fazer este tão conceituado, enriquecedor e sonhado curso de mestrado.

Gostaria de agradecer imensamente a minha esposa Elaine e a meu filho Cauã, por me apoiarem e sempre me darem força para batalhar, para não desistir e para continuar em frente e concluir este curso. Também gostaria de agradecer a eles por toda a paciência pela minha ausência em muitos momentos de convívio familiar.

Gostaria de agradecer a minha orientadora, profa. Dra. Regiane Máximo Siqueira por ter conduzido meus passos dentro do programa de mestrado, me direcionando a seguir o melhor caminho no desenvolvimento de meu projeto e também a meu coorientador, o prof. Dr. João Batista Sarmiento dos Santos Neto, por seu tão importante auxílio em minha dissertação, principalmente nos detalhes.

Gostaria de agradecer a profa. Dra. Rosane Battistelle e a profa. Dra. Barbara Stolte Bezerra, por suas tão importantes aulas e suas tão importantes orientações durante meu curso, pois me proporcionaram não só conhecimento científico, como também me fizeram crescer como pessoa e como profissional, além de terem uma contribuição decisiva na definição do tema de minha dissertação.

Gostaria de agradecer ao Professor, Mestre e Engenheiro Sr. Sydney Ipiranga, por toda ajuda e know-how que me deu, além da decisiva contribuição em minha dissertação, pois tudo isso me permitiu desenvolver uma parte importante de meu trabalho.

Gostaria de agradecer ao Sr. Gledson pela ajuda com o software do QGIS, que foi fundamental para coletar o material necessário para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos, de coração, meu muito obrigado!!

RESUMO

A energia fotovoltaica tem se tornado uma matéria de muito interesse, devido ao desenvolvimento desta tecnologia vir ao encontro aos anseios da sociedade, fato que pode ser verificado devido ao vigoroso aumento da geração de energia elétrica a partir da fonte fotovoltaica, onde a implantação de grandes empreendimentos geradores deste tipo de energia, os quais demandam a disponibilidade de consideráveis áreas de terra com certas características para poderem ser consideradas viáveis, tem sido objeto de estudo por parte de profissionais do ramo. Neste sentido, apoiado pela metodologia do pensamento focado em valor (VFT) e de recursos de informações geográficas (GIS) para, metodologicamente de forma simples e prática, gerar uma lista ordenada de locais, os mais indicados em termos de viabilidade e economicidade possíveis, este trabalho se desenvolveu, utilizando recursos de análise de decisão multicritério, baseado no método MACBETH, para que, como resultado, esta lista possa ser utilizada por profissionais que trabalham com a implantação de usinas fotovoltaicas e assim se decidir, mais fácil e assertivamente sobre o melhor local para tal implantação. Como forma de testar a operacionalidade do processo sugerido, foi feita uma aplicação prática, da metodologia proposta, a qual após a análise de sensibilidade do peso do ponto de vista mais relevante (Irradiação Solar), retornou que a ordenação gerada é considerada confiável e sendo assim como conclusão, a estrutura proposta pode ser considerada uma estrutura consistente e útil, podendo o método proposto, ser seguido para a tomada de decisão.

Palavras-chave: Método de Análise e Decisão Multicritério, MCDM, MACBETH, Energia Fotovoltaica, Análise de Localização

ABSTRACT

Photovoltaic energy has become a subject of great interest due to the development of this technology meeting society's desires, a fact that can be verified due to the vigorous increase in the generation of electrical energy from photovoltaic sources, where the implementation of large projects Generators of this type of energy, which require the availability of considerable areas of land with certain characteristics to be considered viable, have been the subject of study by professionals in the science field. In this sense, this work was developed, supported by the value-focused thinking methodology (VFT) and geographic information resources (GIS) to methodologically in a simple and practical way generate an ordered list of locations as the most indicated in terms of viability and economics as possible, using multi-criteria decision analysis resources, based on the MACBETH method, so that, as a result, this list can be used by professionals who work with the implementation of photovoltaic plants and thus decide more easily and assertively on the best location for such implementation. As a way of testing the operability of the suggested process, a practical application of the proposed methodology was made, which after weight sensitivity analysis from the most relevant point of view (Solar Irradiation), returned that the generated ordering is considered reliable and therefore, in conclusion, the proposed structure can be considered consistent, the structure can be considered useful, and the proposed method can be followed for decision making.

Keywords: Multicriteria Decision Making, MCDM, MACBETH, Photovoltaic Energy, Location Analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da Dissertação	26
Figura 2 - Fases do Processo de Apoio à Decisão MACBETH	48
Figura 3 - Sistema de Informação Geográfica GIS	49
Figura 4 - Área de Estudo	63
Figura 5 - Árvore de Valor	65
Figura 6 - Representação geográfica das exclusões	67
Figura 7 - Mapa da média anual de temperatura obtido por interpolação Krigging	69
Figura 8 - Representação geográfica dos Pontos de Vista Fundamentais	73
Figura 9 – Matriz de julgamento da Temperatura (com ferramentas)	75
Figura 10 – Matriz de julgamento da Irradiação Solar	76
Figura 11– Matriz de julgamento da Temperatura	77
Figura 12 – Matriz de julgamento da Inclinação	78
Figura 13 – Matriz de julgamento da Rede de Conexão	80
Figura 14 - Ponderação da importância dos Pontos de Vista Fundamentais	82
Figura 15 – Ordenação decrescente dos Pontos de Vista Fundamentais	83
Figura 16 – Locais da lista de ordenação	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista dos Subitens por Autor	36
Tabela 2 - Matriz de Consequências	52
Tabela 3 - Classificação do IGH segundo NREL	62
Tabela 4 - Faixa Marginal de Curso d'Água	66
Tabela 5 - Classificação do IGH para o Estudo	68
Tabela 6 - Classificação da Temperatura	70
Tabela 7 - Classificação da Inclinação	70
Tabela 8 - Classificação da Distância da Rede de Conexão	71
Tabela 9 - Tabela dos locais estudados e suas performances	72
Tabela 10 – Ordenação Global do Modelo	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ranking de Publicações por País	29
Quadro 2 - Ordenação dos MCDM Utilizados nas Publicações	45
Quadro 3 - Métodos MCDM com Características Procuradas	55
Quadro 4 – Protocolo de questionamento para temperatura	75
Quadro 5 – Descritores	82
Quadro 6 – Protocolo para definição do peso dos Pontos de Vista Fundamentais	82

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução temporal das publicações científicas sobre energia fotovoltaica	23
Gráfico 2 – Escala de valor da Irradiação Solar	77
Gráfico 3 – Escala de valor da Temperatura	78
Gráfico 4 – Escala de valor da Inclinação	79
Gráfico 5 – Escala de valor da Conexão	80
Gráfico 6 – Pesos dos Pontos de Vista Fundamentais	83
Gráfico 7 – Análise de Sensibilidade do Peso do critério Irradiação	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD - Axiomatic Design

AHP - Analytic Hierarchy Process

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ANFIS - Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

ANP - Analytic Network Process

DHI - Irradiação Horizontal Difusa

ELECTRE - Elimination et Choix Traduisant la Réalité

ELECTRE-TRI - ELimination Et Choice Translation Reality - TRI

F-AHP - Fuzzy Analytic Hierarchy Process

FANP - Fuzzy Analytic Network Process

F-ANP - Fuzzy Analytical Network Process

F-COPRAS - Complex Proportional Assessment

FIS - Fuzzy Inference System

F-PROMETHEE II - Fuzzy Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations

F-TOPSIS - Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution

GHI - Índice Global de Irradiação

GIS - Sistema de Informação Geográfica

IFS - Intuitionistic Fuzzy Set

IRIS - Sistema Decision Support System

LT - Linha de Transmissão -

MACBETH – Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique

MAUT - Multiattribute Utility Theory

MCDA - Multi Criteria Decision Analysis

MCDM – Multi Criteria Decision Making

OWA - Ordered Weighted Averaging

PA - Point Allocation

PROMETHE - Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations

PSM - Problem Structuring Method

PV - Energia Fotovoltaica

PVE - Ponto de Vista Elementar

PVF - Ponto de Vista Fundamental

ROC - Rank-Order Centroid

RR - Rank Reciprocal

RS - Rank Sum

STC - Condições Padrões de Teste

TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution

VFT - Value Focused Thinking

VIKOR - VIšekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje

WLC - Weighted Linear Combination

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	16
1.1 - QUESTÃO DE PESQUISA	22
1.2 - OBJETIVOS	22
1.3 - JUSTIFICATIVA	22
1.4 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	25
2 - FUNDAMENTAÇÃO CONCEITUAL	27
2.1 - REVISÃO DE LITERATURA	27
2.2 - FATORES CONSIDERADOS	30
2.2.1 - Critérios de Exclusão	31
2.2.2 - Critérios de Seleção	35
2.2.2.1 - Critérios Climáticos	37
2.2.2.2 - Critérios Geográficos	38
2.2.2.3 - Critérios de Infraestrutura	39
2.2.2.4 - Critérios Socio-econômico-ambientais	41
2.3 - MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO	44
2.3.1 - MCDM na Análise de Localização	44
2.3.2 - MCDM - Método Macbeth	46
2.4 - FERRAMENTA DE SUPORTE À VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS	48
2.4.1 - Sistema de Informação Geográfica - GIS	48
2.5 - MÉTODO DE ESTRUTURAÇÃO DE PROBLEMA - PSM	49
2.5.1 - Pensamento Focado em Valor - VFT	50
3 - MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA	52
3.1 - MATERIAIS	52
3.1.1 - Método de Apoio à Decisão - MCDM	52
3.1.2 - Abordagem MCDM Baseada em GIS	56
3.1.3 - Integração do VFT à Abordagem MCDM	56

3.2 - MÉTODOS	57
3.2.1 - Fase de Estruturação	57
3.2.2 - Fase de Avaliação	58
3.2.3 - Fase de Recomendação	58
4 - RESULTADOS	60
4.1 - CONTEXTO DE DECISÃO	60
4.1.1 - Definição do Decisor	60
4.1.2 - Definição do Local de Estudo	61
4.2 - ESTRUTURAÇÃO DO MODELO	64
4.2.1 - Fatores de Exclusão	65
4.2.2 - Definição dos Pontos de Vista Fundamentais	68
4.3 - AVALIAÇÃO	74
4.3.1 - Construção das Escalas de Valor	74
4.3.2 - Definição da Importância dos Pontos de Vista Fundamentais	81
4.4 - DISCUÇÃO DOS RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES	83
4.4.1 - Lista Ordenada dos Locais	84
4.4.2 - Análise de Sensibilidade	86
5 - CONCLUSÕES	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
APÊNDICES	102
APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE	102
APÊNDICE B - Primeira Entrevista com o Decisor	104
APÊNDICE C - Segunda Entrevista com o Decisor	105
APÊNDICE D - Lista de Critérios de Exclusão / Autor	106
APÊNDICE E - Lista de Critérios de Seleção / Autor	109
APÊNDICE F - Formulário de Avaliação de Ponderação	117

1 - INTRODUÇÃO

Uma grande parte do avanço da civilização humana pode ser creditado ao uso da energia, tornando-a desta forma um fator vital de produção (SHORABEH *et al.*, 2019). Por muito tempo a geração desta energia tem sido feita principalmente através do uso dos chamados combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural e o petróleo), que no processo de combustão, geram energia para ser usada na forma de eletricidade, de aquecimento ou resfriamento e de energia mecânica, utilizada no transporte ou em processos industriais. Este processo libera na atmosfera como resíduos, o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido de nitrogênio (N₂O), os hidrofluorcarbonos (HFCs), os perfluorcarbonos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF₆) (HEUBAUMA; BIERMANN, 2015), que são chamados de gases de efeito estufa (GEE), e considerados os principais causadores do aquecimento global (GIBON *et al.*, 2017).

Devido ao aumento constante no volume de emissão destes GEE, uma preocupação crescente com os danos que podem causar ao meio ambiente e à raça humana tem tomado corpo (LIMBACHIYA *et al.*, 2014), e nos últimos anos, tem feito com que os países, sejam pressionados, a fazer mudanças na forma de produção da energia que é consumida, buscando assim cada vez mais pelo caminho do desenvolvimento sustentável (RIGO *et al.*, 2019), ou seja, desenvolvendo fontes geradoras de energia renováveis, que ao serem utilizadas em substituição aos combustíveis fósseis, contribuem para a mitigação das mudanças climáticas, garantindo o equilíbrio entre um ambiente sustentável e o crescimento econômico (BHATTACHARYA *et al.*, 2016), além de conduzir ao desenvolvimento sustentável (OZOEGWU *et al.*, 2017).

Com a preocupação crescente em aumentar a geração de energia, através de fontes renováveis e a consequente redução da geração de energia a partir de fontes não renováveis, a eletricidade, tem sido considerada o ponto de partida de vários estudos e pesquisas desenvolvidos em torno de novas tecnologias (BURKE; FISHEL, 2020), cuja expansão da geração, a partir das fontes eólica, solar e hídrica, tem sido consideradas uma tendência (BHATTACHARYA *et al.*, 2016) e tem levado a novas implicações energéticas (SANSANIWAL *et al.*, 2018; LAUSSELET *et al.*, 2020), tornando desta forma a eletricidade gerada a partir destas novas tecnologias, um elemento central do posicionamento da política energética de muitas nações, ao garantir o equilíbrio entre a sustentabilidade ambiental e o crescimento econômico (REHMAN *et al.*, 2019).

Dentro da gama de possibilidades de geração de energia elétrica através de fontes sustentáveis, a energia solar tem se destacado e tem se tornado uma das soluções de maior interesse nos últimos tempos por ser um tipo de energia utilizada pela humanidade há milhares

de anos; por poder ser convertida em várias formas de energia; e por causa de seu baixo índice de emissão de GEE (ASAKEREH *et al.*, 2017), pois o sol é a fonte de energia renovável mais abundante existente (SHAHSAVARI; AKBARI, 2018), sua energia é de livre disponibilidade, não poluente, confiável, limpa, sustentável e promissora, dando sólidos e crescentes índices de eficiência de produção (KANNAN; VAKEESAN, 2016).

Com todas suas qualidades, a energia solar pode ser usada em aplicações térmicas ou como fonte de eletricidade (RABAIA *et al.*, 2021), onde esta última é a aplicação que vem ganhando maior destaque (KOÇAK; SARKGÜNESI, 2017), sendo gerada principalmente com a utilização das células solares, também chamadas de sistemas fotovoltaicos (IRENA, 2020), os quais podem fornecer energia elétrica de três formas distintas, com base na sua aplicação:

- A geração distribuída, representada por sistemas fotovoltaicos de telhado, colocados em residências privadas e edifícios comerciais ou industriais, conectados à rede e caracterizado por várias pequenas fontes geradoras em uma ampla região, cujo objetivo é reduzir o consumo da energia da rede (IRENA, 2017);
- Os aplicativos fora da rede (autônomos), geralmente usados para projetos de pequena escala em locais remotos, áreas rurais, para residências que desejam se desconectar da rede, como soluções em países em desenvolvimento, devido a inexistência de rede elétrica ou quando o custo de conexão com a rede é muito alto, sendo neste último caso o sistema de armazenamento de energia elétrica um elemento importante no projeto, uma vez que todo o sistema deve fornecer a energia necessária durante os períodos de pouca luz e períodos noturnos (IRENA, 2017);
- Os sistemas fotovoltaicos em escala de utilidade (geração centralizada), que são as usinas solares, geralmente conectadas à rede de média ou alta tensão por meio de quadros de manobra ou de uma subestação interna que concentra todas as saídas do transformador em um controle centralizado, enviando a energia gerada à rede para que seja transportada, distribuída e consumida (IRENA, 2017), podendo ocorrer tanto em terra (*onshore*), quanto na água (*offshore*) (SAMPAIO; GONZÁLEZ, 2017), sendo a instalação offshore, ainda pouco estudada e utilizada e não passando de pequenos empreendimentos que utilizam espelhos d'água, que no Brasil tem se localizado majoritariamente em reservatórios de hidroelétricas (EPE, 2020).

No contexto da energia fotovoltaica, o Brasil, por localizar-se majoritariamente em uma região intertropical (entre os Trópicos de Capricórnio e Câncer), onde a incidência dos raios solares é quase perpendicular (DIAS *et al.*, 2017) e por ser cortado pelo Equador, onde não se observam grandes variações na duração solar do dia (FERREIRA *et al.*, 2018), possui uma das

maiores taxas de insolação do mundo, apresentando grande potencial para o desenvolvimento da geração de energia solar (DRANKA; FERREIRA, 2018; GARLET *et al.*, 2019).

Já a acentuada redução no preço dos equipamentos necessários para a geração da energia elétrica proveniente da fonte fotovoltaica, tem tornado este tipo de geração de energia um dos sistemas mais promissores no domínio da geração de energias renováveis (KOÇAK; SARKGÜNESI, 2017), onde as usinas fotovoltaicas em escala de utilidade, são consideradas a forma de empreendimento mais competitivos em comparação com outros tipos de geração de energia elétrica, e assim considerada uma tendência crescente no Brasil (INPE, 2017).

No contexto da energia elétrica proveniente das usinas fotovoltaicas, segundo Al Garmi e Awasthi (2017), todo projeto desta magnitude é norteado pela necessidade de se conhecer os locais potenciais, pois a análise do local é o primeiro passo para garantir um projeto econômico e de bom desempenho (viável) (AL GARNI, H.Z.; AWASTHI, A., 2018; TAVANA *et al.*, 2017; RIOS; DUARTE, 2021). Por isso, antes de investir capital em sua infraestrutura é indispensável uma análise sistemática dos fatores que afetam positivamente e negativamente o desempenho e a economia operacional, a fim de garantir a maximização da potência de saída gerada e redução dos custos de investimento, com a consequente maximização do retorno financeiro (MOKARRAM *et al.*, 2020; SARASWAT *et al.*, 2021), ou seja, neste tipo de projeto, onde o equipamento que será utilizado será uma constante, é preciso levar em conta os critérios de exclusão e a escolha dos critérios mais determinantes na seleção de locais, os quais serão avaliados em função de seus impactos positivos ou negativos no desempenho e no custo da energia elétrica gerada (SUURONEN *et al.*, 2017; AL GARNI; AWASTHI, 2018; AMJAD; SHAH, 2020).

Uma abordagem que está sendo muito aplicada para selecionar os locais estratégicos para a instalação de usinas fotovoltaica, é a dos Métodos Multicritério de Apoio à Decisão (*MultiCriteria Decision Making* - MCDM) (AL GARNI; AWASTHI, 2018), que baseada na percepção de especialistas objetiva dar suporte a decisão de problemas complexos (SARASWAT *et al.*, 2021), pois devido a sua capacidade de lidar com grande quantidade de dados e informações, vem fazendo com que os métodos desta abordagem sejam capazes de explorar um conjunto de alternativas possíveis e assim retornar com o melhor resultado, ou seja, aquele que tem o mais alto grau de cumprimento para todos os critérios relacionados (ELKADEEM *et al.*, 2021).

Também tem sido muito utilizado em projetos de usinas fotovoltaicas o mapeamento de áreas por meio de Sistemas de Informações Geográficas (GIS) (RIOS; DUARTE, 2021; SARASWAT *et al.*, 2021), um software, muito popular como ferramenta de visualização, que devido ao alto nível de maturidade de suas funcionalidades embarcadas, apresenta um grande

potencial para explorar informações geográficas e desenvolver um sistema de apoio à decisão espacial, oferecendo desta forma vantagens significativas para o planejamento estratégico e desenvolvimento deste tipo de projeto (AL GARNI; AWASTHI, 2018).

Com exemplos do desenvolvimento de trabalhos voltados a implantação de usinas fotovoltaicas, é possível citar os trabalhos dos pesquisadores da Turquia, onde: Uyan, (2017), que utilizou o GIS para excluir os locais considerados inapropriados, e o AHP com cinco critérios de seleção em seus estudos; Akkas et al., (2017), utilizou o AHP, o ELECTRE, o TOPSIS e o método VIKOR associados a sete critérios de seleção, para fazer uma comparação e encontrar o melhor local; Samanlioglu e Aya, (2017), utilizou o Fuzzy Analytic Hierarchy Process (F-AHP), para determinar o peso dos cinco critérios de seleção e o Fuzzy Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations (F-PROMETHEE II) para avaliar os locais candidatos; Ozdemir e Sahin, (2018), utilizou o AHP e dez critérios de seleção para avaliar os locais candidatos; Koc et al., (2019), utilizou o GIS para excluir os locais considerados inapropriados e o AHP, associado a nove critérios de seleção para avaliar os locais candidatos; Tercan et al., (2020), utilizou o GIS para excluir os locais considerados inapropriados e os métodos Point Allocation (PA), Rank-Order Centroid (ROC), Rank Reciprocal (RR), Rank Sum (RS), associados a onze critérios de seleção para avaliar os locais candidatos; Gunen, (2021a), utilizou o GIS para excluir os locais considerados inapropriados e os métodos AHP, ROC, RR, RS, associados a nove critérios de seleção para avaliar os locais candidatos; Gunen, (2021b), que propõe uma nova estrutura para avaliar a adequação do local de fazendas solares fotovoltaicas, que considera a preservação de áreas naturais, de conservação ecológica e culturais, utilizando o GIS para excluir os locais considerados inapropriados e o AHP, associado a doze critérios de seleção para avaliar os locais candidatos a fim de minimizar o custo, tempo e recursos usados na construção de parques solares fotovoltaicos; Kircali e Selim, (2021), utilizou o GIS para excluir os locais considerados inapropriados e o AHP, associado a dez critérios de seleção para avaliar os locais candidatos; Turk et al., (2021), utilizou o GIS para excluir os locais considerados inapropriados e o método Intuitionistic Fuzzy Set (IFS), associado a nove critérios de seleção para avaliar os locais candidatos.

Também é possível citar os trabalhos dos pesquisadores do Irã, onde: Tavana et al., (2017), utilizou o F-AHP como método multicritério para determinar o peso dos quatro critérios de seleção e os métodos Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) e Fuzzy Inference System (FIS), que não são considerados métodos multicritério, para avaliar os locais candidatos; Asakereh et al., (2017), utilizou o GIS para excluir os locais considerados inapropriados e o AHP, associado a dois critérios de seleção para avaliar os locais candidatos;

Zoghi et al., (2017), utilizou o método de sobreposição booleano para excluir os locais considerados inapropriados, o F-AHP para determinar o peso dos onze critérios de seleção que foram utilizados pelo método Weighted Linear Combination (WLC), para avaliar os locais candidatos; Ghasemi et al., (2019), utilizou o GIS para excluir os locais considerados inapropriados e o AHP, associado a oito critérios de seleção para avaliar os locais candidatos; Shorabeh et al., (2019), utilizou o GIS para excluir os locais considerados inapropriados e o Ordered Weighted Averaging (OWA), associado a dez critérios de seleção para avaliar os locais candidatos; Mokarram et al., (2020), utilizou o software de informação geográfica para excluir os locais considerados inapropriados e os métodos Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP), Fuzzy Analytical Network Process (F-ANP), que foram associados a onze critérios de seleção para avaliar os locais candidatos; Noorollahi et al., (2022), utilizou o software de informação geográfica e a lógica fuzzy boolean para excluir os locais considerados inapropriados e o AHP, associado a doze critérios de seleção para avaliar os locais candidatos.

Nos trabalhos dos pesquisadores da Espanha, temos: Sanchez-Lozano et al., (2014), utilizou o GIS, juntamente com o Sistema Decision Support System (IRIS), para excluir os locais considerados inapropriados e o método ELimination Et Choice Translation Reality - TRI (ELECTRE-TRI), associado a oito critérios de seleção para avaliar os locais candidatos; Sánchez-Lozano et al., (2015), utilizou o GIS para excluir os locais considerados inapropriados, o AHP para determinar o peso dos oito critérios de seleção e o método Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution (F-TOPSIS) para avaliar os locais candidatos, onde por fim, para comparar os resultados obtidos, foi aplicada a metodologia ELECTRE-TRI; Sanchez-Lozano et al., (2016), utilizou o GIS para excluir os locais considerados inapropriados, o AHP para determinar o peso dos oito critérios de seleção e os métodos TOPSIS e ELECTRE-TRI para avaliar os locais candidatos e comparar os resultados obtidos; Díaz Cuevas et al., (2018), utilizou o Software Spatial Database Management System (PostgreSQLPostGIS) para excluir os locais considerados inapropriados e o AHP, associado a oito critérios de seleção para avaliar os locais candidatos; Marques-Perez et al., (2020), utilizou o GIS para excluir os locais considerados inapropriados, o AHP para determinar o peso dos nove critérios de seleção e o Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations (PROMETHE) para avaliar os locais candidatos.

Já nos artigos publicados por pesquisadores do Brasil, temos: Furtado; Sola, (2020), utilizou o GIS para excluir os locais considerados inapropriados e o Complex Proportional Assessment (F-COPRAS), associado a seis critérios de seleção para avaliar os locais candidatos; Rediske et al., (2020), utilizou o software de informação geográfica para excluir os

locais considerados inapropriados, o AHP para determinar o peso dos seis critérios de seleção e os métodos TOPSIS e Multiattribute Utility Theory (MAUT) para avaliar os locais candidatos e comparar os resultados obtidos.

Também na tomada de decisão, baseada em critérios, as ferramentas de estruturação de problemas e apoio à decisão são de grande valia, pois consistem na estruturação da situação problema, onde os valores mais relevantes são ordenados de acordo com a essencialidade estabelecida pelo analista (ALENCAR et al., 2017), sendo que pela lista de autores referenciados acima, a qual contempla uma análise de alguns trabalhos realizados por quatro países, mas que poderiam contemplar muitos outros países, porém sem muita variação no roteiro de desenvolvimento da problemática, é possível notar que não mencionam, em seu desenvolvimento, ferramentas de estruturação, sendo neste caso possível a utilização do *Value-Focused Thinking* – VFT (Pensamento Focado em Valor), pois através desta estrutura, os critérios surgem a partir da definição do conjunto de valores que contextualizam a decisão (PAIVA e DAHER 2016).

Considerando que a implantação de uma usina fotovoltaica é realizada sob o olhar de múltiplos critérios conflitantes, é necessário a aplicação de uma estrutura única e coesa que utilize a análise multicritério em um contexto espacial para efetuar a análise de uma quantidade considerável de alternativas, de critérios e de restrições com características distintas, visando oferecer uma seleção refinada e uma decisão mais confiável para a tomada de decisão do local do projeto (ELKADEEM et al., 2021; ZAMBRANO-ASANZA et al., 2021; PRIETO-AMPARAN et al., 2021; SARASWAT et al., 2021; AL GARNI; AWASTHI, 2018), justificando-se desta forma o uso do MCDM conjuntamente com o GIS, pois em conjunto, os dois são capazes de fornecer um mecanismo eficaz de apoio à decisão, facilitando o julgamento de diferentes alternativas, as quais estão sujeitas a múltiplos critérios (RIOS; DUARTE, 2021), onde, analisando a lista de autores referenciados acima, não foi encontrado em nenhuma das publicações como foi feita a escolha do método multicritério a ser empregado.

Diante do exposto acima, tendo como área de estudo o Brasil e como contexto o franco desenvolvimento das usinas fotovoltaicas, que estão despontando como uma das melhores soluções para a geração de energia elétrica, este estudo pretende ser um instrumento que complementa a atuação profissional no desenvolvimento deste tipo de projeto, pois um dos maiores entraves para a consecução do mesmo, tem sido encontrar a localização geográfica ideal para sua implantação.

Em seu desenvolvimento, visando obter o melhor resultado, este trabalho utiliza como base o GIS-MCDM, com o objetivo de minimizar o esforço do decisor e inova ao sistematizar

o processo de escolha do local de implantação de uma usina fotovoltaica. Através da utilização, do GIS, do VFT, conjuntamente com o método Macbeth, onde a escolha deste último foi feita baseada na necessidade do decisor de encontrar uma lista ordenada contendo os locais mais apropriados para a instalação de uma usina fotovoltaicas, e com o propósito de propor um processo inovador, que seja amplamente aceito e utilizado na academia, coisa que ocorreu na metodologia, mesma fase em que foi estudada a problemática em questão.

1.1 - QUESTÃO DE PESQUISA

Diante da contextualização apresentada, este estudo pretende responder à seguinte questão de pesquisa: “Como auxiliar decisores, em projetos de usinas fotovoltaicas, a elaborar uma lista com os melhores locais para investir, fazendo com que consigam atingir seus objetivos de forma sistêmica, estruturada e efetiva?”

1.2 - OBJETIVOS

A partir da pergunta de pesquisa, o objetivo geral traçado neste estudo é: através de um processo de decisão estruturado, elaborar um modelo baseado em um método de decisão multicritério para obter uma ordenação de locais viáveis para a implantação de usinas fotovoltaicas, auxiliando desta forma decisores em projetos desta magnitude a alcançar seus objetivos de forma mais rápida e eficiente.

Para atingir o objetivo principal do trabalho, foram definidos objetivos específicos:

- Através de um processo estruturado, definir o método MCDM que será aplicado na problemática, objeto desta dissertação;
- Estruturar o problema, seguindo os passos mais utilizados no desenvolvimento de problemáticas baseadas em MCDM e inovar, desenvolvendo-a, utilizando o VFT;
- Testar e validar o modelo, oferecendo embasamento científico aos tomadores de decisão, para que possam decidir aceitar ou não as novas indicações.

1.3 - JUSTIFICATIVA

A energia fotovoltaica, nos últimos 14 anos, vem cada vez mais ganhando atenção. Como prova disso, é possível verificar ano após ano um sólido e consistente aumento no número de

publicações científicas a respeito do assunto. Em uma pesquisa feita na base de dados do Scopus, com a palavra chave “PHOTOVOLTAIC ENERGY”, delimitando que a mesma poderia estar no título, no resumo ou nas palavras chave do artigo e filtrando o resultado para retornar: apenas artigos, na versão final, publicados em jornais, foi possível observar uma curva ascendente a partir do ano 2009, a qual vem crescendo ano a ano, e em 2022, um pico de 284 publicações envolvendo esta palavra chave, que praticamente se manteve estável em 2023 (Gráfico 01).

Este crescimento pode, em parte, ser creditado ao fato de que o tema tem despertado o interesse da comunidade científica, que através de muita pesquisa e desenvolvimento, conseguiu tornar a tecnologia fotovoltaica comercialmente viável (redução de custos e aumento de produtividade), além do fato de que a mesma veio de encontro às necessidades ambientais de mitigação das emissões dos GEE.

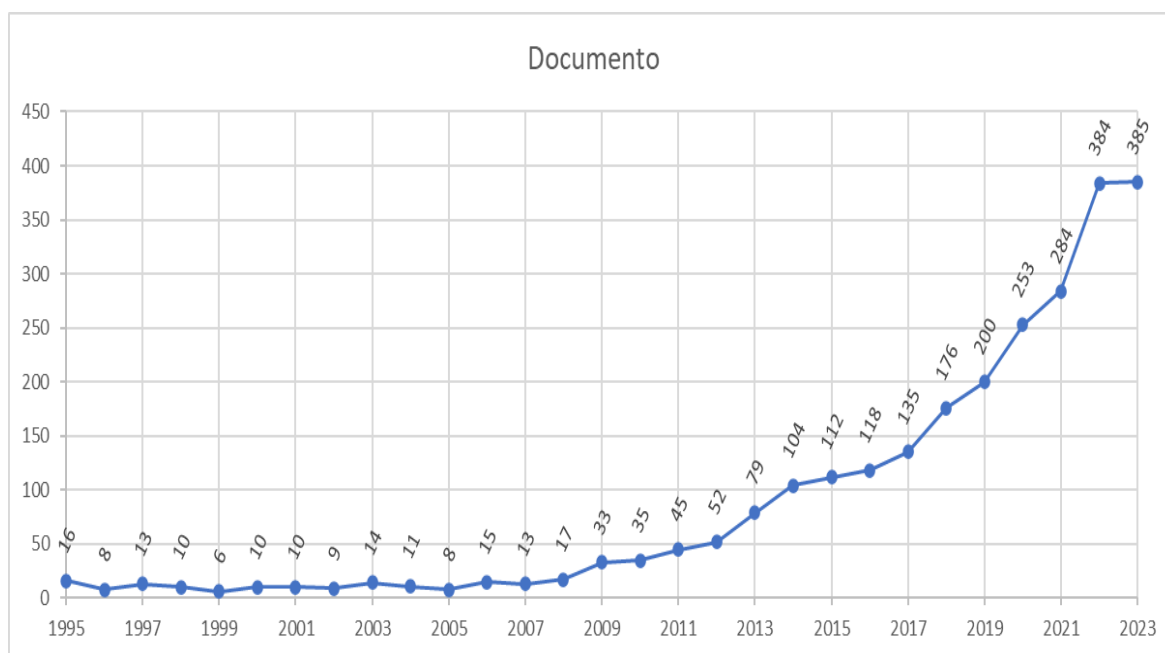


Gráfico1 – Evolução temporal das publicações científicas sobre energia fotovoltaica (Fonte: SCOPUS, 2024)

No tocante a energia fotovoltaica, em outubro de 2014, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), começou a incentivar sua geração, integrando a geração de energia elétrica a partir da fonte fotovoltaica centralizada ao planejamento e expansão do sistema elétrico nacional, incorporando desta forma a energia gerada por este tipo de fonte, aos leilões de compra de energia elétrica promovidos pelo Governo Federal e realizando neste mesmo ano o primeiro leilão para aquisição de energia elétrica proveniente exclusivamente de geração fotovoltaica (DIAS *et al.*, 2017). A partir de 2016 em todos os leilões promovidos pelo governo

federal para contratação de fornecimento de energia elétrica, a modalidade proveniente da fonte fotovoltaica centralizada sempre tem estado presente.

Diante do exposto acima, em uma análise à matriz elétrica brasileira, foi possível verificar que do ano de 2021 para o ano de 2022 houve um aumento de 74% de participação proveniente da fonte fotovoltaica na oferta de energia elétrica, passando de 2,5%, para 4,4%, onde em termos absolutos, pôde ser verificado um acréscimo de 79,8% na oferta de energia elétrica proveniente desta modalidade, saltando de aproximadamente 16,752TWh/ano em 2021, para aproximadamente 30,126TWh/ano em 2022, concluindo-se que cada vez mais áreas estão sendo utilizadas para a implantação de usinas fotovoltaicas em escala de utilidade.

Um outro fundamento que deve ser considerado na aplicação desta pesquisa é o fato de que atualmente, apesar de ser possível verificar que os empreendimentos geradores de energia elétrica proveniente da fonte fotovoltaica centralizada, estejam se expandindo pelo Brasil, onde geradores montados no solo, em estruturas metálicas, têm sido instalados em áreas onde, além da grande disponibilidade do recurso solar, também outros fatores são levados em consideração (INPE, 2017). Através do relatório de 2023 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), é possível verificar que existe uma concentração destes empreendimentos em alguns poucos locais, ou seja, a geração deste tipo de energia está fortemente concentrada nos estados da região nordeste e no norte do estado de Minas Gerais (ABSOLAR, 2023).

Através da entrevista feita com um profissional (um especialista) em projetos de usina fotovoltaica, atuante na área de planejamento de energia fotovoltaica em escala de utilidade (usinas centralizadas), foi obtida a afirmação do mesmo de que a maior parte dos profissionais que trabalham com este tipo de geração, segue um pressuposto inicial de considerar em seus estudos apenas os locais com os maiores índices de irradiação global (GHI), concomitantemente com a proximidade das linhas de transmissão (os locais não podem se situar a mais de 03 Km de distância das mesmas), com perigo de inviabilizar financeiramente o empreendimento.

O especialista também colocou que os mesmos profissionais, após a aplicação do pressuposto citado acima, utilizam em seus estudos, critérios de exclusão para se nortear e seguem uma sequência lógica efetuando uma ponderação de 08 critérios de seleção/exclusão, através do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), para a retirada dos locais considerados inaptos, tornando o desenho do processo da forma descrita acima, um tanto quanto simplista ao considerar apenas os locais com os mais altos índices de irradiação, aumentando assim a possibilidade de estar deixando de lado, locais tão bons quanto os primeiros, ao não estar utilizando critérios de seleção que sejam importantes na construção da classificação dos locais, além de estar subutilizando o MCDM ora utilizado.

Pelo exposto acima, é possível dizer que não basta obter uma lista de locais que podem ser utilizados para que o stakeholder possa escolher onde implantar uma usina fotovoltaica, é preciso ter a certeza de que esta lista conterá os melhores locais de forma ordenada. Então, neste sentido, este trabalho se propõe, utilizando uma área de estudo como forma de verificar o resultado na prática, utilizar um método MCDM, que com o auxílio do VFT, tenha o objetivo de fazer uma análise ampliada de locais viáveis a implantação de uma usina fotovoltaica, sistematizando, um processo que possa ser replicado e utilizado como modelo de referência pelos especialistas para obter de forma simples, fácil e segura, uma lista ordenada de locais com a mais alta aptidão, para o desenvolvimento de uma usina fotovoltaica.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A Figura 1 mostra a estrutura seguida na dissertação, onde, além da introdução apresentada, a pesquisa contém os fundamentos conceituais necessários para a estruturação do problema; a definição do método de pesquisa, com o detalhamento de todas as etapas e análise dos dados; os resultados e discussão das análises; e por fim, as conclusões, que apresentam as principais implicações de pesquisa, limitações e possibilidades de continuação.

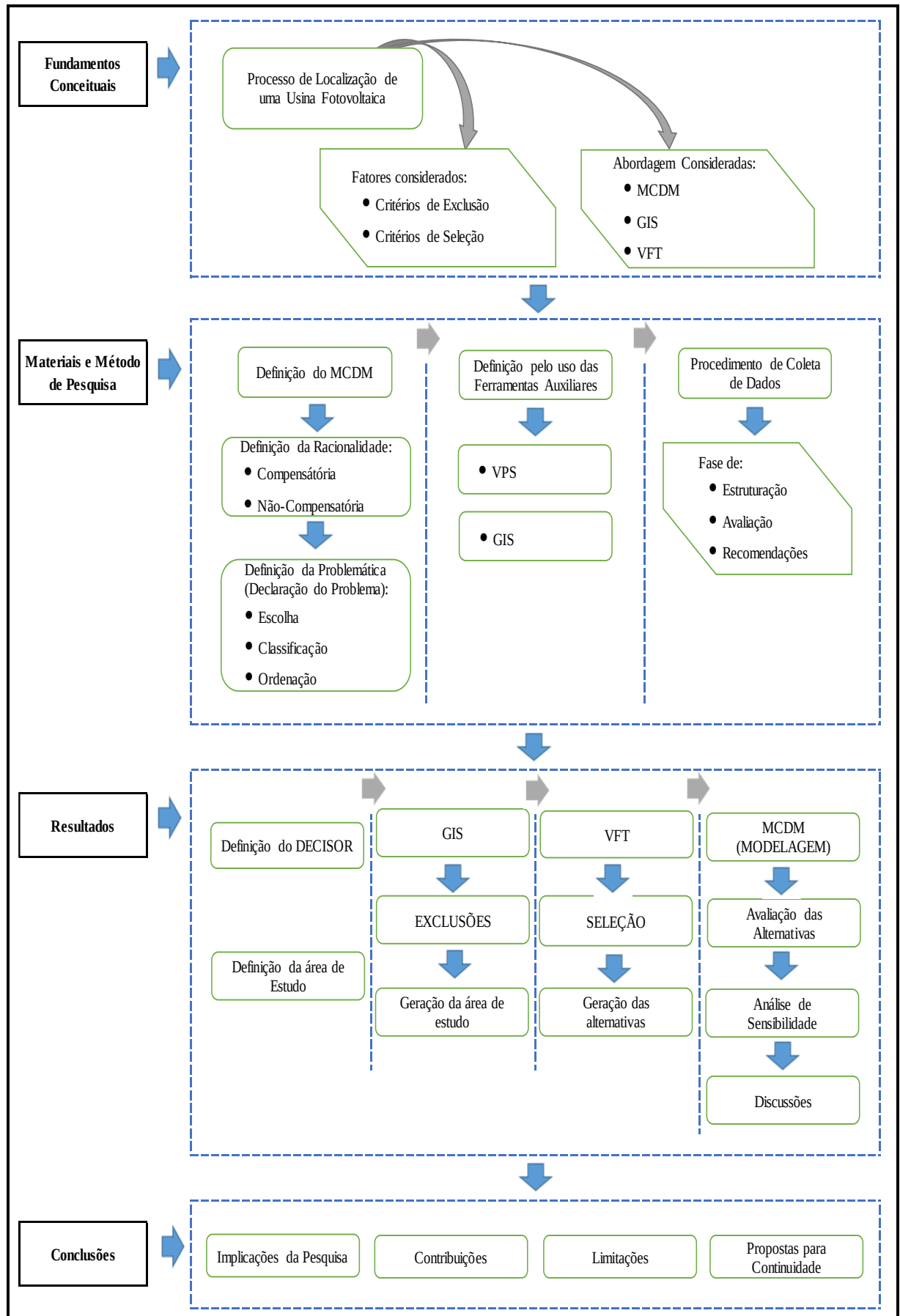


Figura 1 - Estrutura da Dissertação

2 – FUNDAMENTAÇÃO CONCEITUAL

Este capítulo tem o objetivo apresentar as bases conceituais do estudo, com as práticas relevantes para o trabalho, iniciando com a busca de material científico para o desenvolvimento da dissertação, através de uma revisão semi-sistemática de literatura a fim de levantar o estado da arte, ou seja, entender como tem sido desenvolvido o tema da localização de usinas fotovoltaicas, na literatura científica internacional, e desta forma, coletar material para embasar esta dissertação.

A partir da revisão de literatura, é feito um compilado do material considerado relevante, o qual, na sequência resulta na compilação: dos fatores que impactam positivamente e negativamente o estudo; dos métodos da abordagem MCDA que tem sido utilizados nas literaturas analisadas; da ferramenta de análise espacial e geoestatística, que normalmente é utilizada a fim de facilitar a análise dos resultados e pôr fim é feito um estudo da abordagem MACBETH e do método de estruturação de problemas *Value Focused Thinking* - VFT.

2.1 - REVISÃO DE LITERATURA

Através de um processo estruturado, foi efetuada uma revisão semi-sistemática de literatura na base de dados do Scopus, relacionando de forma aditiva, três tópicos de busca, a saber:

- Para selecionar apenas artigos que tratam da energia fotovoltaica, foram interrelacionados os termos: “solar”, “sun”, “photovoltaic” e “PV”, com os termos “energy” e “power”.
- Para selecionar artigos relacionados à problemática de localização, foram inter-relacionados os termos: “location”, “site”, “sitting”, com os termos “selection”, “planning”, “suitability”, “optimization”, “choice”, além dos termos “best location”, “best site”, “PV farm”, “solar farm”, “photovoltaic farm”, “PV plant”, “photovoltaic plant”, “photovoltaic solar plant”.
- Para selecionar artigos que foram desenvolvidos utilizando métodos multicritério, foram inter-relacionados os termos: “MCDM”, “multi-criteria decision making”, “multi criteria decision making”, “multicriteria decision making”, “MCDA”, “multi-criteria decision analysis”, “multi criteria decision analysis”, “multicriteria decision analysis”.

Os três tópicos de busca, inter-relacionados geraram o seguinte filtro de buscas na base de dados do Scopus:

```
( TITLE-ABS-KEY ( ( ("location selection" ) OR ("site selection" ) OR ("location planning" )
OR ( "site planning" ) OR ( "location suitability" ) OR ( "site suitability" ) OR ( "location
optimization" ) OR ( "siting optimization" ) OR ( "location choice" ) OR ( "site choice" )
OR ( "best location " ) OR ( "best site" ) OR ( "pv farm" ) OR ( "solar farm" ) OR
("photovoltaic farm" ) ) ) AND TITLE-ABS-KEY ( ( ("solar energy" ) OR ("solar power" )
OR ( "sun energy" ) OR ( "sun power" ) OR ( "pv energy" ) OR ( "pv power" ) OR
( "photovoltaic energy" ) OR ( "photovoltaic power" ) OR ( "pv plant" ) OR ( "photovoltaic
plant" ) OR ( "photovoltaic solar plant" ) OR ( "photovoltaic solar energy plant" )
OR ( "photovoltaic solar power plant" ) ) ) AND TITLE-ABS-KEY ( ( ( "mcdm" ) OR
( "multi-criteria decision making" ) OR ( "multi criteria decision making" ) OR ( "multicriteria
decision making" ) OR ( "mcda" ) OR ( "multi-criteria decision analysis" ) OR ( "multi criteria
decision analysis" ) OR ( "multicriteria decision analysis" ) ) ) ) AND ( LIMIT-TO
( PUBSTAGE , "final" ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) ) AND ( LIMIT-TO
( SRCTYPE , "j" ) )
```

Com base no resultado da pesquisa, foi feito um filtro manual, com a leitura do título, palavras chave e resumo dos artigos selecionados, excluindo os artigos que não tratavam do assunto da localização de usinas fotovoltaicas centralizadas como assunto principal.

A partir do filtro descrito acima, foram selecionadas e analisadas 91 publicações sobre o tema, que compreendem 14 anos (2009 até 2023) (SCOPUS, 2024), abrangendo todo o período, que engloba desde que a tecnologia fotovoltaica começou a se tornar viável economicamente, ou seja, vai desde que a energia elétrica produzida pelas usinas fotovoltaica em escala de utilidade começou a ser utilizada em escala comercial, até hoje.

Com o objetivo de identificar quais fatores, os especialistas, têm considerado em suas publicações, como aqueles que são determinantes na escolha da localização para projetos de geração de energia fotovoltaica em grande escala, foi feita uma compilação artigo a artigo, para identificar os fatores de exclusão e os fatores de seleção utilizados em cada trabalho. Como resultado, verificou-se que os artigos encontrados, seguem, com poucas exceções o mesmo raciocínio, ou seja, primeiro são excluídas as áreas consideradas inadequadas à implantação de uma usina fotovoltaica, procedimento normalmente feito de acordo com os critérios de exclusão que se enquadram ao espaço geográfico em estudo. Em seguida, já conhecendo a lista de todos locais que possuem aptidão para estarem sediando o empreendimento, é feita a definição dos critérios que efetivamente irão influenciar na tomada de decisão.

Nestes artigos, após a definição dos critérios, com o uso de uma das ferramentas de análise e decisão multicritério, que irá levar em conta a ótica estrutural do problema (escolher, ordenar ou classificar), é feita a conclusão da pesquisa, onde segundo Al Garni e Awasthi, (2017), invariavelmente a conclusão dos artigos é a de melhorar o desempenho do projeto solar, selecionar o terreno mais adequado, minimizar perdas com o transporte, com a produção e a transmissão de energia, minimizar impactos ambientais, sociais, culturais e de infraestrutura.

Dentro da análise de literatura, ou seja, dentro das 91 publicações encontradas, foi possível notar que dos 38 países diferentes que foram objeto de análise, os que mais publicaram artigos sobre a problemática de localização de uma usina fotovoltaica em escala de utilidade, foram a Turquia com 16 publicações (17,58%), o Irã, com 12 publicações (13,19%) e a Arabia Saudita, com 07 publicações (7,69%), já os outros 35 países representam individualmente aproximadamente 5,00% ou menos das publicações deste tipo, onde neste contexto, encontra-se o Brasil (7º lugar), com 02 publicações (2,20%) (Quadro 3).

Classificação	País	Qtd.
1º Lugar	Turquia	16
2º Lugar	Irã	12
3º Lugar	Arabia Saudita	7
4º Lugar	Espanha	5
5º Lugar	India / Marrocos	4
6º Lugar	China / Vietnan	3
7º Lugar	Argélia / Azerbaijão / Brasil / Egito / Grécia / Israel / Tailândia	2
8º Lugar	Outros	1

Quadro 1 - Ranking de Publicações por país

Fazendo um estudo sobre os países que mais publicaram artigos sobre o assunto, para entender o interesse no assunto, foi possível verificar que os pesquisadores da Turquia, tem pesquisado e publicado muito sobre o assunto, devido ao país estar apresentando um aumento expressivo no crescimento econômico, concomitante com uma elevada taxa de crescimento da população, que aliado a favorável taxa média de irradiação incidente no país fazem despontar o interesse pelo desenvolvimento deste tipo de geração de energia elétrica (ESLAMI S. *et al.*, 2023; MIRZAEI N., 2022; TURK S. *et al.*, 2021). Os pesquisadores do Irã, tem feito muitas publicações devido ao aumento da demanda por energia elétrica (Hooshangi *et al.*, 2023), pela

preocupação com o aquecimento global (Dahooie *et al.*, 2022) e pelo alto nível médio de irradiação solar do país (Ahadi *et al.*, 2023),). Já os da Arabia Saudita, devido ao rápido crescimento do consumo de energia elétrica (Mian *et al.*, 2023) além da constatação de que a quantidade de petróleo e gás é limitada, tem levado o governo a planejar reduzir o consumo de combustíveis fósseis e a querer proteger o meio ambiente (Almasad *et al.*, 2023), investindo no desenvolvimento da energia renovável, através principalmente da fonte fotovoltaica, pois o país possui um alto nível médio de irradiação solar (Alanazi A.; Alanazi M.; 2023; Hassan *et al.*, 2023). Os demais países, devido ao fato de individualmente representarem aproximadamente cinco por cento do total de artigos sobre o tema ou menos, não serão registrados individualmente na fundamentação conceitual, mas farão parte das análises e contribuirão com o resultado desta pesquisa.

2.2 - FATORES CONSIDERADOS

A identificação dos locais mais adequados para a construção de uma usina fotovoltaica é uma decisão estratégica (WANG *et al.*, 2022), que tem a necessidade de considerar muitos fatores no planejamento, antes da tomada de decisão (NASERI *et al.*, 2021). É um processo complexo, que envolve maximizar o potencial de geração de energia e minimizar os investimentos relacionados ao projeto (NOOROLLAHI *et al.*, 2022). Segundo Vagiona (2021), para identificar os locais mais adequados, é importante desenvolver um cuidadoso estudo, para garantir um desenvolvimento equilibrado e sustentável, pois a adequação do local varia de país para país sendo afetada por fatores que dependem da localização geográfica, de atributos biofísicos, de infraestrutura e socioeconômicos (CHARABI; GASTLI, 2011), aspectos geográficos e de política energética (KHAZAEI; AL-BAKRI, 2021), perspectivas econômicas e técnicas e aspectos sociais e ambientais da região analisada (WANG *et al.*, 2022).

Tahri *et al.*, (2015) coloca que um critério é um aspecto mensurável, capaz de caracterizar e quantificar alternativas em um processo de tomada de decisão. Doljak e Stanojevi (2017) colocam que tudo o que influencia no processo de decisão, tem o objetivo levar a encontrar os melhores locais para a implantação de uma usina fotovoltaica e são divididos em dois grupos básicos, onde um consiste no conjunto de critérios que vão determinar a exclusão de locais (critérios de exclusão) e o outro consiste no conjunto de critérios que vão determinar qual será o melhor local para tal empreendimento (critérios de seleção). Esta divisão é comumente utilizada em trabalhos científicos sobre o assunto e também será utilizada neste trabalho.

2.2.1 – Critérios de Exclusão

A implantação de uma usina fotovoltaica, em determinado local, pode ser limitada por motivos técnicos, ambientais (CASTILLO *et al.*, 2016), por motivos legais ou topográficos (SUN *et al.*, 2021), por motivos de proteção especial, por ter seu uso para fins considerados mais importantes, ou devido a não ser autorizado nenhum tipo de construção no local (RIOS; DUARTE, 2021). Todas estas considerações são chamadas de restrições ou exclusões e são definidas como regras estabelecidas dentro dos critérios com o objetivo de remover, reduzir, restringir ou delimitar áreas não adequadas (fora das regras estabelecidas), dentro de uma região de estudo (ALBRAHEEM; ALABDULKARIM, 2021). Em vista disto, foi elaborada uma lista com todos os critérios de exclusão constantes na literatura analisada (Apêndice D) e descritos abaixo:

- **Áreas Protegidas** - Uma usina fotovoltaica pode afetar negativamente o equilíbrio ecológico local e resultar na perda de espécies vegetais e animais importantes. Por isso, é essencial a **proteção ambiental**, mantendo uma distância mínima de Reservas Naturais, Áreas de Proteção e Áreas de Conservação (MALEMNGANBI; SHIMRAY, 2022; DEHSHIRI; FIROOZABADI, 2023; SPYRIDONIDOU *et al.*, 2022). De acordo com a definição da União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN), uma área protegida “é um espaço geográfico claramente definido, reconhecido, dedicado e gerido, por meios legais ou outros meios eficazes, para alcançar a conservação da natureza a longo prazo com serviços ecossistêmicos associados e valores culturais” (ALY *et al.*, 2017; SUN *et al.*, 2021), ou protegido por ser indispensável à conservação da biodiversidade, ecossistema, vida, natureza, patrimônio e cultura (TERCAN *et al.*, 2020; FARD *et al.*, 2022), como por exemplo é possível citar os locais considerados **patrimônios histórico e cultural**, como: Florestas Nacionais, os campos de batalha, monumentos nacionais, os Parques Nacionais, Áreas de Beleza Nacional Excepcional, locais de Interesse Científico Especial, Reservas Naturais Nacionais e Locais; Áreas de Proteção Especial, Áreas Especiais de Conservação (WATSON; HUDSON, 2015; GHOSE *et al.*, 2020), terras indígenas, sítios paleontológicos (REDISKE *et al.*, 2020), sítios arqueológicos, áreas turísticas, áreas de proteção e desenvolvimento da vida selvagem, parques nacionais e naturais, área litorâneas de nidificação de tartarugas (TERCAN *et al.*, 2020), zonas de caça proibidas, santuários de vida selvagem, áreas históricas e turísticas (NOOROLLAHI *et al.*, 2022), não sendo, portanto, permitido o desmatamento e nem utilização das mesmas para nenhum fim secundário (OUCHANI *et al.*, 2021; MALEMNGANBI; SHIMRAY, 2022).

Também é essencial incluir, neste contexto, **áreas sensíveis**, como: monumentos histórico/naturais, áreas com potencial valor paisagístico de montanha, áreas com alta biodiversidade e corpos d'água, que precisam ser protegidos, objetivando minimizar os impactos ecológicos e sociais (SUURONEN *et al.*, 2017; CHARABI; GASTLI, 2011).

- **Baixo Índice de Irradiação Solar** - Um indicador fundamental para qualificar a geração de energia solar de forma econômica, é a quantidade de radiação solar recebida na superfície da Terra, que tem potencial para ser convertida em eletricidade (ASAKEREH *et al.*, 2017). Para que as instalações de energia solar em grande escala sejam economicamente viáveis, elas devem ser construídas em áreas que recebam radiação solar significativa (ALY *et al.*, 2017), deste modo, áreas com baixo índice de irradiação solar, são consideradas de aptidão limitada e portanto, consideradas como critério de exclusão no planejamento para a implantação de uma usina fotovoltaica (OUCHANI *et al.*, 2021; SPYRIDONIDOU *et al.*, 2022).

- **Longa Distância da Linha de Transmissão** - A rede elétrica existente, com todos os seus componentes e unidades (subestações, linhas de corrente contínua de alta tensão e linhas de corrente alternada de alta tensão), é um critério muito importante (TERCAN *et al.*, 2020), pois áreas distantes de redes elétricas não são economicamente viáveis e portanto inadequadas (ALBRAHEEM; ALABDULKARIM, 2021), devido a construção de novos sistemas de transmissão elétrica geralmente envolver altos custos e elevar o custo de implantação de uma usina fotovoltaica, além de aumentar o índice de perda de energia elétrica, à medida que aumenta a distância do ponto de conexão com a rede de transmissão (SETTOU *et al.*, 2022; KIRCALI; SELIM, 2021).

- **Áreas Urbanas** - Apesar do fato de ser benéfico para as usinas fotovoltaicas estarem o mais próximo possível dos centros urbanos, uma vez que isto minimiza os custos e maximiza a qualidade da energia elétrica, a localização de uma usina fotovoltaica dentro de uma cidade, ou muito próxima a ela, é considerada uma restrição, pois a mesma pode sofrer efeitos negativos, como receber muitos resíduos de poluição do ar, sofrer acidentes, roubos, arrombamentos e sabotagens (TERCAN *et al.*, 2020), gerar um impacto visual local negativo e afetar o crescimento urbano (REDISKE *et al.*, 2020; ELKADEEM *et al.*, 2021), além do fato de que normalmente nestes locais os terrenos são mais caros e escassos, tendo muitas vezes o inconveniente de que por necessitar de uma grande área para sua instalação, torna-se necessário que o empreendimento tenha que realocar moradores para outros locais (GHOSE *et al.*, 2020).

- **Vias de Transporte** - Os aeroportos, toda rede rodoviária e ferroviária existente são selecionados como fatores de restrição, principalmente devido a questões de segurança de

tráfego (SUN *et al.*, 2021). Nas **rodovias e ferrovias**, normalmente existem faixas de exclusão, limitando o uso particular das mesmas (áreas não edificantes) (REDISKE *et al.*, 2020), além do fato de ser recomendado manter uma distância segura das mesmas, a fim de evitar todos os riscos que podem resultar da instalação muito próxima, tais como acidentes com veículos de passagem e dificuldade de controle e de segurança. Já por outro lado, não podem estar muito longe, pois quanto mais longe, maior a dificuldade de movimentação de funcionários e veículos de manutenção (ALHAMMAD *et al.*, 2022), além de influenciar o custo do projeto e os custos de manutenção, uma vez que dificulta o transporte de materiais, equipamentos e mão de obra para o local (ELKADEEM *et al.*, 2021; TERCAN *et al.*, 2020). Em relação aos **aeroportos**, tanto civis quanto militares, a distância dos mesmos se deve mais por questões de segurança do espaço aéreo da aviação e à prevenção de interferências eletromagnéticas nos sistemas de navegação e vigilância, evitando assim que o reflexo dos painéis atrapalhe os pilotos (OUCHANI *et al.*, 2021; ELKADEEM *et al.*, 2021; SPYRIDONIDOU *et al.*, 2022).

- **Cobertura e Uso da Terra** - Uma vez que uma área relativamente grande de terra é necessária para sediar uma usina fotovoltaica, a terra disponível para o estabelecimento de tal empreendimento deve ser identificada levando em consideração as condições atuais e potenciais de utilização (SUN *et al.*, 2021; RAZA *et al.*, 2023). Devem ser desconsiderados os locais utilizados para **uso econômico ou social**, tais como: as terras cultivadas ou manejadas, as terras arbustivas e arbóreas, e as terras aquáticas naturais (ALY *et al.*, 2017; ASAKEREH *et al.*, 2017), os terrenos com espécies de árvores perenes, árvores de folha caduca, citrinos e outras árvores de fruto, também as oliveiras e outras culturas lenhosas, que tem uma elevada cobertura do solo e não são considerados locais adequados para o desenvolvimento de parques solares (MARQUES-PEREZ *et al.*, 2020). Áreas que apresentem algum tipo de **uso público ou privado**, ou seja, onde já existe algum desenvolvimento, são consideradas restrições, por já estarem sendo ocupadas com algum tipo de atividade econômica e, portanto, impedindo o local de estar sendo considerado na área de estudo (agricultura, linha de gás, trilha de gado, usina, campo de óleo) (CASTILLO *et al.*, 2016). já os gasodutos e campos de petróleo são considerados restrições devido ao risco de explosão (NOOROLLAHI *et al.*, 2022).

- **Recursos Hídricos** - Todas as áreas com orientação hídrica, especialmente aquelas que compreendem **rios, lagos ou outros corpos de água permanente**, são consideradas como restrições (GHOSE *et al.*, 2020; FARD *et al.*, 2022). Uma distância mínima de qualquer corpo d'água deve ser mantida, devido ao entorno destes locais ser considerado Área de Preservação Permanente (APP) e desta forma muito importante para a biodiversidade e para o ecossistema em questão (GUNEN, 2021b), além do fato de ser importante manter uma

distância mínima, a fim de prevenir possíveis desastres naturais, como transbordamento da água, inundações ou deslizamentos de terra, a qualquer empreendimento que se instale muito próximo a estes locais (REDISKE *et al.*, 2020; NOOROLLAHI *et al.*, 2022; NASERI *et al.*, 2021; DEHSHIRI; FIROOZABADI, 2023). Já a distância ao **litoral**, deve ser considerada, devido ao fato de que as regiões costeiras apresentam um elevado nível de sal na atmosfera, o que pode levar à aceleração de corrosões (MALEMNGANBI; SHIMRAY, 2022).

- **Área Geologicamente Inadequada** - São considerados restrições, áreas com declividade elevada, pois não são economicamente viáveis para projetos de energia solar, , além dos terrenos com **encosta íngreme**, áreas com **altas inclinações** e **montanhas** (SUN *et al.*, 2021; REDISKE *et al.*, 2020), pois uma inclinação muito grande pode causar efeitos de sombreamento desfavoráveis sobre os painéis vizinhos, diminuindo a eficiência da conversão de energia e gerando dificuldades no ajuste ideal do ângulo de inclinação, além de custos adicionais de infraestrutura (ELKADEEM *et al.*, 2021; OUCHANI *et al.*, 2021; ASAKEREH *et al.*, 2017). Também são restrições às áreas em **altitudes muito elevadas** devido a elevarem os gastos derivados da construção e operação do sistema, além dos gastos com as instalações de transmissão elétrica (MARQUES-PEREZ *et al.*, 2020; SPYRIDONIDOU *et al.*, 2021). No planejamento de uma usina fotovoltaica, é necessário calcular a capacidade de construção e suporte geral da fundação onde será instalada toda a usina (estruturas de suporte, sistemas de montagem, inversores e edifícios), sendo neste caso o tipo de solo muito importante, uma vez que pode gerar um grande impacto no custo do projeto, devendo ser evitados **solos arenosos e pedregosos**, pois afetam as condições e o modo como será planejada e construída a usina (TERCAN *et al.*, 2020; HALDER *et al.*, 2022). Da mesma forma, também devem ser evitados locais com alta concentração de água e **terras alagadas**, pois afetam o concreto armado do suporte dos painéis fotovoltaicos (SETTOU *et al.*, 2021). Também devem ser evitadas, áreas de **falhas geológicas** e suas proximidades, pois podem ocorrer deslizamento de terra, erosões ou terremotos, que podem provocar danos às usinas (SHORABEH *et al.*, 2019; TERCAN *et al.*, 2020; NASERI *et al.*, 2021; GUNEN, 2021b; NOOROLLAHI *et al.*, 2022).

- **Área de Sombra e Sujeira** - Os efeitos de sombra da topografia circundante, como: **montanhas, vales, florestas** e locais com vegetação densa, podem causar uma variação significativa na radiação solar, ao obstruírem o fluxo de luz solar, restringem o desempenho do sistema e reduzem a quantidade de produção de eletricidade (HABIB *et al.*, 2020; ELKADEEM *et al.*, 2021). A **poluição do ar**, que é considerada a suspensão de minúsculas partículas na atmosfera, as quais podem ser sólidas ou líquidas (poeira, cinzas vulcânicas, fumaça ou fuligem de incêndios florestais e poluição de fábricas), e que são sopradas pelo

vento, impedem a luz de viajar pela atmosfera, uma vez que absorvem a luz solar, formando áreas de sombra e assim afetando a absorção de energia pelos painéis solares, sendo desta forma considerados restrições (NASERI *et al.*, 2021). A **umidade**, que é a quantidade de vapor das moléculas de água presente no ar, além de absorver a energia solar de ondas curtas, também pode contribuir para a formação de orvalho na superfície do painel solar, fazendo com que a poeira do ar se fixe nos módulos e desta forma reduzam a geração de eletricidade, (MALEMNGANBI; SHIMRAY, 2022; NOOROLLAHI *et al.*, 2022; GHOSE *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2022; NOOROLLAHI *et al.*, 2022; DOORGA *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2018). O aumento da quantidade de **partículas atmosféricas** (areia, poeira, sal marinho e gelo) depositadas nos painéis pode reduzir significativamente o desempenho dos mesmos, aumentando os custos de manutenção e diminuindo sua eficiência (NOOROLLAHI *et al.*, 2022; SHORABEH *et al.*, 2019; SARASWAT *et al.*, 2021; AKKAS *et al.*, 2017), assim como o excesso de **excremento de pássaros**, quando uma usina fotovoltaica se encontra em local de rota de migração dos mesmos tem o mesmo efeito das partículas atmosféricas (SPYRIDONIDOU *et al.*, 2021; OZDEMIR; SAHIN, 2018).

2.2.2 – Critérios de Seleção

A determinação do local onde será implantada uma usina fotovoltaica, depende do entendimento completo e preciso dos critérios de seleção e de como escolhê-los (Apêndice E) (ZOGHI *et al.*, 2017). Para construí-la da forma mais eficiente, rentável e sustentável possível, é preciso selecionar o local mais adequado, o que terá a maior eficiência na geração de energia elétrica e que irá maximizar o potencial de lucro sobre o investimento (UYAN, 2017).

Em um processo decisório deste tipo, os critérios de seleção que serão utilizados, representam um aspecto mensurável de julgamento e tem a função de possibilitar a caracterização e quantificação das alternativas (MERROUNI *et al.*, 2018), onde, para encontrar a área mais adequada, todas as alternativas viáveis, devem ser submetidas a cada um dos critérios selecionados, mostrando assim seu grau de adequação, de eficiência naquele critério (GHASEMI *et al.*, 2019; GHOSE *et al.*, 2020) e de influência na decisão (SANCHEZ-LOZANO *et al.*, 2015; SANCHEZ-LOZANO *et al.*, 2016).

Em análise feita em uma amostra contendo 28 autores do mix de artigos que compreendem a revisão de literatura, foi possível constatar que 18 deles utilizaram em suas publicações o artifício de efetuar uma subclassificação dos critérios, onde, os principais subitens

encontrados foram os: climático, geográfico, infraestrutura, econômico, ambiental, social e técnico. Nesta análise pôde ser verificado que, de autor para autor, alguns critérios podem variar seu posicionamento sendo o mesmo critério classificado em um subitem por um autor e em outro por outro autor.

Também foi verificado, que os subitens que mais foram utilizados para classificar os itens foram os da categoria econômica, técnica, ambiental, geográfica e climática (Tabela 01) e que grande parte dos autores colocaram dentro do subitem geográfico, itens classificados por alguns autores como técnicos e também dentro do subitem infraestrutura, itens classificados como econômicos e itens classificados como técnicos. Em vista da análise efetuada, este estudo adotará como subitens em sua execução, para facilitar a consecução do trabalho, os seguintes subitens: Climático, Geográfico, Infraestrutura e Econômico, onde este último, para facilitar ainda mais o estudo e por questões de afinidade, foi transformado e agrupado, fazendo parte do mesmo subitem, os subitens ambiental e social, sendo por fim denominado Socio-econômico-ambientais.

AUTOR	CLIMATICO	GEOGRAFICO	INFRAESTRUTURA	ECONOMICO	AMBIENTAL	SOCIAL	TECNICO	ELÉTRICO	DEMOGRAFICO
Hooshangi et al., 2023	X	X	X	X					X
Almasad et al., 2023				X			X		
Alanazi e Alanazi, 2023	X			X	X		X		
Wang et al., 2023	X			X	X	X	X		
Shriki et al., 2023				X	X		X	X	
Rekik e Alimi, 2023	X	X	X						
Raza et al., 2023	X	X	X						
Kocabakir e Yucel, 2023	X	X	X						
Hassan I.; et al, 2023	X			X	X	X	X		
Dehshiri e Firoozabadi, 2023		X		X			X		
Spyridonidou et al., 2022		X		X	X	X	X		
Nhi et al., 2022		X	X	X		X			
Imamverdiev, 2022		X		X		X	X		
Fard et al., 2022				X	X	X	X		
Bandira et al., 2022	X	X		X	X				
Azmi et al., 2022	X	X	X		X				
Ayough et al., 2022				X	X	X	X		
Ali et al., 2022				X	X		X		

Tabela 1 - Lista dos Subitens por Autor

2.2.2.1 - Critérios Climáticos

Os critérios classificados dentro desta categoria, são considerados cruciais em um processo de decisão, devido ao fato de definirem a capacidade de produção de energia elétrica da usina fotovoltaica (REDISKE *et al.*, 2019). Dentro desta categoria estão:

- **Irradiação Solar** - É considerada um dos fatores mais importantes para a geração de energia fotovoltaica (POJADAS; ABUNDO, 2022; ALBRAHEEM; ALABDULKARIM, 2021; SETTOU *et al.*, 2021; ASADI; POURHOSSEIN, 2021; SUN *et al.*, 2021; SAMANLIOGLU; AYA, 2017; CHARABI; GASTLI, 2011; BORAN *et al.*, 2014; BANDIRA *et al.*, 2022). A irradiação solar, nada mais é que a quantidade de energia solar que atinge a superfície terrestre, medida em uma escala de tempo, através da soma de vários fatores, como latitude, longitude, relógio de sol, umidade, evaporação, temperatura do ar, ângulo do sol, entre outros (ZOGHI *et al.*, 2017). Tendo a denominação de Irradiação Global Horizontal (GHI) é formada pela soma de duas componentes: ○ a irradiação horizontal difusa (DHI), irradiação refletida no solo é representada pela quantidade de radiação solar que é espalhada pelas nuvens da atmosfera e pelas moléculas de poeira e; ○ a irradiação normal direta (DNI), que é a irradiação que chega diretamente ao solo, representada pela quantidade de radiação solar, vinda diretamente do sol e que chega ao solo em linha reta (SUN *et al.*, 2021). Como a luz do sol indica a quantidade de energia recebida do sol por áreas específicas da terra (SHORABEH *et al.*, 2019), temos que as horas do sol representam o comprimento do sol em um local específico para um período especificado (ano ou mês ou dia). (WANG *et al.*, 2018), ou seja, representa a quantidade de horas de exposição dos painéis fotovoltaicos à luz solar, determinando desta forma a sua operação diária, que é um critério essencial para o equilíbrio do sistema de potência, uma vez que quanto maior a duração da luz solar, mais as células fotovoltaicas ficam expostas à luz solar e, portanto, maior é o seu funcionamento (DOORGA *et al.*, 2019; GHOSE *et al.*, 2020), ou seja, a quantidade de energia elétrica produzida pelo módulo solar será maior (WANG *et al.*, 2018). Já quantidade de dias de sol, tem influência direta na definição do local para a implantação da fazenda solar, pois as nuvens fazem com que a energia solar de ondas curtas, emitida pelo sol retornem para o espaço reduzindo assim a quantidade de energia que o sistema gera (ZOGHI *et al.*, 2017), onde em dias nublados, a geração de energia solar pode ser reduzida em algo em torno de 10% a 25%, dependendo da espessura e frequência das nuvens que cobrem o sistema (WANG *et al.*, 2018). Já a chuva, indica alta umidade e concentração de partículas suspensas no ar, que são os fatores mais importantes na absorção ou reflexão da radiação de

ondas curtas. (SHORABEH *et al.*, 2019), além de afetarem o desempenho e o ciclo de vida dos painéis solares e reduzirem a potência do sistema (WANG *et al.*, 2018).

- **Temperatura** - Estudos revelam que a temperatura do ar influencia a eficiência dos painéis fotovoltaicos (MARQUES-PEREZ *et al.*, 2020), pois a produção de saída dos mesmos é inversamente proporcional à temperatura e para cada aumento de 1°C na temperatura da célula solar, em temperaturas acima de 25° C, a quantidade de energia produzida diminui em cerca de 0,4% e 0,5%, além de impactar a vida útil e a durabilidade dos mesmos, ressaltando que temperaturas abaixo de 25° C aumentam a eficiência dos painéis (PRIETO-AMPARAN *et al.*, 2021; KIRCALI; SELIM, 2021; FURTADO; SOLA, 2020; HABIB *et al.*, 2020; GHOSE *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2017; KOC *et al.*, 2019; SPYRIDONIDOU *et al.*, 2021). Neste contexto, o vento, serve para diminuir a temperatura dos módulos fotovoltaicos, ocorrendo de forma mais efetiva, quando em sua direção, atinge os painéis solares com um ângulo reto (KOC *et al.*, 2019), afetando a estrutura de montagem dos painéis, tem que ser planejada, para suportar a velocidade do vento local e também podendo afetar o sistema de rastreamento (MALEMNGANBI; SHIMRAY, 2022), além de poder causar falhas operacionais, contribuir para o desgaste do sistema ou causar o acúmulo (aderência) de poeira às superfícies dos módulos solares, diminuindo a saída de energia. (WANG *et al.*, 2018).

2.2.2.2 - Critérios Geográficos

Os critérios classificados dentro desta categoria, são importantes em um processo de decisão, pois se bem explorados, contribuirão para aumentar a produção de energia elétrica (REDISKE *et al.*, 2019). Dentro desta categoria estão:

- **Inclinação** - É definida como a medida de desnível em relação ao plano horizontal, e influencia a produção elétrica e o custo de construção de parques solares, além do fato de estudos indicarem que os deslizamentos de terra geralmente ocorrem em áreas com declives elevados (TERCAN *et al.*, 2020; ZAMBRANO-ASANZA *et al.*, 2021; KATKAR *et al.*, 2021; SARASWAT *et al.*, 2021; SPYRIDONIDOU *et al.*, 2021; IMAMVERDIEV, 2022). Os terrenos planos, mas com inclinação suficiente apenas para permitir a drenagem natural do solo são os mais indicados para fazendas fotovoltaicas em grande escala, pois a inclinação da área determina a aceitabilidade do local e seu impacto no custo do projeto (relacionado à preparação do terreno) (AL GARNI; AWASTHI, 2017; SETTOU *et al.*, 2021; BANDIRA *et al.*, 2022). Neste ponto, a orientação do terreno, ou o aspecto da terra tem um papel crucial na

determinação da exposição à radiação solar incidente, pois o local para onde pende sua inclinação será usado para extrair o máximo de energia do sol durante o dia (GEORGIU; SKARLATOS, 2016). A orientação do terreno irá impactar na instalação dos painéis fotovoltaicos, na inclinação dos mesmos, além de outros elementos técnicos da instalação, pois um terreno muito inclinado, faz com que os painéis façam sombra na próxima linha e isso afeta a eficiência geral da usina fotovoltaica (DOORGA *et al.*, 2019). A orientação ideal depende da localização do terreno dentro da superfície da terra, uma vez que o melhor ponto é aquele cuja direção de inclinação seja voltada para o equador (NASERI *et al.*, 2021; RUIZ *et al.*, 2020; AL GARNI; AWASTHI, 2017; SANCHEZ-LOZANO *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2014; DOORGA *et al.*, 2019; SÁNCHEZ-LOZANO *et al.*, 2015).

- **Elevação** - A elevação refere-se à altura acima do nível do mar para uma localização geográfica, sendo a mesma inversamente proporcional à espessura da atmosfera (KIRCALI; SELIM, 2021) e quanto mais fina a espessura da atmosfera, maior o índice de irradiação solar, menor o índice de nebulosidade e a poluição (ELKADEEM *et al.*, 2021), ou seja, menor a concentração de compostos que geram a absorção e reflexão, levando a um alto potencial de energia solar (ZOGHI *et al.*, 2017; LIU *et al.*, 2017; DOORGA *et al.*, 2019; ALI *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2018; BANDIRA *et al.*, 2022).

2.2.2.3 - Critérios de Infraestrutura

Esta categoria de critérios influencia na viabilidade do investimento, pois dizem respeito aos custos de construção de infraestruturas e da sua manutenção (MARQUES-PEREZ *et al.*, 2020). Dentro desta categoria estão:

- **Distância da Rede de Conexão** - Uma vez que a eletricidade produzida a partir de usinas fotovoltaicas em escala de utilidade é retransmitida para as subestações através das linhas de transmissão para despacho, é muito importante identificar o melhor local para se fazer sua instalação (OUCHANI *et al.*, 2021), pois a capacidade alocada da subestação e da linha de transmissão (LT) devem ser consideradas como parâmetros, a fim de evitar sobrecarga do sistema (AKKAS *et al.*, 2017). A fim de reduzir as perdas por dissipação, da eletricidade gerada, devido às longas distâncias percorridas até o ponto de conexão com as **linhas de transmissão/subestação**, quanto mais próxima a usina fotovoltaica estiver destas, menores serão as perdas de energia (CHARABI; GASTLI, 2011), além do fato de que quanto menor a distância até LT, menor será o custo de capital do projeto para construção de um ramal para

efetivar a conexão (SUN *et al.*, 2021; SETTOU *et al.*, 2021; RIOS; DUARTE, 2021; ARCA *et al.*, 2023). Uma LT já existente minimiza o custo de construção, e/ou evita a construção de uma nova LT, reduzindo o investimento ao minimizar a necessidade de construir uma nova infraestrutura de energia (ELKADEEM *et al.*, 2021; GUNEN, 2021b; TURK *et al.*, 2021). Noorollahi *et al.*, (2022), reforça a necessidade de proximidade das linhas de transmissão, citando um estudo de Palmer *et al.*, feito em 2019, que diz que *“qualquer seleção de local fotovoltaico solar que não leve em consideração a distância até a rede de transmissão de eletricidade irá superestimar a área potencial da fazenda solar em até 97%”*.

- **Distância de Vias de Acesso** - A proximidade com vias de acesso é muito importante para a instalação de usinas fotovoltaicas em escala de utilidade, do ponto de vista econômico e ambiental, pois facilita a construção e manutenção da planta, reduz os custos de transporte de equipamentos, transporte de pessoal e suporte (ZOGHI *et al.*, 2017; RAZA *et al.*, 2023), além de evitar os danos ambientais relevantes que estão associados ao custo extra de construção de estradas para acessar a usina fotovoltaica (SUN *et al.*, 2021; CHARABI; GASTLI, 2011). Os locais mais próximos à **rede de estradas/rodovias** são os mais preferíveis, uma vez que a infraestrutura necessária está disponível especialmente nas áreas por onde passam as estradas principais (REDISKE *et al.*, 2020; HASHEMIZADEH *et al.*, 2020; MOKARRAM *et al.*, 2020; GEORGIOU; SKARLATOS, 2016; WATSON; HUDSON, 2015), já a **rede de transporte ferroviário**, se torna importante, pois passa por áreas onde não há rodovias (GUNEN, 2021b).

- **Distância de Centro Consumidor** - A proximidade de uma usina fotovoltaica para uma área urbana é considerada como um parâmetro relevante, pois as áreas urbanas costumam fornecer mão de obra qualificada e ferramentas de manutenção, além de consumir a energia produzida, o que pode reduzir a perda de energia na transmissão de longa distância e evitar a expansão da rede elétrica (SUN *et al.*, 2021, DEHSHIRI; FIROOZABADI, 2023; SHRIKI *et al.*, 2023; FARD *et al.*, 2022), além de reduzir a sobrecarga na rede de transmissão (REDISKE *et al.*, 2020; RIOS; DUARTE, 2021) e reduzir o custo de fornecimento de energia aos consumidores (TAHRI *et al.* 2015). Por outro lado, a instalação de usinas de energia solar muito próximas a áreas residenciais pode ter um impacto negativo na taxa de crescimento e distribuição da população nessas áreas (SHORABEH *et al.*, 2019; ABDEL-BASSET *et al.*, 2021), sendo necessário o estabelecimento de uma distância mínima destas, para evitar transtornos à vida humana (ALY *et al.*, 2017).

- **Distância de Fontes Hídricas** - Todas as usinas fotovoltaicas precisam de água durante seu funcionamento, podendo ser para fins domésticos diários, ou para a limpeza dos

módulos e dos sistemas (MERROUNI *et al.*, 2018; KOCABALDIR; YÜCEL, 2023), pois a poeira, sujeira e excrementos de pássaros reduzem a eficiência dos painéis (SUN *et al.*, 2021), fazendo com que as usinas fotovoltaicas precisem ser instaladas próximas a estes locais (TERCAN *et al.*, 2020).

2.2.2.4 - Critérios Socio-econômico-ambientais

Nesta categoria de critérios, os fatores econômicos tem forte influência na viabilidade do investimento, os políticos por sua vez, podem causar interferência em todo o projeto e os ambientais dizem respeito aos efeitos na sociedade e no ambiente (REDISKE *et al.*, 2019). Dentro desta categoria estão:

- **Custo de Investimento** - O investimento inicial, ou custo de investimento, compreende o custo de localização da instalação (cálculo da distância da rede rodoviária e da rede elétrica, até a usina fotovoltaica, uma vez que é necessária infraestrutura adicional) (GEORGIU; SKARLATOS, 2016), o custo de aquisição do terreno, além do investimento que é usado para se construir efetivamente uma usina fotovoltaica (LIU *et al.*, 2017). Como a construção de uma usina fotovoltaica precisa de grandes quantidades de terra ininterrupta (GHOSE *et al.*, 2020), a disponibilidade de áreas do tamanho adequado é muito importante (DÍAZ CUEVAS *et al.*, 2018), podendo influenciar no custo relativo do kW de energia gerada, à medida que o aumento do valor da mesma faz aumentar o custo do investimento (VAGIONA, 2021), tornando assim este quesito uma restrição quando o tamanho das áreas disponíveis não atinge um mínimo necessário ou quando o valor das áreas disponíveis encarecem muito o custo do projeto. Desta forma, a disponibilidade do terreno irá depender do uso e da cobertura da terra, uma vez que a terra disponível deve ser identificada levando-se em consideração as condições atuais e potenciais de utilização, devendo-se dar prioridade ao uso de terras impróprias para a agricultura (KOC *et al.*, 2019; OZDEMIR; SAHIN, 2018; SUURONEN *et al.*, 2017; SUN *et al.*, 2021; ABDEL-BASSET *et al.*, 2021), ou de terras de solo nu e áreas queimadas (MARQUES-PEREZ *et al.*, 2020). A cobertura da terra, ou seja, a forma em que se apresenta o solo, que pode ou não ter sofrido modificações, realizadas através de atividades humanas, pode se classificar em: solos apropriados (terras estéreis, terras de sem cultivo e pastagens herbáceas sem destinação econômica); solos adequado com restrições, aqueles onde se terá um custo de adequação um pouco mais elevado, se comparado aos solos apropriados e um impacto moderado no meio ambiente (todas as florestas, pântanos e arbustos ou matagais);

e solos pouco adequados, aqueles onde se terá um custo de adequação muito elevado para o desenvolvimento de uma usina fotovoltaica (GUNEN, 2021a; MARQUES-PEREZ *et al.*, 2020; FINN; MCKENZIE, 2020; GIAMALAKI; TSOUTSOS, 2019).

- **Custo de Operação e Manutenção** - Durante toda a vida útil de uma usina fotovoltaica, os painéis solares, as baterias, os inversores e controladores precisam ser mantidos sempre em operação (LIU *et al.*, 2017). Para se executar a manutenção e a conservação destes equipamentos, a fim de que os mesmos operem pelo maior tempo possível, é necessário que se disponha de mão-de-obra treinada, tais como engenheiros e técnicos especializados que farão toda a manutenção e conservação dos equipamentos, o qual é afetado negativamente, caso haja escassez de mão-de-obra (ABDEL-BASSET *et al.*, 2021). Já a segurança, que também é parte integrante deste quesito, é um critério que deve ser levado em conta para a definição do local para a instalação de uma usina fotovoltaica, pois trata da proteção do local e de toda a sua infraestrutura, contra todo tipo de perigo, (OZDEMIR; SAHIN, 2018).

- **Maximização do Retorno** - A geração de energia elétrica é o resultado da operação de uma usina fotovoltaica, onde, dentro deste contexto, o objetivo é obter a máxima **geração de energia** possível (máxima eficiência dos equipamentos), então, como parâmetro de medição, é possível estabelecer como unidade de medida a quantidade de energia gerada por área, por ano (KWh/m²/ano) (ABDEL-BASSET *et al.*, 2021; AKKAS *et al.*, 2017). Neste contexto, o custo de interrupção, impacta negativamente a geração de energia elétrica, pois trata-se de uma falha em um equipamento dentro da usina fotovoltaica, que pode causar a perda na geração e no fornecimento de energia elétrica, a qual não será injetada na rede, podendo prejudicar os clientes que estão esperando por ela (LIU *et al.*, 2017). O **payback**, refere-se ao espaço de tempo em que o investimento feito na instalação e operação da usina fotovoltaica retorna ao investidor por meio do lucro (ABDEL-BASSET *et al.*, 2021; HASSAN *et al.*, 2023). A principal fonte de receita de uma usina fotovoltaica é a **receita total**, proveniente da venda da energia elétrica gerada, porém devido ao alto custo da geração desta energia, comparado a outras fontes de geração de energia, o governo dos países tem instituído **políticas de subsídio** (incentivo), para que a indústria da energia fotovoltaica se prolifere. Estes subsídios são então incorporados como parte da receita das usinas fotovoltaicas, ou seja, a receita total é a soma da receita proveniente da venda da energia gerada e da receita de subsídios do governo. (LIU *et al.*, 2017). Para que exista a disseminação da geração de energia elétrica a partir da fonte fotovoltaica, normalmente é preciso que os governos dos países apoiem planos para a proliferação das usinas fotovoltaicas, fornecendo estrutura de proteção, que pode ser através de incentivos, ou da não interferência no crescimento do mercado (ABDEL-BASSET *et al.*, 2021).

- **Impactos Social / Econômico / Ambiental** - A geração de energia fotovoltaica é uma operação que não gera barulho. O **Impacto sonoro** de uma usina fotovoltaica será verificado apenas na fase de implantação da mesma e corresponde ao ruído gerado pelas obras de infraestrutura e instalação dos painéis, podendo ocorrer também nas operações de manutenção da mesma, quando houver (ABDEL-BASSET *et al.*, 2021). O **impacto visual** depende muito da localização da usina e do seu tamanho, pois os painéis fotovoltaicos afetam o aspecto visual local se estiverem próximos a uma área natural, além do impacto causado pelo brilho da reflexão dos raios do sol nos mesmos, que embora sejam projetados para absorvê-los, também os refletem (LIU *et al.*, 2017). O **impacto social**, indica até que ponto a construção de parques solares é afetada pela aceitação da comunidade, uma vez que esta aceitação pode ser difícil, devido à falta de consciência sobre as vantagens da energia solar (ABDEL-BASSET *et al.*, 2021). O **impacto econômico**, se refere ao desenvolvimento econômico que ocorrerá na região, como resultado do estabelecimento de uma usina fotovoltaica, que poderá proporcionar oportunidades de trabalho para os moradores vizinhos, tanto na fase de construção, como na operação da mesma, podendo desta forma aliviar o desemprego na região (ABDEL-BASSET *et al.*, 2021), este impacto também pode abranger uma redução de linhas de transmissão de redes elétricas, aumento da independência energética, aceleração da eletrificação rural (GEORGIU; SKARLATOS, 2016). Os módulos fotovoltaicos ao converter a energia solar em eletricidade, trazem benefícios ambientais, como a redução de gases de efeito estufa e da poluição do ar (GEORGIU; SKARLATOS, 2016), sendo considerado que às emissões de carbono referente as usinas fotovoltaicas ocorrem apenas *upstream*, ou seja, apenas em processos relacionados a fabricação, transporte e montagem dos painéis solares, das baterias, dos inversores e dos controladores, tanto na implantação das usinas, quanto na manutenção das mesmas, sendo este último, apenas nos casos onde há a necessidade de substituição ou uso de qualquer material ou componente (LIU *et al.*, 2017).

- **Demanda Potencial / Maturidade Tecnológica** - A demanda por eletricidade torna-se importante à medida em que há a necessidade da mesma para consumo, fazendo com que o consumidor aceite a ideia de energias renováveis (em específico a energia fotovoltaica) (ABDEL-BASSET *et al.*, 2021). A maturidade tecnológica, indica até que ponto a tecnologia está disseminada em todas as partes do país, além da aceitação deste tipo de geração de energia elétrica pela sociedade em geral (ABDEL-BASSET *et al.*, 2021).

2.3 - MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO

A abordagem MCDM é uma abordagem de suporte à decisão aplicada em problemas complexos onde vários fatores afetam um único objetivo (SARASWAT *et al.*, 2021). Ela leva em consideração mais de um critério para que seja tomada uma decisão, apoiando assim os decisores na avaliação das alternativas e na escolha da solução dos problemas (GOMES; GOMES, 2019). Por ter a capacidade de lidar com opiniões de especialistas em conjunto com uma pluralidade de critérios (KHAZAEI; AL-BAKRI, 2021), onde suas técnicas permitem considerar vários critérios, ponderá-los e sobrepor-los para encontrar a solução ideal. (NOOROLLAHI *et al.*, 2022), faz com que pesquisadores, engenheiros, economistas, investidores e formuladores de políticas usem esta abordagem como uma ferramenta valiosa na resolução de problemas de planejamento, sendo também, amplamente utilizada para decisão de localização de instalação para sistemas de energia solar fotovoltaica em escala de utilidade (AL GARNI; AWASTHI, 2017; GUNEN 2021b; VAGIONA, 2021).

2.3.1 - MCDM na Análise de Localização

Como resultado da revisão de literatura, foi possível verificar que nos trabalhos dos pesquisadores da Turquia, os métodos AHP, PROMETEE e TOPSIS foram os métodos mais utilizados, nos do Irã, os métodos AHP, TOPSIS, ANP e SWARA e nos da Arabia Saudita o método AHP, foi o método mais utilizado. Em uma análise geral, englobando todos os artigos levantados nesta fase, foram encontrados vinte e oito diferentes métodos MCDM utilizados nas noventa e uma literaturas pesquisadas, sendo o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) o método mais utilizado, integrando o conteúdo de setenta e dois artigos diferentes, seguido pelo método *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), que integrou o conteúdo de dezessete artigos diferentes. os métodos *Elimination and Choice Translating Reality* (ELECTRE) e *Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje* (VIKOR), que integram o conteúdo de cinco artigos diferentes cada um e os métodos *Analytic Network Process* (ANP) e *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE) (Quadro 2), os quais serão descritos nesta revisão de literatura.

MCDM	QTD	MCDM	QTD
AHP	72	RS	2
TOPSIS	17	SAW	2
VIKOR	5	WASPAS	2
ELECTRE	5	WOA	2
ANP	4	ARAS	1
PROMETHEE	4	BGM	1
BWM	3	CPT	1
OWA	3	DEMATEL	1
SWARA	3	FLOWA	1
WLC	3	IFS	1
COPRAS	2	MAUT	1
DEA	2	PA	1
ROC	2	RM	1
RR	2	TODIM	1

Quadro 2 – Ordenação dos MCDM Utilizados nas Publicações

O Analytic Hierarchy Process - AHP - É um dos métodos de análise de decisão multicritério (MCDA) mais importantes. Desenvolvido pela primeira vez por Thomas L. Saaty, este modelo matemático determina a importância relativa ou preferência de múltiplas variáveis por meio de "comparações de pares" (QUTAINA *et al.*, 2023), permitindo ainda validar a consistência da decisão tomada e reduzir qualquer viés e inconsistência incorrida no processo. (RIOS; DUARTE, 2021). Tem sido utilizado para resolver operações complexas, selecionando alternativas adequadas que consideram diferentes critérios e restrições. Pode ser visto como um método formal, robusto e flexível para a tomada de decisão, utilizando as informações e experiências adquiridas pelos diferentes participantes (stakeholders, políticos, gestores de projetos, especialistas, entre outros), sob um processo racional e explícito (KIRCALI; SELIM, 2021).

O Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS - É uma técnica de abordagem para classificação de alternativas, que permite que os tomadores de decisão reconheçam a melhor alternativa, classificando as alternativas viáveis em relação aos seus valores, apresentando a distância mais curta para a solução ideal e a maior distância para a solução não ideal (ABDEL-BASSET *et al.*, 2021; AYOUGH *et al.*, 2022; HASTI *et al.*, 2023).

O Elimination and Choice Translating Reality - ELECTRE - É uma abordagem MCDA que se dedica ao problema de ordenação e têm sido amplamente utilizados por pesquisadores e profissionais em diversas áreas de aplicação. Seus métodos são baseados na construção e exploração de uma relação de superação S, onde a construção de relações de

superação é baseada em dois princípios: (1) o princípio de concordância requer que uma maioria suficiente de critérios concorde que o critério $\underline{a}$ é pelo menos tão bom quanto $\underline{b}$; (2) o princípio da não discordância exige que, quando a condição de concordância se mantém, nenhum dos critérios da minoria se opõe fortemente à afirmação (AKKAS *et al.*, 2017). Um dos métodos da família ELECTRE mais utilizado é o ELECTRE-TRI, que é dedicado ao problema de ordenação que consiste em atribuir cada alternativa a categorias de mérito previamente definidas delimitadas por perfis inferior e superior (ações de referência).

O Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje - VIKOR - É uma abordagem MCDA que se dedica ao problema de classificação de alternativas, fornecendo uma solução de compromisso, que é a mais próxima da solução ideal (ELKADEEM *et al.*, 2021). Ele se concentra em priorizar um conjunto de alternativas com critérios conflitantes e determina a solução com base na sua maior proximidade da solução ideal positiva (AYOUGH *et al.*, 2022).

O Analytic Network Process - ANP - É uma abordagem MCDA que se dedica ao problema de classificação de alternativas. Ele fornece um modelo flexível para resolver situações do mundo real, ou situações mais complexas, sendo considerado uma generalização do método AHP, se diferenciando deste último, pelas relações de dependência, pois, enquanto o AHP é formulado por uma hierarquia com níveis de decisão, o ANP é formulado por uma rede e todos os elementos levantados podem ter relações e todas as interações entre os elementos são consideradas e esta rede não necessita de designação de níveis, sendo sugerido para resolver problemas de dependência entre alternativas ou critérios (HASTI *et al.*, 2023; MOKARRAM *et al.*, 2020; NASERI *et al.*, 2021).

O Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations - PROMETHEE - É uma abordagem MCDA que se dedica a problemática de classificação de alternativas. Baseado em comparações par a par das ações, é utilizado para a classificação de um conjunto finito de alternativas selecionadas entre os critérios, fornecendo ao tomador de decisão uma classificação com base nos graus de preferência (ISHIZAKA; NEMERY, 2013).

2.3.2 - MCDM - Método Macbeth

Desenvolvido por Carlos A. Bana e Costa e J. C. Vansnick, na década de 90, o método MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) é uma abordagem construtivista, humanista, interativa de apoio à decisão empregada para medir a

atratividade por uma técnica de avaliação baseada em categorias, sendo considerada construtivista porque parte da convicção que a decisão ainda não foi tomada e neste caso, a ferramenta dá o suporte para construir preferências robustas sobre as opções possíveis, humanista por ajudar o tomador de decisão à refletir seus valores e preferências e interativa porque se baseia em questionamentos simples sobre diferenças de atratividade (Ferreira e Santos, 2021).

O método MACBETH é uma abordagem concebida para construir um modelo de valores quantitativos a partir de juízos de valor, fundamentado no objetivo de transformar escalas ordinais em escalas cardinais a partir das diferenças na atratividade em relação a duas opções (alternativas), o que significa que esta técnica esclarece o grau de preferencia de uma escolha em relação a outra ao medir a diferença de atratividade entre duas alternativas, proporcionando ao decisor, ou a um grupo de decisores, a quantificação da atratividade relativa das opções (KOMCHORN RIT, 2017), sendo considerada uma abordagem fácil de entender, simples de ser aplicada em um perfil de decisores que possui formação diversas e é particularmente útil quando se considera os critérios de avaliação qualitativos e quantitativos (VAZ DE ALMEIDA et al., 2018).

Ele é fundamentado em julgamentos qualitativos sobre diferenças de atratividade, através de um processo de questionamento interativo não-numérico, que emprega sete categorias semânticas: nula, muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte e extrema, originando pontuações numéricas de tais julgamentos, o que permite a criação de escalas de valores e pesos e a partir da definição de critérios de avaliação A_j , $j = 1, \dots, n$ e seus descritores X_j , $j = 1, \dots, n$, o perfil de desempenho das alternativas é medido por um modelo de valor aditivo. A pontuação geral $v(x)$ de uma opção é obtida pela agregação de valores parciais $v_j(x)$ nos critérios j ($j = 1, \dots, n$) e sendo k_j o peso atribuído ao critério j ($j = 1, \dots, n$), como segue (BANA E COSTA et al, 2012).

No sentido de operacionalizar o problema, este método, na fase de estruturação, realiza o entendimento do problema (modelagem do problema). Levanta-se os pontos de vista, visando a construção de uma estrutura partilhada entre os integrantes do processo decisório, identifica os critérios fundamentais de decisão, define as opções a serem avaliadas e suas performances. Após esse procedimento, inicia-se a fase de avaliação, seguindo uma abordagem interativa e sem assumir posicionamentos. Nesta fase são realizados os questionamentos para avaliar as diferenças de atratividade de cada local em cada um dos critérios fundamentais selecionados. É feito o ponderamento dos critérios, analisada a atratividade global de cada opção e explorados os resultados do modelo. Por fim, o modelo realiza a análise de sensibilidade e robustez à luz

da incerteza nos dados e apresenta as recomendações (Figura 2) (BANA e COSTA et al., 2012).

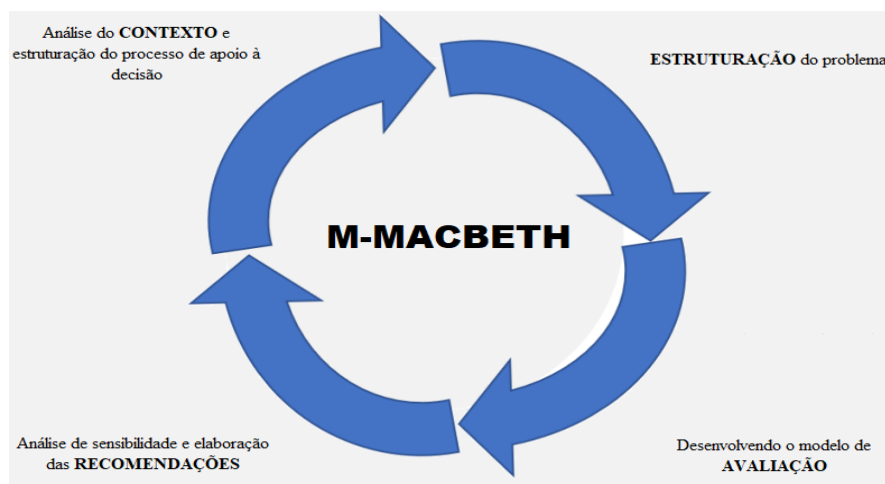


Figura 2 – Fases do Processo de Apoio à Decisão MACBETH (Fonte: Bana e Costa, 2012)

2.4 - FERRAMENTA DE SUPORTE À VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS

Para ser possível o desenvolvimento desta dissertação, é necessário o uso de uma ferramenta que seja capaz de consultar, editar, manipular, desenvolver, organizar, visualizar, analisar e armazenar mapas, dados e informações geográficas, através de camadas de dados que descrevem vários recursos de uma área geográfica.

2.4.1 - Sistema de Informação Geográfica - GIS

Um sistema de informações geográficas - GIS, usa a análise espacial e geoestatística para gerenciar e analisar de forma abrangente as informações geográficas (ELKADEEM *et al.*, 2021; ESLAMI *et al.*, 2023), facilitando o gerenciamento e visualização de múltiplos padrões espaciais simultaneamente (RIOS; DUARTE, 2021). É considerado uma ferramenta valiosa para auxiliar no planejamento e na tomada de decisões em múltiplos contextos nos quais as informações georreferenciadas desempenham um papel relevante (SANCHEZ-LOZANO *et al.*, 2014; SARASWAT *et al.*, 2021; AZMI *et al.*, 2022).

No levantamento de literatura realizado, o sistema GIS, aparece em 70 dos 91 artigos analisados, representando 77% de todas as publicações analisadas, o que o torna uma importante ferramenta de auxílio na resolução da problemática em questão. Sua integração com os métodos da abordagem MCDM ganhou popularidade e tem se tornado indispensável para

auxiliar na determinação do local apropriado para a instalação de usinas fotovoltaicas, uma vez que permite a redução do campo de estudo, eliminando áreas que não atendem aos critérios mínimos exigidos para o estabelecimento das mesmas (KHAZAEI; AL-BAKRI, 2021; RIOS; DUARTE, 2021).

Ele facilita a análise e planejamento de recursos energéticos, através do mapeamento de áreas, na medida que auxilia na gestão e visualização de múltiplos padrões espaciais simultaneamente, além de otimizar as características benéficas dos locais selecionados, identificando as alternativas para a escolha adequada de locais ambientalmente viáveis para usinas fotovoltaicas, considerando todos os critérios e restrições (REDISKE *et al.*, 2020; VILLACRESES *et al.*, 2023).

Dentro das opções de software de informações geográficas disponíveis, foram identificados como os mais utilizados, o ArcGIS e o QGIS, os quais, além de reunirem todas as características necessárias para a consecução deste trabalho, possuem interface para exportação dos dados gerados, o que facilita o manuseio dos dados dentro da abordagem Macbeth, porém, diferentemente do ArcGIS, o QGIS (Figura 03), é livre e aberto ao uso (gratuito).

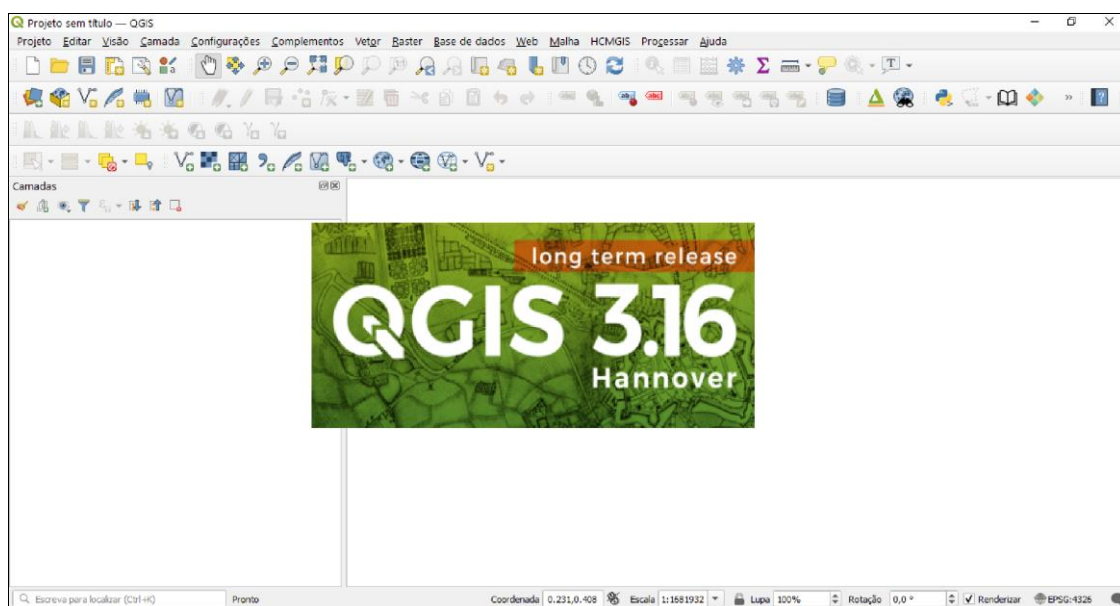


Figura 3 – Sistema de Informação Geográfica GIS (Fonte: QGIS, 2020)

2.5 - MÉTODO DE ESTRUTURAÇÃO DE PROBLEMAS - PSM

Os *Problem Structuring Method*, ou Métodos de Estruturação de Problemas (PSM) se concentram na estruturação de uma situação problemática, buscando visualiza-la de diferentes perspectivas, a fim de facilitar a síntese de informações e auxiliar na sua resolução (Rosenhead

& Mingers, 2001). São benéficos para complementar a MCDA, pois este último, não incorpora procedimentos para auxiliar na definição do problema, na Análise de Partes Interessadas, no desenvolvimento de alternativas e na exploração da incerteza (Marttunen, et al, 2017).

Os PSM dão suporte ao MCDA, garantindo uma consideração mais aprofundada das perspectivas de todas as partes interessadas, a fim de reduzir o risco de não resolver o problema de forma correta, ou de recomendar uma solução inadequada, pois uma estruturação cuidadosa pode ajudar a projetar o processo e escolher o método MCDA mais apropriado, uma vez que as fases subsequentes de análise são fortemente influenciadas pelo processo de estruturação (Marttunen, et al, 2017).

2.5.1 - Pensamento Focado Em Valor - VFT

O *Value Focused Thinking* (VFT), ou traduzindo para o português, o pensamento focado em valor, analisa e trata uma situação como uma oportunidade de decisão, onde são focadas as necessidades e aspirações do decisor, a fim de identificar oportunidades de decisão desejáveis e assim criar alternativas, que de outra forma, poderiam não estar sendo consideradas (KEENEY, 1992). A abordagem se desenvolve em duas etapas: 1 - decidir o que se quer e; 2 - descobrir como conseguir o que se quer, sendo o processo de criação das melhores alternativas direcionado pela visão dos objetivos, e onde as melhores situações de decisão são focadas na estrutura de valores sobre os objetivos (KEENEY, 1996).

De Almeida (2013) coloca que o VFT, dentro de um contexto de decisão, é especificado pela atividade que está sendo analisada, o objetivo, é aquilo que alguém deseja atingir (objetivo estratégico, ou objetivo fim) e para alcançá-lo, é necessário definir o que exatamente se quer (o objeto de desejo, ou objetivo meio), determinando a direção de preferência, ou seja, definir os passos que serão dados na direção de se obter este objeto de desejo e fazer uma análise deste objetivo estratégico, subdividindo-o em objetivos fundamentais, os quais irão guiar os esforços em situações de decisão e avaliação de alternativas, e caso necessário, subdividi-los em objetivos meio, os quais podem ser úteis para analisar o problema de decisão e criar alternativas.

Cada objetivo que for estabelecido, deverá apresentar seus próprios atributos, que serão representados pelos critérios (as variáveis) e dessa forma, medir o grau de desempenho (performance, eficiência) das alternativas.

Com relação aos atributos, Keeney (1992) cita que existem três tipos de atributo: atributos naturais, atributos construídos e os atributos proxy. O primeiro tem uma interpretação

única dentro do contexto de decisão, independente do julgamento de valor; o segundo irá depender do contexto de decisão e utilizado, na impossibilidade de se utilizar o primeiro, uma vez que o mesmo pode apresentar mudança no julgamento de valor, podendo ser desenvolvido como índice que permite medir um conjunto de fatores relacionados ao objetivo, requerendo neste caso a construção de escalas de avaliação qualitativa; o último é utilizado quando não é possível utilizar os anteriores, sendo uma medida indireta que pode ser associada ao objetivo que se deseja medir. De Almeida (2013) complementa colocando que os mesmos precisam atender três propriedades: a) não redundância; b) exaustividade: todos os critérios devem estar presentes no sentido de representar todos os objetivos do problema; c) consistência: as preferências do decisor em relação a cada critério devem ser coerentes com a avaliação global. Neste sentido, a revisão de literatura, mostra um primeiro roteiro a ser seguido, onde, para facilitar a continuidade deste trabalho, foi feito um estudo exaustivo nos mix de critérios de exclusão e dos critérios de seleção.

Foi feito um estudo do GIS, pela vocação em trabalhar com dados geoespaciais, um estudo no método de estruturação de problemas, o VFT, pelo alto poder de auxílio que é capaz de dar a este trabalho, sendo utilizado como ferramenta de apoio à decisão, a medida que tem o poder de fazer o link entre os anseios do decisor, com a gama de critérios definidos como objetivos meio, além do estudo do MCDM Macbeth, que foi selecionado no capítulo 3, por atender as características necessárias para esta dissertação, por ser amplamente utilizado quando se trata de pesquisa operacional e por se tratar de uma novidade, onde o conjunto destas três ferramentas, considerada uma inovação na literatura.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA

Para se poder desenvolver a problemática, objeto desta dissertação, foi feito o reconhecimento de que existe um problema, ou seja, existe a necessidade de se encontrar os melhores locais para a implantação de uma usina fotovoltaica. O reconhecimento desta problemática, desencadeou a construção de um modelo, que será estruturado de acordo com as preferências do decisor, onde, após a construção do mesmo, será analisado e avaliado, para que seus resultados atendam às expectativas do problema e assim ocorrendo, sejam validados.

3.1 - MATERIAIS

A definição das ferramentas que serão utilizadas é de suma importância, uma vez que servirão de base para o desenvolvimento do trabalho.

3.1.1 - Método de Apoio à Decisão - MCDM

Segundo De Almeida, (2013), *uma condição básica para a existência de um problema de decisão é a existência de pelo menos duas alternativas, para que o decisor possa efetuar uma escolha*. Sendo assim, o autor, deste livro coloca que o decisor, precisa conhecer as possíveis alternativas e efetuar uma comparação entre elas a fim de tomar uma decisão.

Para que isto ocorra, é necessário estruturar o problema, e obter do decisor o que ele anseia com aquela decisão. Todo esse processo envolve obter as prováveis consequências de cada decisão, referente a cada característica relevante analisada, ou seja, de cada critério (dimensão), os quais estão atreladas a cada alternativa possível e viável (matriz de consequências) (Tabela 2).

Alternativas / Dimensões	Critério α	Critério β	...	Critério γ
Alternativa a	Consequência (a x α)	Consequência (a x β)	...	Consequência (a x γ)
Alternativa b	Consequência (b x α)	Consequência (b x β)	...	Consequência (b x γ)
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$
Alternativa n	Consequência (n x α)	Consequência (n x β)	...	Consequência (n x γ)

Tabela 2 - Matriz de Consequências

Cada alternativa é avaliada em função de suas consequências, e à medida que se busca a alternativa que forneça a consequência mais desejável (de acordo com as preferências do decisor), surge um problema de decisão multicritério.

Com base no exposto acima e analisando toda a fundamentação conceitual que foi executada, é possível concluir que para se desenvolver um trabalho onde o objetivo é obter uma ordenação com as melhores localizações para a implantação de uma usina de energia fotovoltaica em escala de utilidade, a abordagem MCDM se enquadra perfeitamente, produzindo um resultado metodologicamente embasado.

Esta afirmação pode ser ratificada pela análise dos trabalhos dos pesquisadores que têm estudado a problemática em questão, pois os mesmos tem se valido do uso de vários tipos de métodos da abordagem MCDM em seus trabalhos e muitas vezes utilizando mais de um MCDM no mesmo trabalho (um método para determinar o peso dos critérios, outro para efetuar a otimização), encontrando desta forma o resultado esperado.

Porém, independentemente do método MCDM utilizado, é necessário ressaltar que, conforme já colocado na justificativa e na fundamentação conceitual desta dissertação, para este tipo de problemática, é necessário a utilização de um sistema auxiliar, que permita delinear todas as opções possíveis (viáveis), juntamente com suas características (consequências), relativas a cada critério relevante, que foi escolhido para integrar a problemática, onde a junção de todos estes componentes irá gerar a matriz de consequências.

Para complementar a definição das ferramentas utilizadas no desenvolvimento da problemática e para facilitar a identificação das alternativas viáveis, embasado na fundamentação conceitual, será utilizado como sistema auxiliar, um sistema de informação geográfica (GIS), onde neste tipo de problemática ele terá a função de auxiliar o MCDM na tarefa de obter a lista com os melhores locais para a instalação da usina fotovoltaica, efetuando principalmente todas as exclusões dos locais que por algum motivo não serão, ou não poderão ser analisados e fornecendo a característica dos locais considerados viáveis.

Para poder definir o método MCDM que será utilizado nesta dissertação, foram levados em consideração duas importantes características presentes em cada um dos métodos de abordagem MCDM, os quais estão em congruência com o objetivo da dissertação.

A primeira característica a ser analisada, se refere à racionalidade, onde, baseado na definição dada por Fishburn, (1976), que diz que: *“Uma relação de preferências é considerada não compensatória quando as preferências entre duas consequências x e y dependem apenas dos subconjuntos de critérios que favorecem x e y , sem importar as diferenças de preferências entre os vários níveis em cada critério, ou seja, não importa o quanto x e y sejam melhores em*

cada critério, importa saber apenas quem é melhor em cada critério. Por outro lado, em uma relação de preferência compensatória não basta saber se o nível de desempenho de uma alternativa é maior ou menor que o nível de desempenho da outra alternativa para um dado critério. No processo de avaliação Inter critério, esse valor será considerado, no modelo de agregação, como o oposto de um modelo não compensatório, ou seja, para um método compensatório a desvantagem de um critério pode ser compensada pela vantagem em outro critério.” Neste caso, o método multicritério pode ser classificado de acordo com sua forma de compensação pela agregação dos critérios (relação compensatória ou relação não compensatória), indicando assim que a combinação do sistema de valores e a definição dos decisores, com o algoritmo de agregação, possuem o nível de compensação desejado (CINELLI *et al.*, 2020; DE ALMEIDA, 2015).

A segunda característica a ser analisada, se refere ao processo de estruturação, também chamada de declaração do problema, que na terminologia MCDM, envolve o desejo do decisor de tomar sua decisão através do estabelecimento de qual será a problemática (escolha, classificação, ou ordenação), onde a escolha consiste em separar as alternativas em selecionadas ou rejeitadas, sendo normalmente no final, apenas uma alternativa escolhida; a classificação consiste em separar as alternativas em grupos, o que facilita identificar qual o grupo que irá apresentar dominância; e a ordenação consiste em estabelecer uma hierarquia em categorias ou classes das alternativas, em uma certa ordem de preferência (GOMES; GOMES, 2019; DE ALMEIDA, 2015; CINELLI *et al.*, 2020).

A fim de determinar o método da abordagem MCDM a ser utilizado nesta dissertação, foi feita uma consideração conjunta dos critérios que foram listados pelos diversos autores que desenvolveram trabalhos relativos ao tema. Esta consideração foi confrontada com a problemática em questão e concluído que pela dificuldade de comparar alternativas tão distintas em suas características, em métodos não compensatórios, a racionalidade compensatória se faz a mais apropriada para o desenvolvimento desta dissertação.

Já com relação a estruturação do problema, tomando como base o objetivo principal da dissertação, somado com o resultado da entrevista feita com o decisor, que demonstrou a necessidade de uma lista ordenada de locais para estudo (do melhor para o pior), foi feita a opção pela estruturação do problema, adotando a problemática de ordenação.

Sendo assim, diante das definições acima, foi efetuada uma pesquisa, com o objetivo de obter uma lista com os métodos MCDM que concomitantemente são compensatórios e em seu processo de estruturação, tratam da problemática de ordenação. Para isso, com base o trabalho de Cinelli (2022), que desenvolveu um software de seleção de métodos - MCDA MSS, onde,

na utilização do mesmo, aplicando um filtro para selecionar todos os métodos que tratam ao mesmo tempo da problemática de ordenação e que apresentem a racionalidade compensatória, o mesmo retornou como resultado, 16 métodos diferentes, que contando com suas variações, perfizeram um total de 28 métodos, (Quadro 3).

AHP Sort - Boundary profiles	ROR-UTADIS
AHP Sort - Characteristic profiles	SOR-Sort
CBRM-I	TOMASO
CBRM-II	TOPSIS-SORT-B
CORT	TOPSIS-SORT-C
DIS-CARD-UTADIS	UTADIS
DISWOTH	UTADIS-ER
MACBETHSort	UTADIS-GMS
MCHP-UTADIS	UTADIS-INT
MCHP-UTADIS-GMS	UTADIS-KB
MHDIS	UTADIS-NM
NAROR-HC-SORT	UTADIS-Regularization
Non-monotonic UTADIS-EO	UTADIS-ROBUST-REPRESENT
PDTOPSIS-Sort	Valued-UTADIS

Quadro 3 - Métodos MCDM com as Características Procuradas (Fonte: CINELLI, 2022)

Comparando o resultado encontrado, com os métodos utilizados nos trabalhos que compõem a fundamentação conceitual e que foram os mais utilizados pelos autores, foi possível verificar que dos quatro mais encontrados na fundamentação conceitual (QUADRO 2.2.1), os métodos Electre e VIKOR não constam da listagem de Cinelli, pois, o primeiro apresenta racionalidade não compensatória e o segundo não é um método de ordenação, e sim de escolha.

Fazendo uma comparação de todos os métodos que tratam da problemática de ordenação e da racionalidade compensatória listados no software de seleção de métodos de Cinelli, com todos os métodos encontrados na fundamentação conceitual e que foram utilizados por

pesquisadores de diversos países do mundo em seus trabalhos (Quadro 2.2.1), nota-se que o método Macbeth, apesar de ter uma estrutura axiomática robusta e de ser amplamente aceito na literatura de MCDM, não foi utilizado por nenhum pesquisador em seu trabalho. Sendo assim, levando em conta a racionalidade compensatória e a capacidade de fornecer ao decisor, uma lista ordenada, contendo os melhores locais para se efetuar a instalação de uma usina fotovoltaica, foi feita a opção pelo uso do método Macbeth para o desenvolvimento desta dissertação.

3.1.2 - Abordagem MCDM Baseada em GIS

Conforme já colocado na justificativa, o uso do GIS como ferramenta auxiliar no processo de tomada de decisão é de suma importância, à medida que o processo de criação das alternativas, passa pela especificação dos valores e como nesta problemática as alternativas são invariavelmente locais, faz-se necessário o uso de um sistema de geoprocessamento, ou seja, um sistema de informação geográfica, que consiga reunir todas as características dos critérios adotados, dando desta forma, condições de se efetuar uma normatização, e através da sinergia com os métodos MCDM, efetuar a resolução da problemática.

Dentro das opções de software de informações geográficas disponíveis, foi feita a opção pelo uso do QGIS, devido ao fato de reunir todas as características necessárias à consecução deste trabalho, de possuir uma interface para exportação dos dados gerados, facilitando o manuseio dos dados dentro da abordagem Macbeth e de ser o único livre e aberto ao uso.

3.1.3 - Integração do VFT à Abordagem MCDM

Seguindo o que foi colocado na seção 2.5, do capítulo relacionado a fundamentação conceitual, que diz que são os valores que orientam a criação das melhores alternativas, esta dissertação se desenvolve utilizando de forma auxiliar a abordagem VFT, onde o decisor não escolhe entre as alternativas (DE ALMEIDA, 2015). O contexto de decisão, é especificado pela problemática que está sendo analisada e a partir dele é feita a definição do conjunto de alternativas apropriadas a serem consideradas na decisão (KEENEY, 1996).

Através de um processo prescritivo é feito o desenvolvimento da descrição de todos os elementos que interferem na decisão, segundo a preferência do decisor, resultando na seleção de locais onde é possível e viável a implantação de uma usina fotovoltaica (estabelecimento das

alternativas viáveis). Uma posterior agregação de valor, direcionada pela visão dos objetivos meio e fundamentais, com o estabelecimento de quais critérios determinam o ordenamento dos melhores locais para a implantação de tal empreendimento, tendem a garantir a obtenção de uma melhor ordenação como resultado do processo e satisfazer o decisor dentro de um escopo muito ligado a seus objetivos e ao modelo de valor para as consequências.

3.2 - MÉTODOS

A definição do procedimento de coleta e análise de dados que serão utilizados é de suma importância, uma vez que servirão de base para a condução do desenvolvimento do trabalho, onde os procedimentos adotados na pesquisa foram baseados no método Macbeth de acordo com as etapas que seguem:

3.2.1 - Fase de Estruturação

É nessa fase em que o facilitador irá refletir sobre o que se almeja obter ao final do processo, onde, na interação com o decisor (BANA e COSTA, 1992), utilizando o VFT, como um processo de estruturação, que embasado nas prioridades e na definição do conjunto de valores, irá explicitar os objetivos e os meios para alcançá-los (KEENEY, 1996). Para isso, é preciso fazer emergir todos os tipos de pontos de vista e clarificar os seus significados; chegar a uma definição comum de ponto de vista fundamental; e definir descritores de impacto para tornar os pontos de vista operacionais.

- **Árvore de Valor** - É formada pelos pontos de Vista (PV), que são todo e qualquer aspecto que o decisor entende como sendo importante para a construção do modelo de avaliação, porém, para a construção de um PV, é necessário que seus elementos sejam clarificados, tornados operacionais e encontradas as suas interligações, a fim de avaliar as ações potenciais. Para isso, o PV se subdivide em duas partes, o Ponto de Vista Fundamental (PVF) e o Ponto de Vista Elementar (PVE), onde o último é um meio, uma forma de se alcançar o primeiro, e o primeiro, normalmente é o fim comum, o critério, para onde os PVEs se direcionam. Os PVEs também podem ser considerados como critérios, tendo para isso que atender algumas condições (consensualidade, operacionalidade, independência, exaustividade, concisão, e não redundância), sendo por fim os PVF e os PVE agrupados na forma de uma árvore de valor, através de vários níveis e áreas de preocupação (BANA e COSTA, 1992).

- **Descritores** - Complementarmente a definição da árvore de valor, é de extrema importância descrever os critérios de forma ordenada, a fim de avaliar o impacto de cada ação potencial nos PVF, tendo para isto os descritores as atribuições de descrever e operacionalizar de forma objetiva o impacto das opções nos PVF, estabelecer um domínio plausível para os impactos (do mais atraente ao menos atraente), verificar a independência ordinal do PVF correspondente, que pode se apresentar de forma quantitativa ou qualitativa; contínua ou discreta; direta (medem os efeitos), indireta (medem as causas) ou construída (quando não é possível identificar se o descritor é direto ou indireto, por questões subjetivas, falta de informação, ou porque o PVF é um conjunto de PVE inter-relacionado) (BANA e COSTA; BEINAT, 2010).

3.2.2 - Fase de Avaliação

- **Juízo de Valor** - A fase de avaliação permite estabelecer um modelo global pela agregação de juízos de valor, com a construção de escalas de valor cardinal, onde vários procedimentos podem ser concebidos para obtenção de valor cardinal sobre o valor dos elementos, realizada através de questionamentos par a par em termos qualitativos. Nesse processo o decisor exprime a diferença de atratividade por seis categorias: muita fraca (C_1); fraca (C_2); moderada (C_3); forte (C_4); muito forte (C_5); extrema (C_6) (BANA e COSTA, 1992).

- **Ponderação do peso dos pontos de vista fundamentais** - A utilização da metodologia MACBETH para determinação das taxas de preferência entre os pontos de vista (PVF), facilita o processo de decisão, onde a obtenção desta informação consiste em duas etapas principais: ordenação decrescente de atratividade dos mesmos e construção de uma matriz de juízos de valor, baseado em julgamentos absolutos de diferença de atratividade entre os pontos de vista fundamentais (BANA e COSTA, 1992).

- **Definição do perfil de impacto** - O último passo antes da realização da avaliação global do modelo é a determinação do impacto de cada alternativa sobre cada um dos pontos de vista fundamentais (BANA e COSTA, 1992).

3.2.3 - Fase de Recomendação

- **Modelo aditivo de agregação** - A abordagem MACBETH utiliza modelo de valor aditivo de agregação para construção da avaliação global, o qual apresenta as vantagens

de ser simples de ser aplicado, de ser bem conhecido na comunidade científica, de apresentar parâmetros técnicos claros e de ser facilmente explicável, permitindo a apreciação das diferenças relativas de atratividade global (BANA e COSTA *et al.*, 2012).

- **Análises de sensibilidade e robustez** - A tomada de decisão, muitas vezes é envolta por informações escassas ou imprecisas, sendo portanto importante efetuar uma análise de sensibilidade conjuntamente com uma análise de robustez dos resultados, a fim de permitir conhecer o problema em profundidade e aumentar a confiabilidade dos resultados, onde a análise de sensibilidade permite avaliar variações de pontuações de acordo com múltiplos cenários, permitindo dimensionar como alterações dos pesos dos critérios (dentro de um limite permitido), afetaria os resultados globais do modelo, já a análise de robustez baseia-se no conceito de dominância aditiva, onde uma alternativa domina outra opção se for pelo menos tão atrativa quanto a outra em todos os critérios e ao menos mais atrativa em pelo menos um dos critérios (BANA e COSTA, 1992).

4 - RESULTADOS

Para aplicação da ferramenta de apoio a decisão, foram efetuadas a estruturação do contexto de decisão (a definição do decisor, e da área de estudo, com o auxílio do VFT), e a estruturação do modelo com a definição da árvore de valor e dos descritores para a aplicação da ferramenta de apoio a decisão. Por conseguinte, foi feita a construção do modelo, sua avaliação, análise e validação.

4.1 CONTEXTO DE DECISÃO

Para construir um modelo de apoio a decisão que auxilie especialistas, em projetos de usinas fotovoltaicas a alcançar seus objetivos de forma mais rápida e eficiente, foi feita a identificação do decisor e a definição do local de estudo.

4.1.1 - Definição do Decisor

A definição do decisor, é necessária, para que o objetivo principal desta dissertação seja alcançado, pois através de seus conhecimentos, sua atuação e seu trabalho, o mesmo contribuirá com informações importantes para esta dissertação. Seguindo o que coloca Ali et al. (2021), o decisor tem que ser considerado um especialista no assunto, e desta forma, conforme sua colocação, o especialista que foi entrevistado inicialmente, também contribuiu para este trabalho como sendo o decisor.

Ele é Engenheiro eletricista pela Universidade de Fortaleza, começou a trabalhar com energia fotovoltaica em 2012, é Especialista em Energia Solar Fotovoltaica pela IMF/Espanha, Pós-graduado em Gestão de Energia pela ISITEC/AHK, Conselheiro Câmara de Engenharia Eletrica CREA/CE, Conselheiro da ABESCO – Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Conservação de Energia, membro do GBC – Green Building Council, membro do ASHRAE – The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, membro da AEE – Association of Energy Engineers. Participou da elaboração de diversos projetos de usina fotovoltaica e é sócio proprietário de duas empresas, que trabalham com energia fotovoltaica, uma que ministra cursos para quem está buscando se especializar no assunto, e outra que trabalha com projetos de usinas fotovoltaicas, voltada para investidores, ou seja, seu conhecimento e sua experiência no assunto foram considerados decisivos.

4.1.2 - Definição do Local de Estudo

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi necessário a execução de um refinamento, que seguiu as colocações do decisor, obtidas na primeira entrevista realizada. Nesta entrevista, ele citou que não é possível considerar em projetos de usinas fotovoltaicas: • locais dentro de áreas protegidas; • que é necessário considerar apenas locais dentro de um paralelo de distância máxima não superior a 03 quilômetros do ponto de conexão (distância até a linha de transmissão), justificando tal definição, com a afirmação de que a implantação dos ramais para conexão tem um custo muito alto, sendo então que distâncias superiores a mencionada, inviabilizam financeiramente o projeto; • que esta distância das linhas de transmissão (LT) tem que ser concomitantes às zonas de maior irradiação solar do país.

Tomando por base este escopo, foi feita a primeira delimitação da área de estudo, conforme os tópicos que se seguem:

- **Área protegida** - As áreas protegidas se subdividem em patrimônio arqueológico e paleontológico; ambiental e litoral; e cultural. São considerados patrimônio arqueológico e paleontológico, as áreas protegidas pela lei 3.924, de 26 de julho de 1961 (BRASIL, 1961); patrimônio ambiental e litoral, são protegidos pela lei 9.985, de 18 de julho de 2000, onde no capítulo III, que trata das categorias de unidades de conservação, o Art. 7º, inciso I que trata das unidades de proteção integral, e inciso II que trata das unidades de uso sustentável (BRASIL, 2000); e pela lei 12.651, de 25 de maio de 2012, capítulo I - disposições gerais, do Código Florestal Brasileiro, onde no Art. 2º, diz que as florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação nativa são áreas de Preservação Permanente ou áreas de Reserva Legal, quando as terras que a revestem, são reconhecidas de utilidade e bens de interesse comum a todos os habitantes do País (BRASIL, 2012); patrimônio cultural é protegido através do decreto-lei 25, de 30 de novembro de 1937, compreende os monumentos naturais, os sítios e paisagens que sejam de interesse conservar e proteger (BRASIL, 1937). No contexto da transcrição das leis citadas acima, a proteção compreende apenas o local protegido designado por lei, não havendo nenhuma menção de área de transição, escape ou amortecimento.
- **Linha de transmissão** - Como explanado acima, onde o decisor citou que acima de 03 quilômetros das linhas de transmissão o projeto se torna inviável, foi adotado como distância máxima um perímetro de 03 quilômetros de cada lado das LTs, margeando as mesmas. Já no sentido evitar uma análise extra, que geralmente é executada manualmente

pelo decisor em seus trabalhos, onde, a fim de minimizar os riscos advindos da impossibilidade de se fazer a conexão com a linha de transmissão para injetar carga na rede, em ramais que estejam com sua utilização a plena capacidade, devido ao risco de sobrecarga do sistema, serão considerados apenas as linhas de transmissão relativas a expansão planejada, ou seja, as linhas de transmissão que já foram projetadas, aprovadas e que farão parte da malha da rede de transmissão nos próximos anos.

- **Índice de irradiação** - Tomando por base a escala de classificação efetuada pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável dos Estados Unidos (NREL) para a qualidade das faixas de radiação solar (Tabela 2) (ASAKEREH *et al.*, 2017), foram considerados neste estudo as faixas de radiação muito boa e excelente.

CLASSIFICAÇÃO	ESCALA
Excelente	> de 6 kWh/m ² dia
Muito boa	5–6 kWh/m ² dia
Boa	4–5 kWh/m ² dia
Moderada	< de 4 kWh/m ² dia

Tabela 3 - Classificação do IGH Segundo NREL (Asakereh, et al, 2017 por NREL)

Em vista da grandeza territorial do Brasil, aliado ao fato de este estudo estar propondo um modelo a ser seguido em estudos sobre o tema, torna-se necessário um novo refinamento, que delimite mais a área estudada, tornando-a apenas um exemplo, que desta forma gere um conjunto viável de alternativas possíveis e onde estas alternativas não possuam restrições de capacidade de absorção da energia gerada, fato que geraria uma nova problemática, foi definido que o escopo explicitado acima será aplicado em uma linha de transmissão que faz parte da rede de expansão da matriz elétrica, onde foi feita a definição do seguinte ramal: LT 500 KW (Barra II - Correntina) - C1; LT 500 KW (Correntina - Arinos 2) - C1; LT 500 KW (Arinos 2 - Paracatu 4) - C1; LT 500 KW (Arinos 2 - Paracatu 4) - C2; LT 500 KW (Paracatu 4 - Nova Ponte 3) - C1; LT 500 KW (Paracatu 4 - Nova Ponte 3) - C2; LT 500 KW (Nova Ponte 3 - Araraquara 2) - C1; LT 500 KW (Nova Ponte 3 - Araraquara 2) - C2; LT 500 KW (Aurora 2 - Arinos 2) - C1, o qual foi escolhido, devido a ser um ramal que abrange três estados (São Paulo, Minas Gerais e Bahia), onde os locais próximos a este ramal tendem a apresentar uma boa amplitude de características, pois além de estar dentro da área onde mais tem se concentrado a implantação de usinas fotovoltaicas, também está em áreas pouco exploradas (Figura 04).

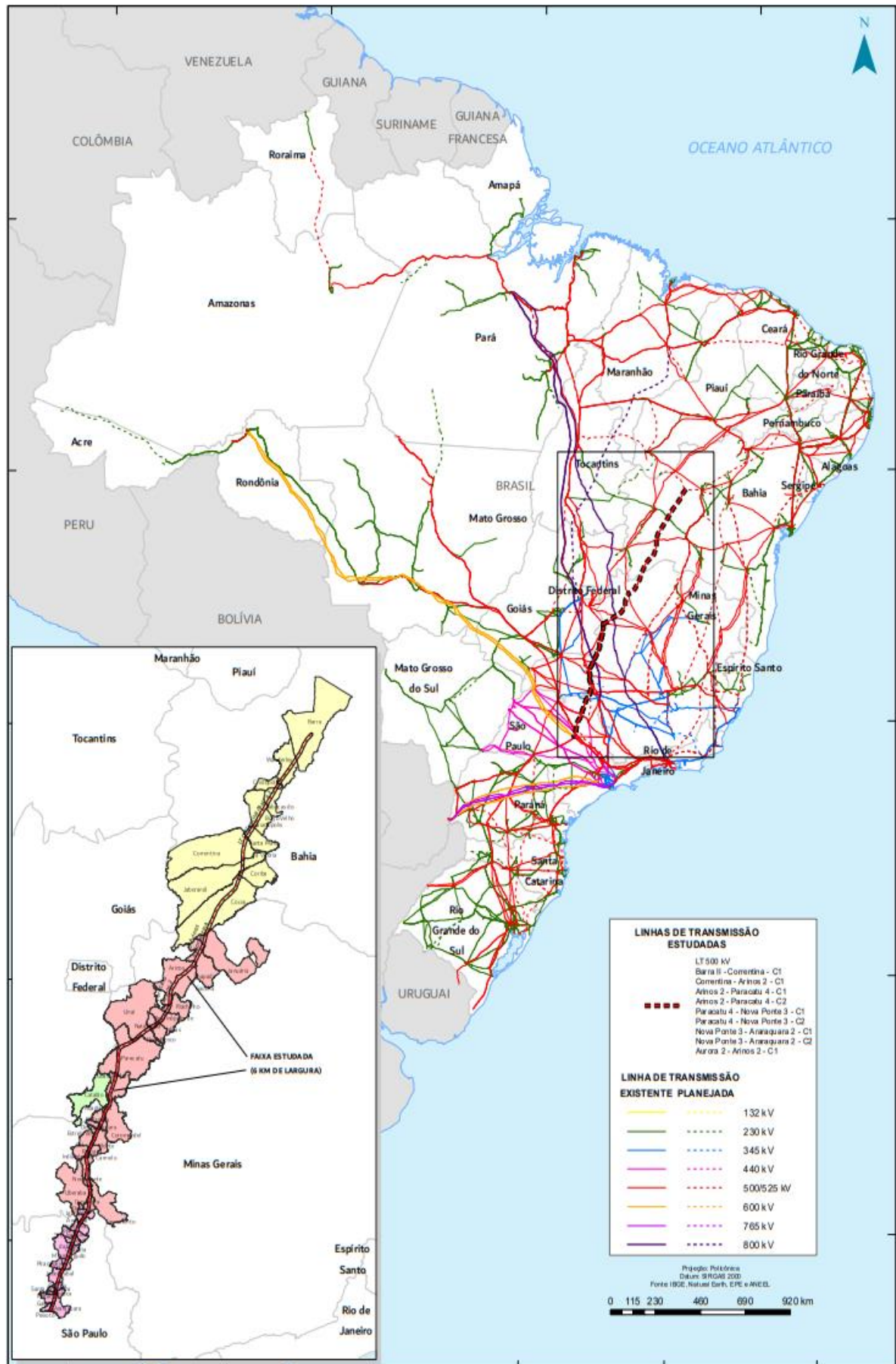


Figura 4 - Área de Estudo

Por fim, em uma análise realizada, junto a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), foi possível verificar na oferta dos leilões de energia elétrica, um predomínio à implantação de empreendimentos de 30 MW de potência nominal (EPE, 2018). Tomando por base informações da empresa Canal Solar, que posta que em média, para a instalação de cada 01 MW de potência de energia fotovoltaica instalada, utilizando painéis de 500 W, são necessários 2.000 painéis, que tem a necessidade de uma área média de 10.000 m² (CANALSOLAR 2022), sendo assim, este estudo fará a análise de locais com áreas de tamanhos aproximados de 300.000 m².

4.2 - ESTRUTURAÇÃO DO MODELO

Neste ponto, esta dissertação se desenvolveu utilizando o que foi colocado na seção 2.5, do capítulo relacionado à fundamentação conceitual (Capítulo 2), que fala da abordagem VFT e diz que são os valores que orientam a criação das melhores alternativas (DE ALMEIDA, 2015). Citado pressuposto foi utilizado de forma auxiliar, ou seja, o VFT auxiliou o desenvolvimento desta dissertação ao pautar que o decisor não escolhe as alternativas, a definição do conjunto de alternativas apropriadas a serem consideradas na decisão é definida através do contexto de decisão que é especificado pela problemática analisada (KEENEY, 1996).

Através de um processo prescritivo, onde é feita a análise da problemática, e como consequência, a definição do contexto de decisão, o qual é direcionado pela visão dos objetivos meio e fundamentais, este processo se desenvolveu com a descrição de todos os elementos que interferem na decisão e preferência do decisor. Foi então feito o estabelecimento de quais critérios determinam o ordenamento dos melhores locais para a implantação de uma usina fotovoltaica, ou seja, foi feita a agregação de valor ao modelo. Neste processo de agregação, foram definidos os fatores de exclusão, ou seja, tudo o que deve ser desconsiderado na análise e na sequência, foi feita a definição dos pontos de vista fundamentais (PVFs), gerando assim a árvore de valor (Figura 5).

Conjuntamente com a definição dos pontos de vista fundamentais que geraram a árvore de valor, foi feita a definição dos descritores e das escalas de classificação de cada um dos PVFs, que por consequência, gerou o conjunto de alternativas apropriadas.

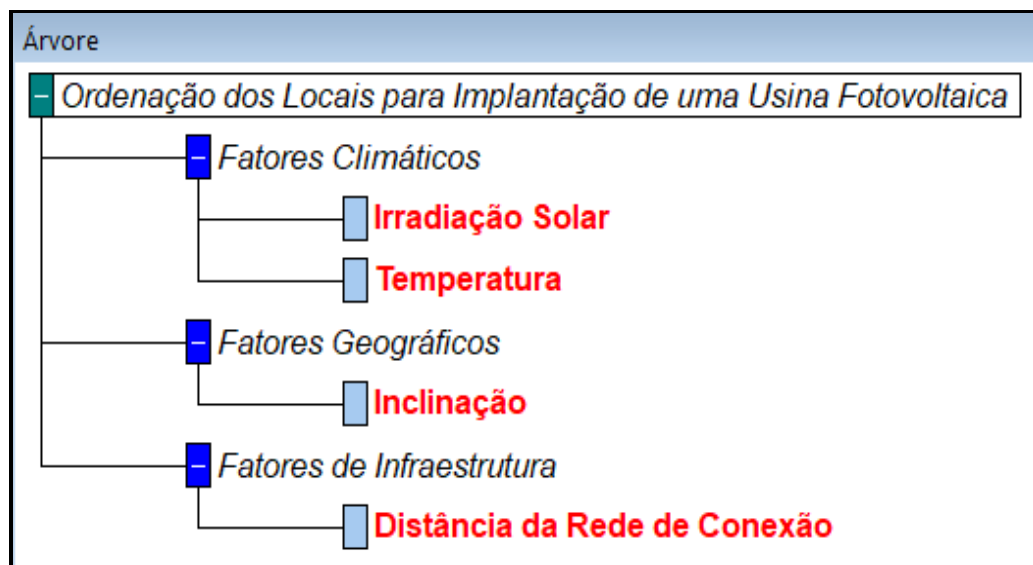


Figura 5 - Árvore de Valor

4.2.1 - Fatores de Exclusão

Na literatura analisada dentro do capítulo 2 - Fundamentação Conceitual, foram identificados 09 fatores de exclusão utilizados pelos autores que estudaram este assunto (APÊNDICE D). Dentro desta lista, os 03 primeiros fatores não foram utilizados, nesta dissertação, propriamente como fatores de exclusão, e sim como definidores iniciais da área de estudo. Os demais, foram utilizados nesta dissertação seguindo as definições descritas abaixo e desta forma, utilizando o QGIS, já produziram os primeiros dados (Figura 05).

- **Áreas Urbanas** - Serão excluídos, todo o perímetro que compreende legalmente a área urbana (as cidades), conforme argumentação da seção 2.2.1 (Figura 04).
- **Vias de Transporte** - As rodovias e ferrovias, são protegidas pela lei 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que institui a proibição de qualquer tipo de construção que margeia qualquer rodovia ou ferrovia em um perímetro de 15 metros de cada lado (BRASIL, 1979). Os aeroportos, são protegidos pela portaria 256/GC5, de 13 de maio de 2011, do Comando da Aeronáutica, onde será adotada a distância máxima de segurança relativa à interferência de raios laser, ou seja, o limite externo da zona de sensibilidade de raios laser (LSFZ), tratado no artigo 66 da referida lei, definida em no mínimo 18.500 metros contados a partir do ponto de referência do aeródromo, formando uma área circular contínua ao redor deste (ANAC, 2011) (Figura 04).
- **Cobertura e Uso da Terra** - Serão considerados excluídos todos os locais utilizados de forma econômica ou social, podendo ser tanto público quanto privado, conforme

argumentação da seção 2.2.1, para isso, foram utilizadas as informações do banco de dados do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) (Figura 05).

- **Recursos Hídricos** - Os rios e riachos, são protegidos pela lei 12.651, de 25 de maio de 2012, capítulo II, seção I, do Código Florestal Brasileiro, que trata da delimitação das áreas de preservação permanente, onde o artigo 4º, inciso I, posta sobre a proteção das faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, que vai de 30 a 500 metros, dependendo do tamanho do mesmo (Tabela 4) (BRASIL, 2012). Os lagos, são protegidos pela lei 12.651, de 25 de maio de 2012, capítulo II, seção I, do Código Florestal Brasileiro, que trata da delimitação das áreas de preservação permanente, onde o artigo 4º, inciso II, posta sobre a proteção do entorno dos lagos e lagoas naturais, definindo uma faixa mínima de 100 metros quando os mesmos são localizados em zona rural (BRASIL, 2012). As represas, são protegidas pela lei 12.651, de 25 de maio de 2012, capítulo II, seção I, do Código Florestal Brasileiro, que trata da delimitação das áreas de preservação permanente, onde o artigo 4º, inciso III, posta sobre a proteção do entorno das áreas dos reservatórios d'água artificiais (BRASIL, 2012). Por questões de segurança, foi adicionado uma distância de mais 100 metros da faixa marginal local destas áreas, para prevenção contra desastres naturais. Com relação ao litoral, será considerado uma distância de segurança de 150.000 metros, a fim de evitar os efeitos nocivos da maresia, conforme indicado pelo decisor.

TAMANHO DO CURSO D'ÁGUA	DISTÂNCIA
< 10 metros	30 metros
$10 \leq X < 50$ metros	50 metros
$50 \leq X < 200$ metros	100 metros
$200 \leq X < 500$ metros	200 metros
≥ 600 metros	500 metros

Tabela 4 - Faixa marginal, de curso d'água (FONTE: lei 12.651 do CFB)

- **Área Geologicamente Inadequada** - Seguindo a indicação do decisor, adotou-se como critério de exclusão, terrenos que apresentem inclinações superiores a 15%, devido ao alto índice de sombreamento e ao alto custo de correção de inclinação, pois ela pode afetar a produtividade, inclusive para estruturas com *tracker*. Devido ao alto índice de inclinação, terrenos com montanhas serão desconsiderados do estudo. Já as elevações superiores a 1.800 metros serão consideradas como critérios de exclusão, baseado na lei 12.651, de 25 de maio de 2012, capítulo II, seção I, artigo 4º, inciso X, do Código Florestal Brasileiro, que diz que estas áreas são protegidas, independente da vegetação nela existente (BRASIL, 2012) (Figura 05).

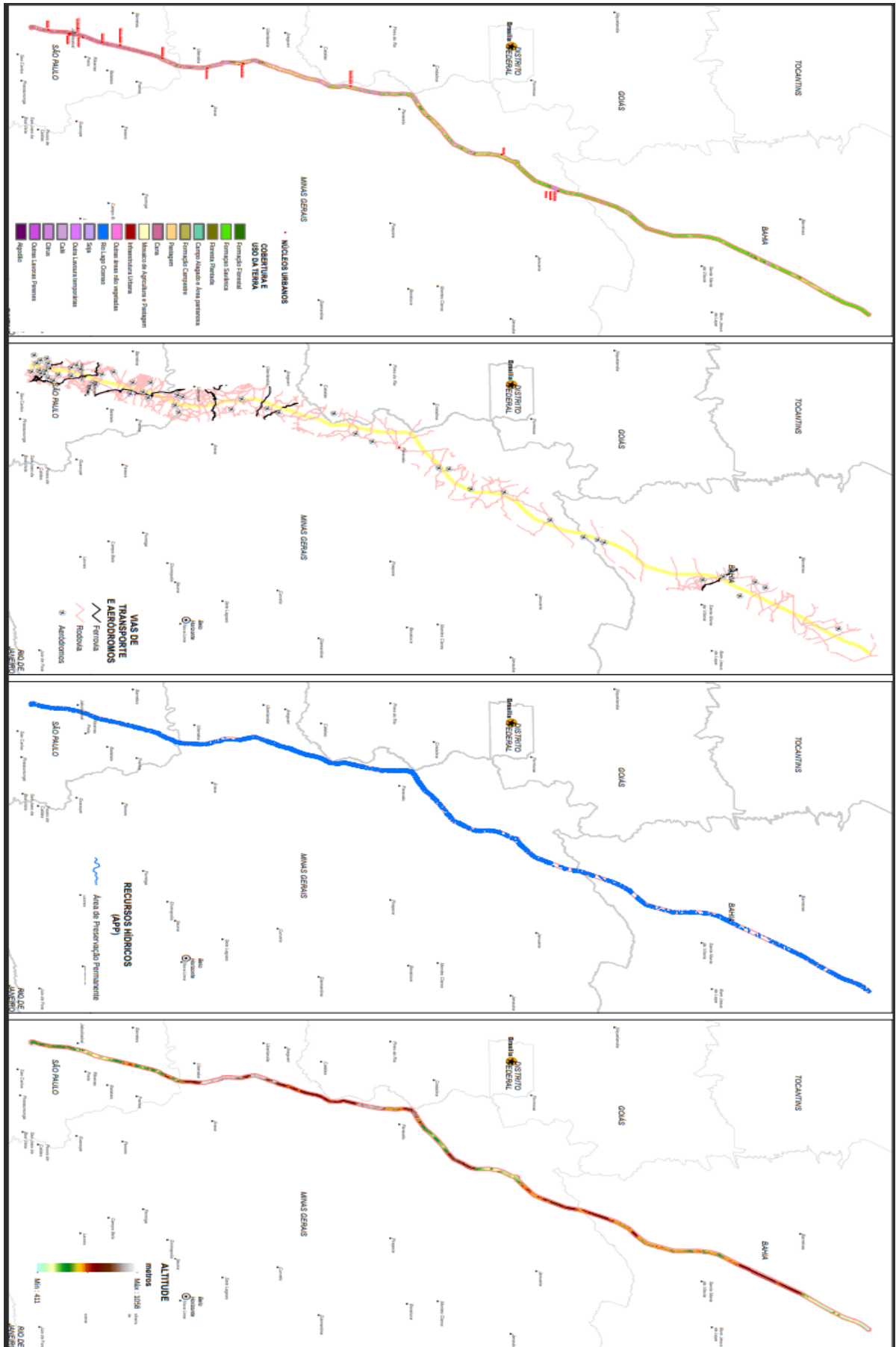


Figura 6 - Representação geográfica das exclusões

4.2.2 - Definição dos Pontos de Vista Fundamentais

Considerando a literatura analisada dentro do capítulo 2 - Fundamentação Conceitual, foram identificados 13 fatores de seleção utilizados pelos autores que estudaram este assunto (APÊNDICE E). Dentro desta lista extraída das 91 literaturas analisadas, foi feita uma análise dos 13 critérios, junto ao decisor, onde utilizando o VFT, foram validados os seguintes: Irradiação, Temperatura, Inclinação, Distância de Rede de Conexão, por serem os que mais influenciam na maximização do objetivo fim, segundo o decisor.

Na sequência, foram feitas as definições de faixas de interesse e classificação, dentro dos limites considerados como classificatórios para cada um dos critérios de seleção, além do estabelecimento de níveis de referência, que são importantes para o desenvolvimento do modelo MACBETH, pois permitem fixar scores (100 para o nível bom e 0 para o nível neutro), o que leva ao entendimento do significado de valor.

Abaixo, estão listados os PVFs, definidos como objeto de estudo, juntamente com os descritores e a classificação nos níveis neutro (cor azul) e nível bom (cor verde), para cada um deles, conforme características do local de estudo.

- **Irradiação Solar** - Neste critério, o especialista entende que índices globais de irradiação (GHI) diários (baseados no rateio do GHI anual), a partir de 5 kWh/m²/dia e maiores, são considerados em estudos de usinas fotovoltaicas, pois quanto maior o GHI, maior a geração de energia da usina fotovoltaica. Com o objetivo de reduzir a discrepância entre os locais que serviram de objeto de estudo e obter uma maior assertividade dos resultados, foi utilizada a escala criada pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável dos Estados Unidos (NREL) como base para este estudo (Tabela 3), sendo consideradas as faixas de irradiação excelente (5–6 kWh/m²/dia) e muito boa (5–6 kWh/m²/dia), onde esta última foi subdividida em duas partes, a fim de reduzir a amplitude de variação da irradiação da faixa original, gerando desta forma uma nova escala, agora, com três níveis (Tabela 5) e comparados com os valores de GHI presentes no modelo computacional Brasil-SR, feito e disponibilizado pelo Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO	DESCRIPTORES	NÍVEIS
Faixa 03	> de 6, 0 kWh/m ² /dia	Bom
Faixa 02	5,5 até 6,0 kWh/m ² /dia	
Faixa 01	5,0 até 5,5 kWh/m ² /dia	Neutro

Tabela 5 - Classificação do IGH para o Estudo

- **Temperatura** - A fim de medir suas características técnicas, independentemente da origem, todo modelo de painel solar produzido, precisa ser testado em laboratório, sob condições padrões de teste (STC). Para realizar este teste existem alguns critérios que foram normatizados e que devem ser seguidos, como por exemplo: o painel deve receber uma irradiância de 1.000W/m^2 , concomitantemente com uma temperatura na superfície do mesmo de 25°C , objetivando medir, entre outras características o seu rendimento padrão em máxima tensão e coeficiente de temperatura (SOLARPRIME, 2019). O coeficiente de temperatura, que mede a perda de potência de pico do módulo a cada aumento de 1°C da temperatura, é considerado ideal para um painel de energia fotovoltaica quando estiver entre $-0,35$ e $-0,47\%/^\circ\text{C}$, pois acima disso, a placa é vista como de baixa qualidade (SOLARPRIME, 2019). Sendo assim, a quantidade de energia produzida em painéis considerados de boa qualidade diminui em cerca de $0,4\%$ e $0,5\%$, a cada aumento de 1°C na temperatura da célula em temperaturas acima de 25°C , impactando na vida útil e na durabilidade dos mesmos, ressaltando que temperaturas abaixo de 25°C aumentam a eficiência dos painéis (PRIETO-AMPARAN *et al.*, 2021; KIRCALI; SELIM, 2021; FURTADO; SOLA, 2020; HABIB *et al.*, 2020). Painéis de silício monocristalino, são os que geram mais energia elétrica por metro quadrado, ou seja, são os mais eficientes e os mais utilizados em usinas fotovoltaicas (D'ANGELA-MARIANO; URBANETZ JUNIOR, 2022), pois apresentam o coeficiente de temperatura em máxima tensão de $-0,37\ \%/^\circ\text{C}$ em média e temperatura de operação (temperatura na superfície dos painéis), normalmente situada a um valor 30°C acima da temperatura do ambiente (CANAL SOLAR, 2019).

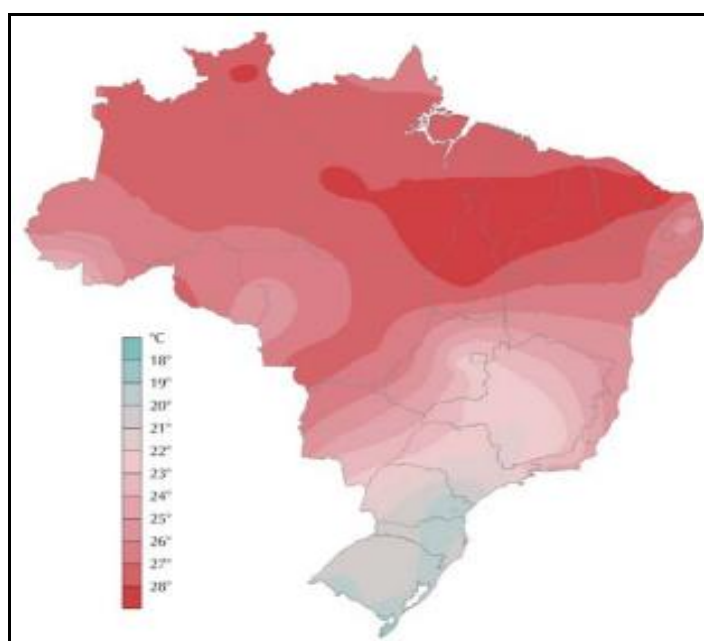


Figura 7 - Mapa da média anual de temperatura obtido por interpolação Krigging (INPE, 2006)

Tomando o exposto acima, onde analogamente pode se dizer que em média a cada aumento de 2°C da temperatura, tem-se uma diminuição da quantidade de energia produzida por um painel, da ordem de até 01%, correlacionando este contexto ao estudo do National Climatic Data Center (NCDC), cujo intuito foi o de produzir um mapa com os valores médios anuais da temperatura, utilizando o método de interpolação de Krigging e as imagens do satélite GOES (Figura 06) (INPE, 2006). Considerando a área de estudo desta dissertação, propôs-se uma escala de quatro níveis médios anuais de temperatura ambiente, os quais contemplam valores entre 20°C e 28°C (Tabela 6).

FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO	DESCRIPTORES	NÍVEIS
Faixa 01	20°C até 22°C	Bom
Faixa 02	22°C até 24°C	
Faixa 03	24°C até 26°C	Neutro
Faixa 04	26°C até 28°C	

Tabela 6 - Classificação da Temperatura

- Inclinação** - A inclinação do terreno, já definida nos critérios de exclusão, deve estar voltada ao Equador, onde, o mesmo deve apontar para o norte geográfico, uma vez que o Brasil, quase que de forma completa situa-se no hemisfério sul. Segundo o especialista, o terreno mais indicado, é aquele que possui a menor inclinação possível, porém não totalmente plano, ou seja, deve possuir uma inclinação mínima suficiente para escoamento de água da chuva. Já a inclinação máxima do terreno, não deve ser maior do que 15% para a instalação da estrutura dos painéis com a tecnologia mais utilizada em usinas deste porte, que é o seguidor solar de eixo único, pois segundo o próprio especialista, inclinações maiores que 15% irão provocar perda de rendimento nos painéis, devido ao fato de comprometer o eixo de rotação deste tipo de estrutura e consequentemente deixando de aproveitar o potencial máximo da irradiação solar, reduzindo a geração final de energia. Neste estudo, considerando apenas os locais inclinados para o norte geográfico e uma inclinação máxima do terreno de 15%, foi proposta uma escala de três níveis (Tabela 7).

FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO	DESCRIPTORES	NÍVEIS
Faixa 01	0% até 05%	Bom
Faixa 02	05% até 10%	
Faixa 03	10% até 15%	Neutro

Tabela 7 - Classificação do Inclinação

- **Distância da Rede de Conexão (Rede de Transmissão / Subestação)** - Segundo informado pelo especialista em projetos de usinas fotovoltaicas, o custo de construção de um ramal, para efetuar a conexão de uma usina fotovoltaica à linha de transmissão / Subestação é um dos maiores entraves para a implantação da mesma, por ser muito alto. O mesmo especialista também aponta que normalmente o cálculo é feito por lances de 1.000 metros, sendo que a distância máxima da rede não deve exceder a 3.000 metros, onde distâncias superiores a esta inviabilizam o projeto (já definido nos critérios de exclusão) e quanto menor a distância, menor será o impacto na amortização do custo de instalação. Desta forma, tomando por base este limite máximo, propôs-se uma escala de três níveis para este critério de seleção, sendo considerado o melhor local, aquele que irá dispendir o menor investimento para conectar a usina fotovoltaica a rede de conexão (Tabela 8).

FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO	DESCRIPTOR	NÍVEIS
Faixa 01	0 até 1.000 metros	Bom
Faixa 02	1.000 até 2.000 metros	
Faixa 03	2.000 até 3.000 metros	Neutro

Tabela 8 - Classificação da Distância da Rede de Conexão

A partir da definição das faixas de classificação dos critérios de seleção apresentadas acima e utilizando a área de estudo, foi feita a identificação dos possíveis locais candidatos a receber uma usina fotovoltaica, através da utilização do QGIS (Figura 07). Também através do QGIS, foi feita a quantificação das características de cada local em cada ponto de vista fundamental individualizado, onde os números 1, 2 e 3, referem-se respectivamente às faixas 1, 2 e 3, de cada PVF considerado na análise (Tabela 9).

	IGH	Temperatura	Inclinação	Conexão
Opção1	2	2	2	3
Opção2	3	2	1	2
Opção3	2	1	3	2
Opção4	2	2	1	1
Opção5	1	4	1	3
Opção6	2	2	2	2
Opção7	2	2	2	2
Opção8	3	2	1	1
Opção9	3	1	2	3
Opção10	2	1	3	3
Opção11	2	2	2	1
Opção12	2	3	1	3
Opção13	3	2	1	3
Opção14	3	2	2	1
Opção15	2	2	2	2
Opção16	2	3	2	2
Opção17	2	3	2	3
Opção18	3	1	3	3
Opção19	3	2	2	2
Opção20	2	2	3	2
Opção21	2	3	3	2
Opção22	2	3	2	2
Opção23	2	3	2	2
Opção24	2	3	2	1
Opção25	3	2	2	2
Opção26	3	3	2	1
Opção27	2	2	2	3
Opção28	3	2	2	3
Opção29	3	3	2	1
Opção30	2	2	2	2
Opção31	2	3	1	3
Opção32	3	2	1	3

	IGH	Temperatura	Inclinação	Conexão
Opção33	2	2	2	1
Opção34	2	3	2	1
Opção35	2	2	2	2
Opção36	2	2	2	2
Opção37	2	1	1	2
Opção38	3	2	3	1
Opção39	3	2	2	3
Opção40	2	2	2	2
Opção41	2	1	3	3
Opção42	2	2	2	2
Opção43	2	2	2	1
Opção44	3	2	2	2
Opção45	2	2	2	1
Opção46	3	1	2	2
Opção47	2	2	3	1
Opção48	3	2	2	1
Opção49	3	2	1	1
Opção50	3	3	2	2
Opção51	2	2	2	2
Opção52	2	2	3	1
Opção53	3	2	2	2
Opção54	2	3	3	3
Opção55	2	3	2	1
Opção56	2	2	3	3
Opção57	3	2	1	3
Opção58	3	1	2	3
Opção59	2	3	2	1
Opção60	2	2	2	2
Opção61	2	2	2	2
Opção62	3	3	2	3
Opção63	2	1	3	3

Tabela 9 - Tabela dos locais estudados e suas performances

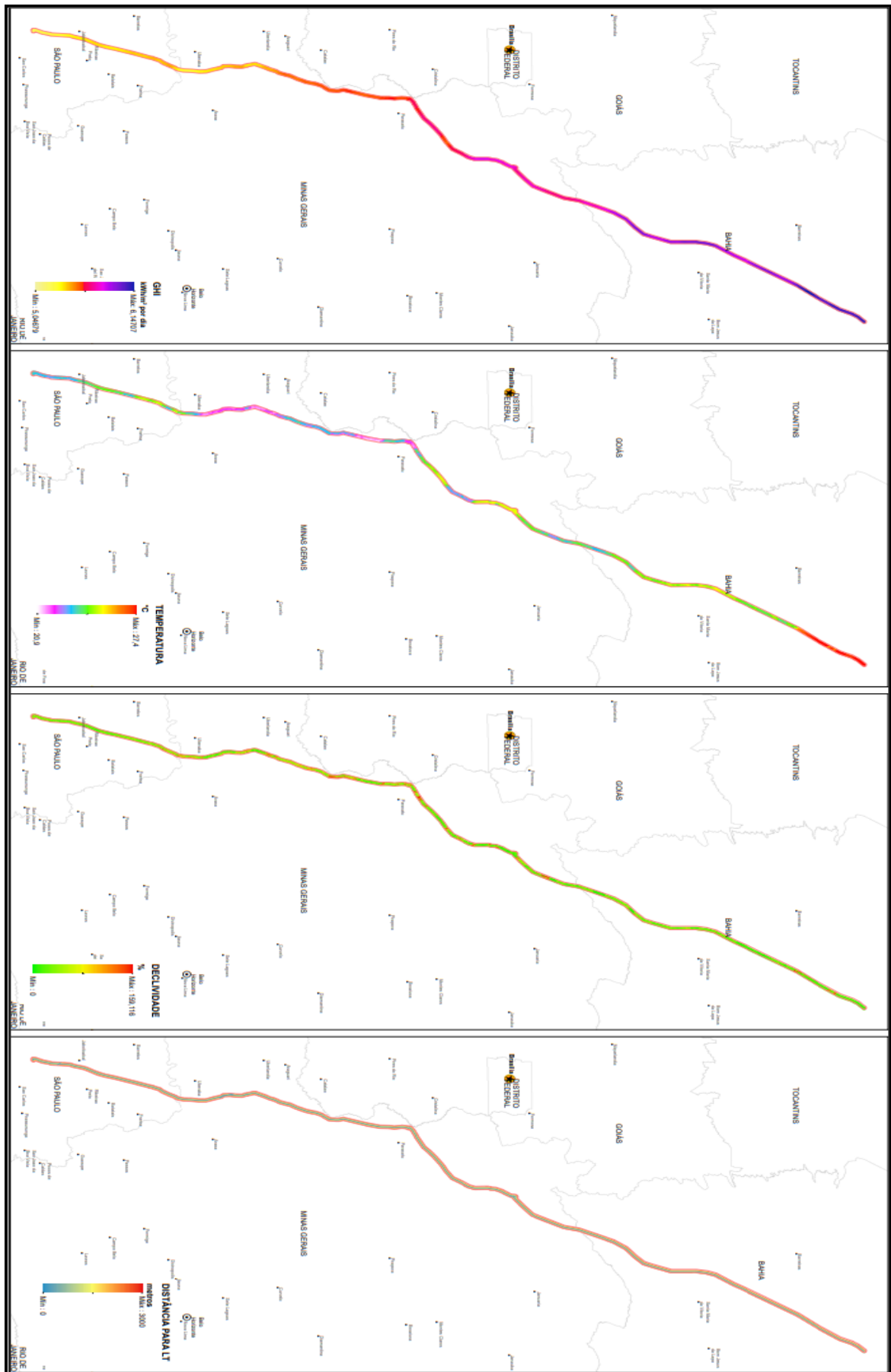


Figura 8 - Representação geográfica dos pontos de vista fundamentais

4.3 - AVALIAÇÃO

Após a fase de estruturação ter sido finalizada é dado início ao desenvolvimento do modelo de avaliação, onde é necessário coletar os julgamentos do decisor. A coleta de informações foi desenvolvida utilizando os critérios e seus descritores, que foram definidos e validados, na seção 4.2.2. Para isso foi desenvolvido um questionário, com base na metodologia MACBETH, enunciada na seção 3.2.2, permitindo assim, a construção das escalas de valor e a obtenção dos pesos dos critérios.

4.3.1 - Construção das escalas de valor

Para a construção das escalas de valor em cada ponto de vista fundamental foi solicitado ao decisor exprimir a diferença de atratividade através de seis categorias (muita fraca (MF); fraca (F); moderada (M); forte (FO); muito forte (MFO); extrema (E)), onde através de um questionário do tipo: “quando x é mais atrativo que y, qual o grau de importância é passar de um nível y, para um nível x: muita fraca, fraca, moderada, forte, muito forte ou extrema”, que para ser melhor entendido, foi colocado um exemplo retirado do instrumento desta pesquisa: “Passar de um nível de temperatura ambiente local entre 26 e 28 graus celsius/ano (Faixa 04), para um nível de temperatura ambiente local entre 24 e 26 graus celsius/ano (Faixa 03), é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?”

Para cada PVF foram enunciados os níveis de descritores definidos na Seção 4.2.2 e feita a construção das matrizes de julgamentos. Tomando os PVF avaliados e focando nos níveis de desempenho dos mesmos, foram feitas questões, comparando-os par a par, ou seja, efetuando os julgamentos com relação as melhorias pela comparação entre cada nível de desempenho.

Tendo como exemplo o critério Temperatura, os quatro níveis de desempenho dos descritores foram classificados de 1 à 4 (Tabela 6), sendo possível a construção do protocolo de questionamentos (Quadro 4), onde as questões que foram feitas compararam os piores níveis de desempenho com os melhores níveis entre si, correspondendo esta comparação, à parte superior (a partir da diagonal principal) da matriz de julgamento no software M-MACBETH (Figura 8). Os demais questionamentos dentro dos critérios (parte inferior da matriz de decisões a partir da diagonal principal) foram preenchidos por transitividade.

Da mesma forma que no exemplo citado acima, foi construído um conjunto de perguntas semelhantes para cada um dos PVF, as quais podem ser consultadas no Apêndice F.

- Passar de um nível de temperatura ambiente local entre 26 e 28 °C/ano (Faixa 04), para um nível de temperatura ambiente local entre 24 e 26 °C/ano (Faixa 03), é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

- Passar de um nível de temperatura ambiente local entre 26 e 28 °C/ano (Faixa 04), para um nível de temperatura ambiente local entre 22 e 24 °C/ano (Faixa 02), é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

- Passar de um nível de temperatura ambiente local entre 26 e 28 °C/ano (Faixa 04), para um nível de temperatura ambiente local entre 20 e 22 °C/ano (Faixa 01), é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

- Passar de um nível de temperatura ambiente local entre 24 e 26 °C/ano (Faixa 03), para um nível de temperatura ambiente local entre 22 e 24 °C/ano (Faixa 02), é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

- Passar de um nível de temperatura ambiente local entre 24 e 26 °C/ano (Faixa 03), para um nível de temperatura ambiente local entre 20 e 22 °C/ano (Faixa 01), é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

- Passar de um nível de temperatura ambiente local entre 22 e 24 °C/ano (Faixa 02), para um nível de temperatura ambiente local entre 20 e 22 °C/ano (Faixa 01), é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

Quadro 4 – Protocolo de questionamento para temperatura

The screenshot shows a software window titled "Temperatura" with a close button (X) in the top right corner. Inside the window, there is a comparison matrix and a list of judgment levels.

	1	2	3	4	Escala atual
1	nula	mt. forte	mt. forte	mt. forte	100.00
2		nula	forte	forte	33.33
3			nula	moderada	0.00
4				nula	-25.00

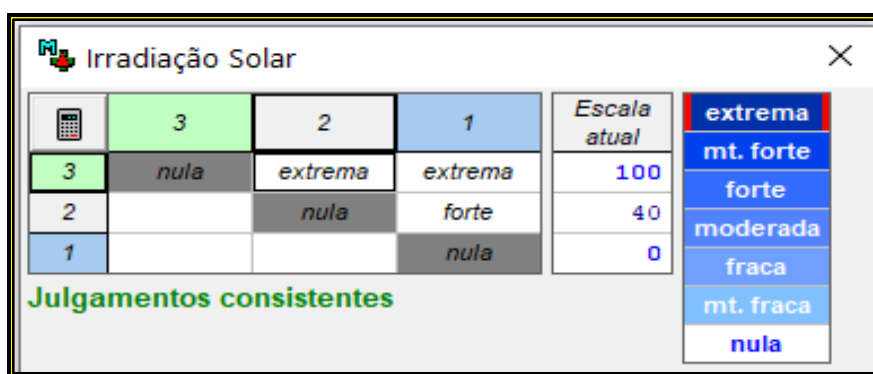
Below the matrix, the text "Julgamentos consistentes" is displayed in green. To the right of the matrix, there is a vertical list of judgment levels: extrema, mt. forte, forte, moderada, fraca, mt. fraca, and nula. The "mt. forte" level is highlighted with a red border.

At the bottom of the window, there is a toolbar with various icons, including a calculator, a lightbulb, a plus sign, a minus sign, a grid, a list, a MAC BETH icon, a DIFF icon, a MAC BETH icon, a person icon, and a color palette.

Figura 9 – Matriz de julgamento da Temperatura (com ferramentas)

O resultado da coleta de informações do decisor, foi inserido no software M-MACBETH, onde na ocorrência de inconsistências de respostas, sugestões do software poderiam ser aceitas. Como não houve nenhuma inconsistência em nenhum julgamento, as tabelas com as escalas de valor geradas pelo software para os quatro pontos de vista fundamentais estão apresentadas abaixo:

- **Irradiação Solar** - A mesma foi segmentada em três níveis de desempenho, iniciando na faixa 01 e indo até a faixa 03, definidos na Seção 4.2.2. Os julgamentos de diferença de atratividade foram realizados em relação a comparação da faixa 01 com as faixas 02 e 03 e a comparação do par consecutivo (faixa 02 com faixa 03), conforme protocolo definido acima, onde abaixo, a Figura 9 apresenta a matriz de julgamento referente às respostas do decisor.



	3	2	1	Escala atual	
3	nula	extrema	extrema	100	extrema
2		nula	forte	40	mt. forte
1			nula	0	forte
					moderada
					fraca
					mt. fraca
					nula

Julgamentos consistentes

Figura 10 – Matriz de julgamento da Irradiação Solar

Tomando por definição as faixas 03 e 01 como “Bom” e “Neutro” (pontuações 100 e 0 em todas as situações, sem variações) e considerando que a escala de valor traduz a atratividade de melhoria dada pelas respostas do decisor, onde, através do Gráfico 1, é possível verificar o resultado obtido através dos julgamentos quantitativos para as respostas, referente ao ponto de vista analisado (irradiação solar). Sendo neste caso, possível verificar que a resposta expressa pelo decisor pode ser traduzida como sendo que a melhoria alcançada ao se passar o nível de irradiação partindo de uma situação na faixa 02 e indo para uma situação na faixa 03, é mais significativa, quando comparado com a mudança do nível de irradiação, partindo da faixa 01 e indo para uma situação na faixa 02, uma vez que o primeiro intervalo (de 03 para 02) possui uma diferença de 60 pontos e o segundo intervalo (de 01 para 02) possui uma diferença de 40 pontos.

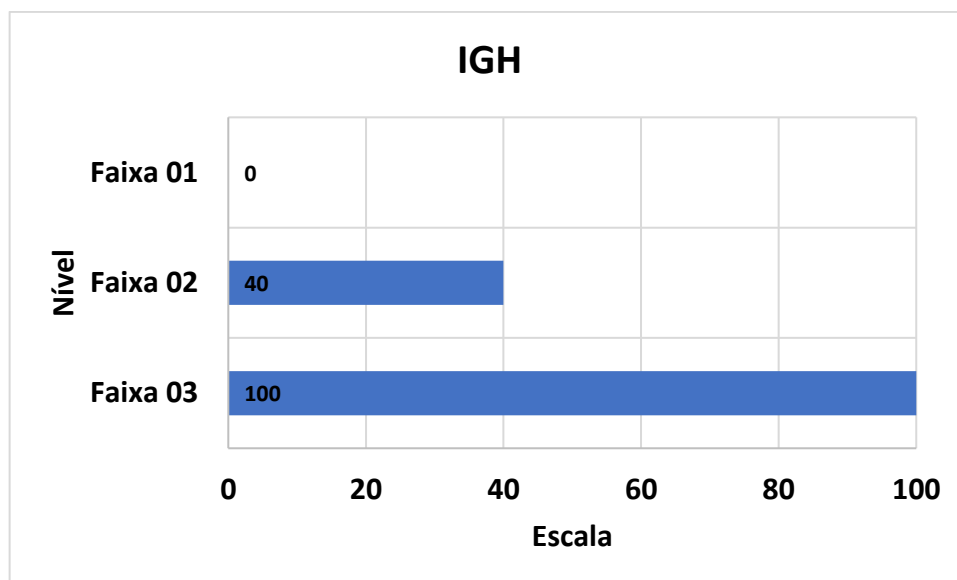


Gráfico 2 – Escala de valor da Irradiação Solar

- **Temperatura** - Seguindo a mesma estrutura da Irradiação, a temperatura foi segmentada em quatro níveis de desempenho, iniciando na faixa 01 e indo até a faixa 04, definidos na Seção 4.2.2. Os julgamentos de diferença de atratividade foram realizados em relação a comparação da faixa 04 com as faixas 03, 02 e 01 e as comparações dos pares consecutivos (faixa 03 com as faixas 02 e 01; faixa 02 com faixa 01), conforme protocolo definido acima, onde a Figura 10, apresenta a matriz de julgamento referente às respostas do decisor.

Temperatura						
	1	2	3	4	Escala atual	
1	nula	mt. forte	mt. forte	mt. forte	100.00	extrema
2		nula	forte	forte	33.33	mt. forte
3			nula	moderada	0.00	forte
4				nula	-25.00	moderada
Julgamentos consistentes						fraca
						mt. fraca
						nula

Figura 11 – Matriz de julgamento da Temperatura

Tomando por definição as faixas 03 e 01 como “Bom” e “Neutro” (pontuações 100 e 0 em todas as situações, sem variações) e considerando que as escalas de valor traduzem a atratividade de melhoria dada pelas respostas do decisor, onde, através do Gráfico 2 é possível verificar o resultado obtido através dos julgamentos quantitativos para as respostas, referente ao ponto de vista analisado (temperatura). Sendo neste caso, possível verificar que a resposta expressa pelo decisor pode ser traduzida como sendo que, a melhoria alcançada ao se passar o nível de temperatura partindo de uma situação na faixa 03 e indo para uma situação na faixa 02, é mais significativa, quando comparado com a mudança do nível de temperatura, partindo

da faixa 04 e indo para uma situação na faixa 03, uma vez que o primeiro intervalo (de 03 para 02) possui uma diferença de 33,33 pontos e o segundo intervalo (de 04 para 03) possui uma diferença de 25 pontos. Já a melhoria alcançada ao se passar de uma situação na faixa 02 e indo para uma situação na faixa 01, é mais significativa, quando comparado com a mudança partindo da faixa 03 e indo para uma situação na faixa 02, uma vez que o primeiro intervalo (de 02 para 01) possui uma diferença de 66,67 pontos e o segundo intervalo (de 03 para 02) possui uma diferença de 33,33 pontos.

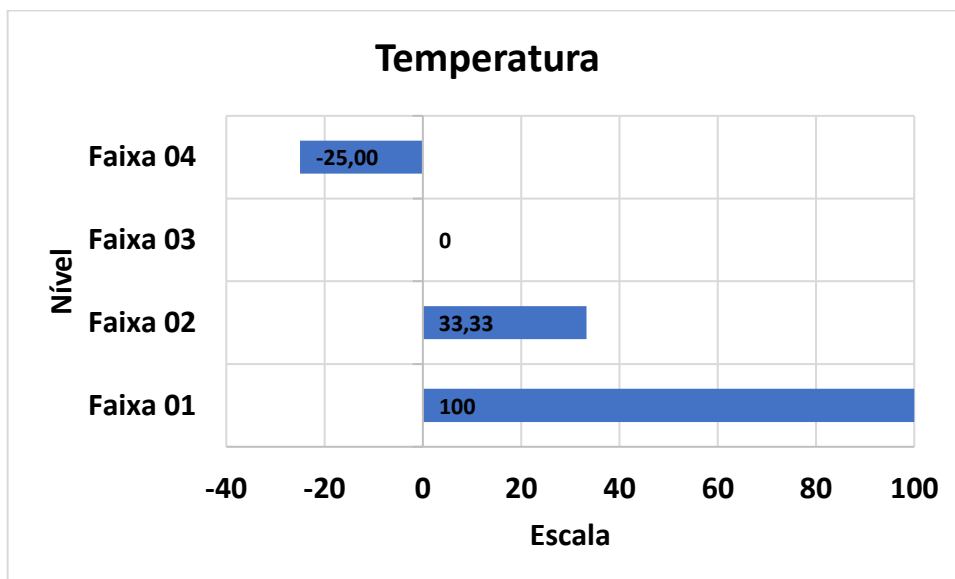


Gráfico 3 – Escala de valor da Temperatura

- **Inclinação** - Seguindo a mesma estrutura da Irradiação, a inclinação foi segmentada em três níveis de desempenho, iniciando na faixa 01 e indo até a faixa 03, definidos na Seção 4.2.2. Os julgamentos de diferença de atratividade foram realizados em relação a comparação da faixa 03 com as faixas 02 e 01 e as comparações do par consecutivo (faixa 02 com a faixa 01), conforme protocolo de questões definido acima, onde abaixo a Figura 11, apresenta a matriz de julgamento referente às respostas do decisor.

	1	2	3	Escala atual
1	nula	moderada	forte	100
2		nula	moderada	50
3			nula	0

Julgamentos consistentes

Figura 12 – Matriz de julgamento da Inclinação

Tomando por definição as faixas 03 e 01 como “Bom” e “Neutro” (pontuações 100 e 0 em todas as situações, sem variações) e considerando que as escalas de valor traduzem a atratividade de melhoria dada pelas respostas do decisor, onde, através do Gráfico 3 é possível verificar o resultado obtido através dos julgamentos quantitativos para as respostas, referente ao ponto de vista analisado (inclinação). Sendo neste caso, possível verificar que a resposta expressa pelo decisor pode ser traduzida como sendo que, a melhoria alcançada ao se passar o nível de inclinação partindo de uma situação na faixa 02 e indo para uma situação na faixa 01, é igualmente significativa, quando comparado com a mudança do nível de irradiação, partindo da faixa 03 e indo para uma situação na faixa 02, uma vez que o primeiro intervalo (de 02 para 01) possui uma diferença de 50 pontos e o segundo intervalo (de 03 para 02) possui uma diferença de 50 pontos.

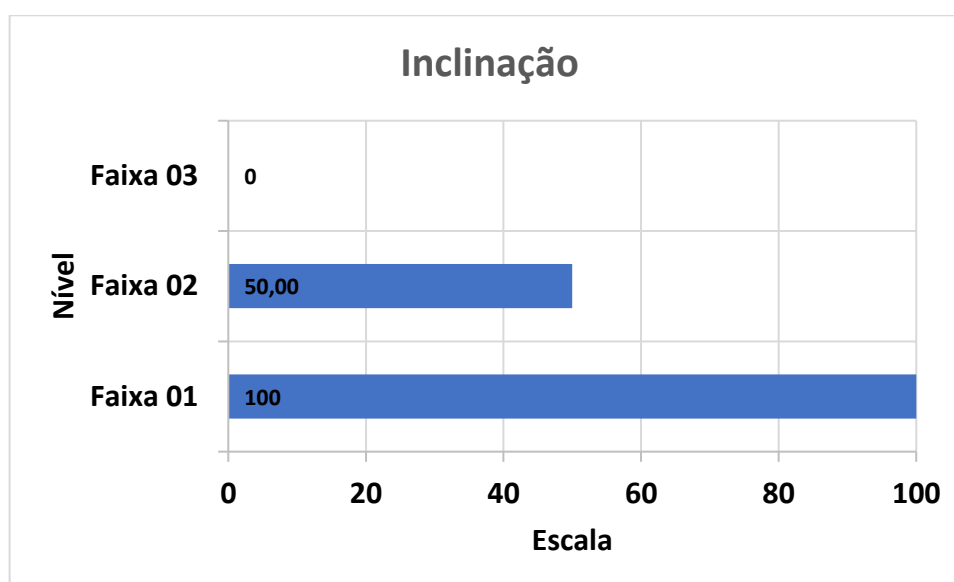


Gráfico 4 – Escala de valor da Inclinação

- **Conexão** - Seguindo a mesma estrutura da Irradiação, a conexão foi segmentada em três níveis de desempenho, iniciando na faixa 01 e indo até a faixa 03, definidos na Seção 4.2.2. Os julgamentos de diferença de atratividade foram realizados em relação a comparação da faixa 03 com as faixas 02 e 01 e as comparações do par consecutivo (faixa 02 com a faixa 01), conforme protocolo de questões definido acima, onde a Figura 12, apresenta a matriz de julgamento referente às respostas do decisor.

Distância da Rede de Conexão					extrema mt. forte forte moderada fraca mt. fraca nula
	1	2	3	Escola atual	
1	nula	extrema	extrema	100	
2		nula	forte	40	
3			nula	0	
Julgamentos consistentes					

Figura 13 – Matriz de julgamento da Rede de Conexão

Tomando por definição as faixas 03 e 01 como “Bom” e “Neutro” (pontuações 100 e 0 em todas as situações, sem variações) e considerando que as escalas de valor traduzem a atratividade de melhoria dada pelas respostas do decisor, onde, através do Gráfico 4 é possível verificar o resultado obtido através dos julgamentos quantitativos para as respostas, referente ao ponto de vista analisado (conexão). Sendo neste caso, possível verificar que a resposta expressa pelo decisor pode ser traduzida como sendo que, a melhoria alcançada ao se passar o nível de irradiação partindo de uma situação na faixa 02 e indo para uma situação na faixa 01, é mais significativa, quando comparado com a mudança do nível de irradiação, partindo da faixa 03 e indo para uma situação na faixa 02, uma vez que o primeiro intervalo (de 02 para 01) possui uma diferença de 60 pontos e o segundo intervalo (de 03 para 02) possui uma diferença de 40 pontos.

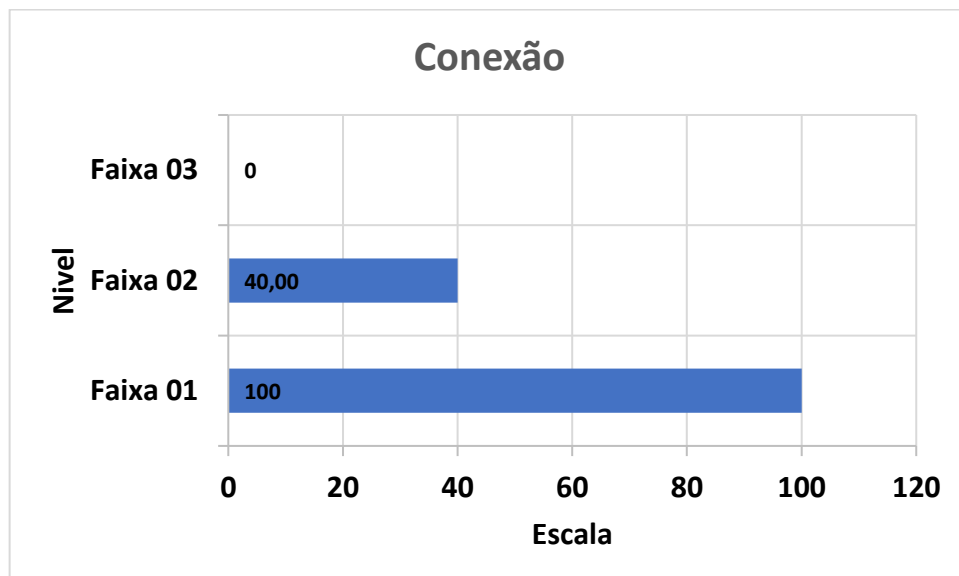


Gráfico 5 – Escala de valor da Conexão

4.3.2 - Definição da Importância dos Pontos de Vista Fundamentais

Nesta fase é feita a definição da importância relativa dos pontos de vista fundamentais e dos pesos dos mesmos, os quais são necessários para a construção de uma regra de agregação aditiva para o modelo, cujos parâmetros de realização foram descritos na Seção 3.2.2.

Este processo trabalhou de uma única vez a importância relativa dos PVF, onde, primeiro foi feito a ordenação decrescente de atratividade dos mesmos, operação que deu embasamento para a construção da matriz de juízos de valor a qual, na sequência deu condições de efetuar o julgamento de valor dos PVF, através da diferença de atratividade entre os mesmos.

Nesta parte do formulário, que foi respondido pelo decisor, foi apresentado um quadro, onde visualmente é possível ver todos os quatro pontos de vista fundamentais (Quadro 7). Neste quadro, foram destacados, de cada PVF, os níveis “neutro” e “bom”. Na sequência, foram feitas questões, comparando os PVF, par a par entre si, ou seja, foram feitas perguntas que fizessem o decisor expressar sua decisão de qual dos PVF, analisado naquela questão, é o mais importante através de um questionamento do tipo: “tendo x e y, qual deles é mais atrativo passar de um nível neutro, para um nível bom? Depois, foi solicitado que o mesmo expressasse a diferença de atratividade entre os dois PVF (par a par), através de seis categorias: muita fraca (MF); fraca (F); moderada (M); forte (FO); muito forte (MFO); extrema (E), através de um questionamento do tipo: “qual é o grau de importância passar o critério escolhido de um nível neutro, para um nível bom em comparação a passar de um nível neutro, para um nível bom o critério preterido: muita fraca, fraca, moderada, forte, muito forte ou extrema”? Em resumo, o esquema de questões foi desenvolvido com dois propósitos: o primeiro obter a ordenação decrescente dos pontos de vista fundamentais e o segundo com o objetivo de obter os julgamentos absolutos de diferença de atratividade.

Tendo como exemplo a comparação entre o critério Temperatura e o Índice de Irradiação Global, foram feitas questões como seguem no Quadro 8 e da mesma forma que no exemplo citado, foi construído um conjunto de perguntas semelhantes para cada uma das combinações dos PVF, as quais podem ser consultadas no Apêndice F. Desta forma através de todas as comparações do questionário, foi possível obter à parte superior (a partir da diagonal principal) da matriz global de julgamentos no software M-MACBETH (Figura 12). Os demais questionamentos dentro dos critérios (parte inferior da matriz de decisões a partir da diagonal principal) foram preenchidos por transitividade.

IRRADIAÇÃO						TEMPERATURA						INCLINAÇÃO						CONEXÃO					
D e s c r i t o r e s	Nível Bom	> de 6 kWh/m²dia				20°C à 22°C				0% à 05%				0 à 1.000 metros									
		5,5–6 kWh/m²dia				22°C à 24°C				05% à 10%				1.000 à 2.000 metros									
	Nível Neutro	5–5,5 kWh/m2dia				24°C à 26°C				10% à 15%				2.000 à 3.000 metros									
						26°C à 28°C																	

Quadro 5 – Descritores

- Na escolha do local para a implantação da usina fotovoltaica, suponha que os dois critérios listados abaixo estejam posicionados no nível neutro (tabela acima). Se você pudesse melhorar um e apenas um deles, passando do nível neutro para o nível bom, qual deles você escolheria?

Temperatura, ou o Índice de Irradiação Global

Choose an item.

- Tomando por base a escolha acima, qual o grau de importância é passar de um nível neutro, para um nível bom no critério escolhido em comparação a passar de um nível neutro, para um nível bom no critério preterido?

Choose an item.

Quadro 6 – Protocolo para definição do peso dos Pontos de Vista Fundamentais

Figura 14 - Ponderação da importância dos Pontos de Vista Fundamentais

O resultado da coleta de informações do decisor, foi inserido no software M-MACBETH, onde na ocorrência de inconsistências de respostas, sugestões do software poderiam ser aceitas, porém, neste caso, não houve nenhuma inconsistência nos julgamentos, sendo que com as respostas dessa segunda fase foi obtida a classificação e pesos dos critérios.

A Figura 13, apresenta a classificação referente as respostas do decisor, de acordo com a escala MACBETH, quando ele foi confrontado com todos os PVF no nível neutro e teve que

escolher a ordem em que faria as melhorias, além de julgar a diferença de atratividade, conforme procedimento descrito logo acima.

Após ordenação e julgamentos realizados, é possível ver os pesos atribuídos a cada um dos PVF no Gráfico 5. Neste gráfico é possível observar que a Irradiação teve a maior pontuação (0,4838), Conexão obteve a segunda maior pontuação (0,3226), Temperatura a terceira maior pontuação (0,1613) e Inclinação foi a última com a menor pontuação (0,0323). Também é possível observar que apenas dois pontos de vista são responsáveis por mais de 80% do coeficiente de ponderação do modelo (80,64%).

Ponderação (Ordenação dos Locais para Implantação de uma Usina Fotovoltaica)

	[IGH]	[Rede de Conexão]	[Temperatura]	[Inclinação]	[all lower]	Escala atual	
[IGH]	nula 0.00	mt. forte 16.12	extrema 32.25	extrema 45.15	positiva 48.38	48.38	extrema
[Rede de Conexão]		nula 0.00	mt. forte 16.13	extrema 29.03	positiva 32.26	32.26	mt. forte
[Temperatura]			nula 0.00	forte 12.90	positiva 16.13	16.13	forte
[Inclinação]				nula 0.00	positiva 3.23	3.23	moderada
[all lower]					nula 0.00	0.00	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

Figura 15 – Ordenação decrescente dos Pontos de Vista Fundamentais

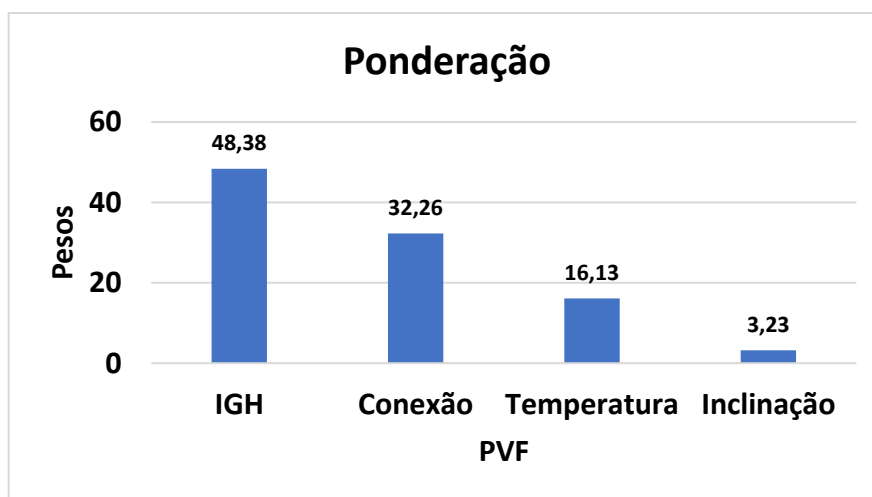


Gráfico 6 – Pesos dos Pontos de Vista Fundamentais

4.4 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES

Após concluída toda a fase de avaliação, o software M-MACBETH sumariza o resultado do problema de acordo com as informações inseridas e procede-se a análise de sensibilidade, para se verificar a consistência do modelo.

4.4.1 - Lista Ordenada dos Locais

A Tabela 10 apresenta a lista ordenada dos locais que estão sendo analisados e a pontuação global do modelo, onde é possível visualizar em ordem decrescente a ordenação dos melhores locais para se implantar uma usina fotovoltaica, segundo o processo que foi desenvolvido.

Opções	Global	IGH	Temperatura	Inclinação	Rede de Conexão
[all upper]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
op 8	89.25	100.00	33.33	100.00	100.00
op 49	89.25	100.00	33.33	100.00	100.00
op 14	87.63	100.00	33.33	50.00	100.00
op 48	87.63	100.00	33.33	50.00	100.00
op 38	86.02	100.00	33.33	0.00	100.00
op 26	82.26	100.00	0.00	50.00	100.00
op 29	82.26	100.00	0.00	50.00	100.00
op 46	79.03	100.00	100.00	50.00	40.00
op 2	69.89	100.00	33.33	100.00	40.00
op 19	68.28	100.00	33.33	50.00	40.00
op 25	68.28	100.00	33.33	50.00	40.00
op 44	68.28	100.00	33.33	50.00	40.00
op 53	68.28	100.00	33.33	50.00	40.00
op 9	66.13	100.00	100.00	50.00	0.00
op 58	66.13	100.00	100.00	50.00	0.00
op 18	64.51	100.00	100.00	0.00	0.00
op 50	62.90	100.00	0.00	50.00	40.00
op 4	60.22	40.00	33.33	100.00	100.00
op 11	58.60	40.00	33.33	50.00	100.00
op 33	58.60	40.00	33.33	50.00	100.00
op 43	58.60	40.00	33.33	50.00	100.00
op 45	58.60	40.00	33.33	50.00	100.00
op 47	56.99	40.00	33.33	0.00	100.00
op 52	56.99	40.00	33.33	0.00	100.00
op 13	56.99	100.00	33.33	100.00	0.00
op 32	56.99	100.00	33.33	100.00	0.00
op 57	56.99	100.00	33.33	100.00	0.00
op 28	55.37	100.00	33.33	50.00	0.00
op 39	55.37	100.00	33.33	50.00	0.00
op 24	53.23	40.00	0.00	50.00	100.00
op 34	53.23	40.00	0.00	50.00	100.00
op 55	53.23	40.00	0.00	50.00	100.00

Opções	Global	IGH	Temperatura	Inclinação	Rede de Conexão
op 59	53.23	40.00	0.00	50.00	100.00
op 37	51.62	40.00	100.00	100.00	40.00
op 62	50.00	100.00	0.00	50.00	0.00
op 3	48.39	40.00	100.00	0.00	40.00
op 6	39.25	40.00	33.33	50.00	40.00
op 7	39.25	40.00	33.33	50.00	40.00
op 15	39.25	40.00	33.33	50.00	40.00
op 30	39.25	40.00	33.33	50.00	40.00
op 35	39.25	40.00	33.33	50.00	40.00
op 36	39.25	40.00	33.33	50.00	40.00
op 40	39.25	40.00	33.33	50.00	40.00
op 42	39.25	40.00	33.33	50.00	40.00
op 51	39.25	40.00	33.33	50.00	40.00
op 60	39.25	40.00	33.33	50.00	40.00
op 61	39.25	40.00	33.33	50.00	40.00
op 20	37.63	40.00	33.33	0.00	40.00
op 10	35.48	40.00	100.00	0.00	0.00
op 41	35.48	40.00	100.00	0.00	0.00
op 63	35.48	40.00	100.00	0.00	0.00
op 16	33.87	40.00	0.00	50.00	40.00
op 22	33.87	40.00	0.00	50.00	40.00
op 23	33.87	40.00	0.00	50.00	40.00
op 21	32.26	40.00	0.00	0.00	40.00
op 1	26.34	40.00	33.33	50.00	0.00
op 27	26.34	40.00	33.33	50.00	0.00
op 56	24.73	40.00	33.33	0.00	0.00
op 12	22.58	40.00	0.00	100.00	0.00
op 31	22.58	40.00	0.00	100.00	0.00
op 17	20.97	40.00	0.00	50.00	0.00
op 54	19.35	40.00	0.00	0.00	0.00
[all lower]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
op 5	-0.00	0.00	-25.00	100.00	0.00
Pesos :		0.4838	0.1613	0.0323	0.3226

Tabela 10 – Ordenação Global do Modelo

Neste estudo, as opções 08 e 49 foram as que apresentaram globalmente a melhor performance, além do fato de serem as únicas que foram classificadas com um nível bom de desempenho em três dos quatro PVFs (Índice de Irradiação, Inclinação e Rede de Conexão).

Foi possível notar que os primeiros 17 locais apresentam o máximo de pontuação para a Irradiação Solar, os quais podem ser visualizados em destaque na Figura 15, sendo a sequência interrompida da 18ª até a 24ª opção de local, onde nestes locais pôde ser observado que a Rede de Conexão apresenta o máximo de pontuação.

Também foi possível notar que a opção de local 5, ficou abaixo no nível neutro, alcançando nível bom apenas em inclinação, nível neutro em irradiação e rede de conexão e estando posicionada abaixo do nível neutro em temperatura, a qual foi decisiva no que tange a sua classificação.

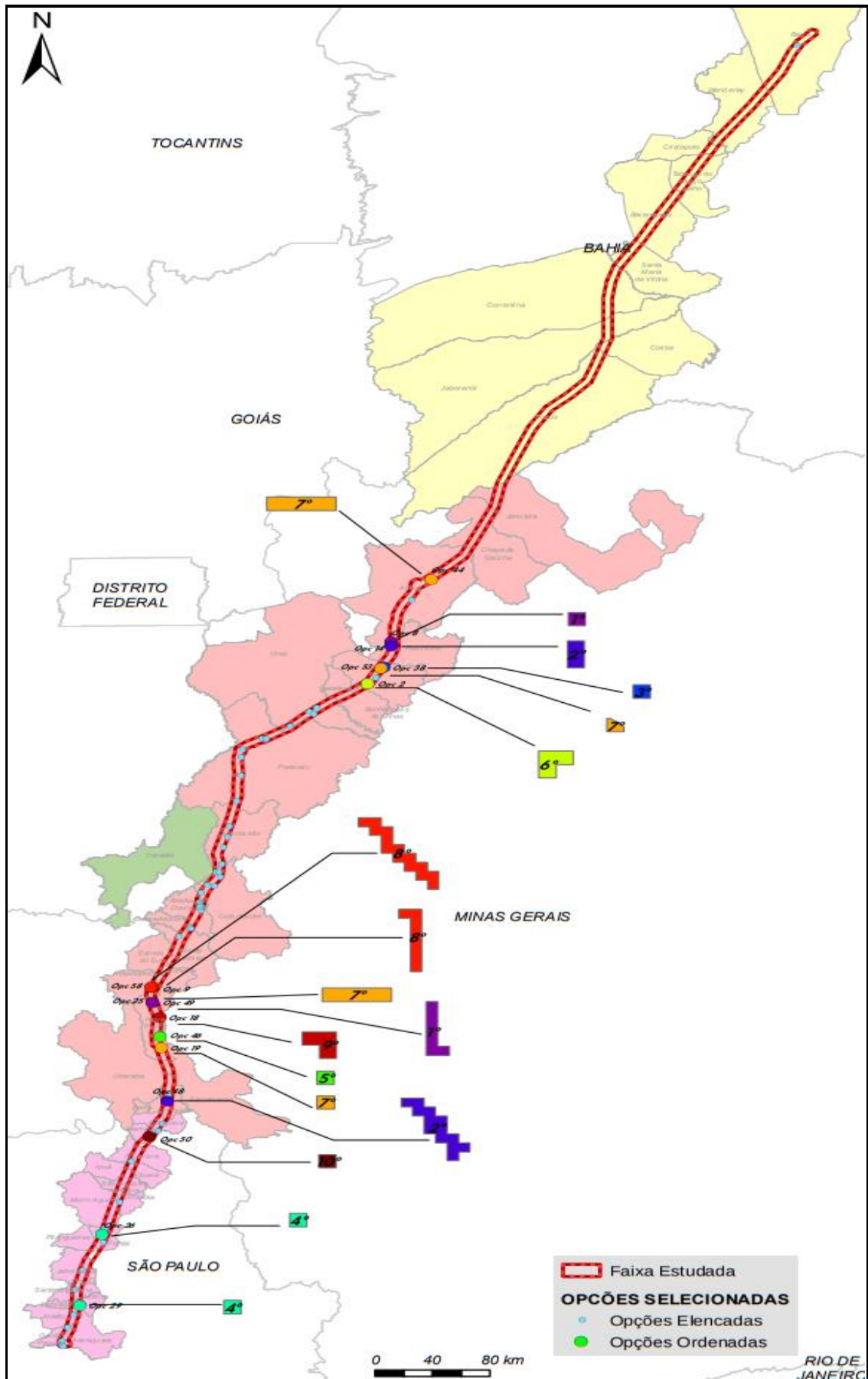


Figura 16 – Locais da lista de ordenação

4.4.2 - Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade é efetuada para verificar o impacto de uma alteração do peso do coeficiente no resultado global. No modelo em questão, foi efetuada com a Irradiação solar, devido a mesma ser a mais representativa entre todos os pontos de vista fundamentais selecionados.

Nesta análise, foi possível verificar que nenhuma alteração no seu coeficiente foi capaz de alterar a ordenação da opção 08 e 49 (melhores opções), melhor dizendo, quando o coeficiente da mesma tende a zero, o máximo que ocorre é as opções 08 e 49 se igualarem em atratividade à opção 04 (Gráfico 6).

Por outro lado, considerando uma alteração para menos em 4,91%, no coeficiente do Índice de Irradiação Solar (fazendo o mesmo passar de um coeficiente de 0,4838, para um coeficiente de 0,46), é possível observar uma alteração na lista de ordenação apenas para a opção 50, que passa a deixar de ser mais atrativa que a opção 04, ou seja, existe uma alteração apenas no 17º local da lista de ordenação, demonstrando assim a consistência do modelo.

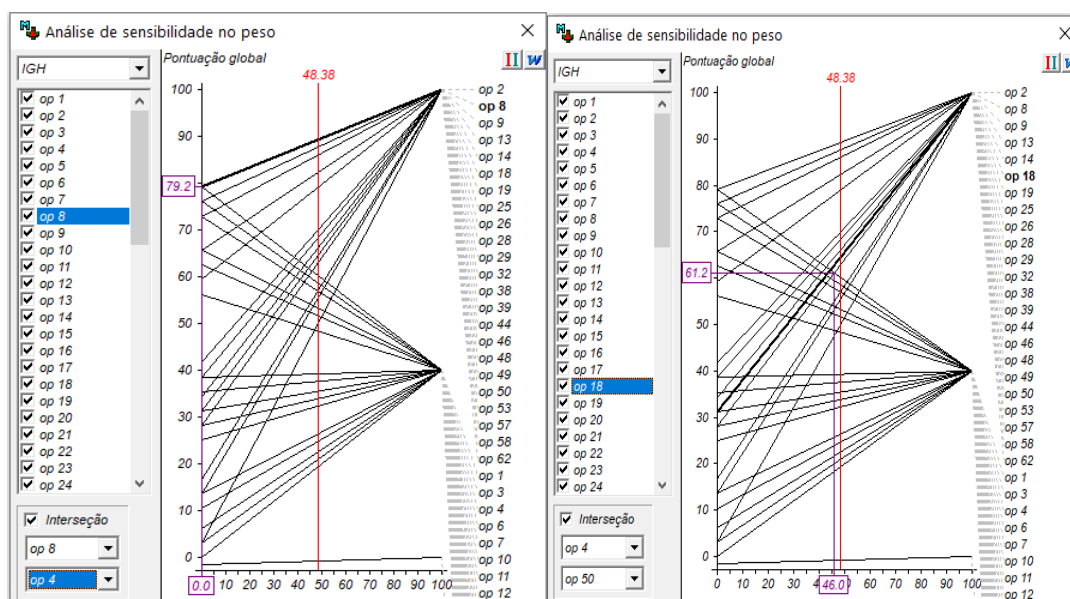


Gráfico 7 – Análise de Sensibilidade do Peso do critério Irradiação

5 – CONCLUSÕES

Com o objetivo de auxiliar especialistas em projetos de usinas fotovoltaicas a encontrar uma lista ordenada com os melhores locais para investimento e fazer com que eles consigam atingir seus objetivos de forma sistêmica, estruturada e efetiva, este trabalho, gerou uma lista ordenada de locais para se fazer a instalação de tal empreendimento. Das 10 primeiras colocações, que compreendem 17 locais (contando os locais que obtiveram a mesma pontuação), os quais podem ser visualizados pela figura 16, pôde ser verificado que os locais 50, 26 e 29 estão localizados no norte do estado de São Paulo, os locais 9, 58, 25, 49, 18, 46, 19 e 48 estão localizados no sul de Minas Gerais e apenas os locais 44, 8, 38, 14, 56 e 2 estão no norte de Minas Gerais.

Dando maior confiabilidade a esta lista, a mesma foi testada através da análise de sensibilidade e foi considerada consistente, ou seja, a análise de sensibilidade impetrou uma maior confiabilidade ao resultado do modelo, dando assim segurança para ser utilizada como base para se escolher onde implantar tal empreendimento. Sendo assim, esta ordenação gerada com a aplicação da sistematização do processo baseado em Macbeth, joga luz sobre novos investimentos deste tipo, à medida que o modelo desenvolvido coloca locais até então pouco atrativos, locais fora do eixo de investimento, em posição de investimento, aumentando a delimitação da região com as características mais atraentes para este tipo de empreendimento.

Sendo assim, fica claro que de forma cientificamente lastreada, este trabalho conseguiu propor uma sutil alteração no eixo de desenvolvimento deste tipo de empreendimento e com isso fazer com que os decisores repensem na forma de tomar suas decisões de escolha de local para implantação de uma usina fotovoltaica.

Uma vez que pela forma como foi desenvolvido este processo metodológico, o mesmo gera confiabilidade e segurança. Sendo assim, pode ser utilizado por qualquer decisor que deseja utilizar um processo desenvolvido de forma científica e estruturada em suas prospecções de locais, a fim de aumentar a assertividade de seus trabalhos, podendo este processo, ser replicado para outras tecnologias, outras regiões, outros cenários ou outros países.

O uso do método MACBETH, neste tipo de estudo representa uma inovação, uma vez que de todas as noventa e uma literaturas analisadas sobre o tema, nenhuma delas utilizou este método, sendo possível, desta forma, incorporá-lo ao rol de métodos de pesquisa que estão sendo utilizados internacionalmente neste tipo de pesquisa.

Também é possível considerar uma inovação, o uso de um método de estruturação para o desenvolvimento deste tipo de trabalho, em especial o uso do VFT, o qual deu celeridade ao desenvolvimento, ao deixar claro a relação entre objetivos meio e fim e de fazer o estabelecimento o objetivo estratégico.

Este trabalho, ao não levar em conta as diferenças de tamanho das áreas correspondentes a cada uma das opções, pode considerar este quesito uma limitação, sendo que tal diferença pode apresentar relevância, uma vez que o tamanho pode impactar no custo do projeto. Assim, é possível afirmar que a ausência de tal avaliação, principalmente nos casos de opções que obtiveram o mesmo resultado final na soma de todos os quesitos, ou seja, que empataram tecnicamente, pode vir a ser decisivo no projeto, mesmo sendo considerada apenas uma variável de desempate técnico, uma vez que é de se esperar que áreas maiores apresentam custos maiores.

O fato de que apenas um decisor foi considerado neste trabalho, também pode ser considerado uma limitação, uma vez que opiniões de diferentes pessoas, que ao serem confrontadas umas com as outras, principalmente através métodos de estruturação que utilizem como base o brainstorm, como por exemplo a análise de S.W.O.T ou o PDCA, é benéfico e tem mais força para consolidar o resultado obtido.

Com base na contribuição da pesquisa, como propostas de pesquisas futuras, é possível sugerir a aplicação da metodologia desenvolvida aqui, em diferentes tipos de fontes alternativas de geração de energia, como por exemplo na prospecção de locais para implantação de usinas de energia eólica, ou em qualquer outro tipo de projeto que para nortear a decisão, necessite de uma ordenação de localização.

Esta dissertação, também contribui cientificamente com o desenvolvimento de projetos, ao identificar a ausência de lastro científico na forma como são feitas as principais decisões a respeito, ou seja, no geral, os trabalhos nesta área não efetuam a estruturação do problema, com a adoção de métodos de estruturação de problemas (no caso em questão, o uso do VFT), além de não deixam claro como foi feita a definição da escolha do método MCDM utilizado, pois alguns métodos, de acordo com sua racionalidade, tratam da lógica compensatória, outros da lógica não compensatória, assim como existem métodos que se concentram na declaração do problema, ou seja, ou tratam da escolha, ou da classificação ou da ordenação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-BASSET, M.; GAMAL, A.; ELKOMY, O. M., Hybrid multi-criteria decision making approach for the evaluation of sustainable photovoltaic farms locations, **Journal of Cleaner Production**, v. 328, p. 129526, 2021.

ABSOLAR, 2023, Energia Solar Fotovoltaica no Brasil - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: < <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico>>, acessado em: 10/09/2023.

AHADI P.; FAKHRABADI F.; POURSHAGHAGHY A.; KOWSARY F., Optimal site selection for a solar power plant in Iran via the Analytic Hierarchy Process (AHP), **Renewable Energy**, v. 215, p. 118944, 2023.

AKKAS, O. P.; ERTEN, M. Y.; CAM, E.; INANC, N., Optimal Site Selection for a Solar Power Plant in the Central Anatolian Region of Turkey, **International Journal of Photoenergy**, v.2017, 2017.

AL GARNI, H. Z.; AWASTHI, A., Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia, **Applied Energy**, v. 206, p. 1225–1240, 2017.

AL GARNI, H.Z.; AWASTHI, A., Advances in Renewable Energies and Power Technologies Solar and Wind Energies - Capítulo 02 - Solar PV Power Plants Site Selection: A Review, **Elsevier**, V. 1, p57 - 75, 2018.

ALANAZI A.; ALANAZI M., Multicriteria Decision-Making for Evaluating Solar Energy Source of Saudi Arabia, **Sustainability**, v. 15, p. 10228, 2023.

ALBRAHEEM, L.; ALABDULKARIM, L., Geospatial analysis of solar energy in Riyadh using a GIS-AHP-based technique, **International Journal of Geo-Information**, v. 10 p. 291, 2021.

ALENCAR, M. H., JUNIOR, L. P., ALENCAR, L. H. Structuring objectives based on value-focused thinking methodology: Creating alternatives for sustainability in the built environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 156, p. 62-73, 2017.

ALHAMMAD, A.; SUN, Q. C.; TAO, Y., Optimal Solar Plant Site Identification Using GIS and Remote Sensing: Framework and Case Study, **Energies**, v. 15, p. 312, 2022.

ALI, S.; TAWEEKUN, J.; TECHATO, K.; WAEWSAK, J.; GYAWALI, S., GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand, **Renewable Energy**, v. 132, p. 1360-1372, 2019.

ALI, S. M.; PAUL, S. K.; CHOWDHURY, P.; AGARWAL, R.; FATHOLLAHI-FARD, A. M.; JABBOURF, C. J. C.; LUTHRA, S., Modelling of supply chain disruption analytics using an integrated approach: An emerging economy example, **Expert Systems With Applications**, v. 173, p. 114690, 2021.

ALY, A.; JENSEN, S. S.; PEDERSEN, A. B., Solar power potential of Tanzania: identifying CPS and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis, **Renewable Energy**, v. 113 p. 159-175, 2017.

ALMASAD, A.; PAVLAK, G.; ALQUTHAMI, T.; KUMARA, S., Site suitability analysis for implementing solar PV power plants using GIS and fuzzy MCDM based approach, **Solar Energy**, v. 249, p. 642–650, 2023.

AMJAD, F.; SHAH, L. A., Identification and assessment of sites for solar farms development using GIS and density-based clustering technique- A case of Pakistan, **Renewable Energy**, v. 155, p. 761-769, 2020.

ANAC, 2011, PORTARIA Nº 256 /GC5, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as restrições relativas as implantações que possam afetar adversamente a segurança e a regularidade das operações aéreas, e da outras providencias, Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica, 2011.

ARCA, D.; CITIROGLU, H. K.; YALÇINKAYA, N. M., Determining optimal solar power plant (SPP) sites by technical and environmental analysis: the case of Safranbolu, Türkiye, **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 50829–50846, 2023.

ASADI, M.; POURHOSSEIN, K., Neural network-based modelling of windsolar farm siting - a case study of East-Azerbaijan, **International Journal of Sustainable Energy** 2021, v. 40, n. 7, p. 616–637, 2021.

ASAKEREH, A.; SOLEYMANI, M.; SHEIKHDAVOODI, M. J., A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran, **Solar Energy**, v. 155, p. 342–353, 2017.

AYOUGH, A.; BOSHRUEI, S.; KHORSHIDVAND, B., A new interactive method based on multi-criteria preference degree functions for solar power plant site selection, **Renewable Energy**, v. 195, p. 1165e1173, 2022.

AZMI, R.; AMAR, H.; CHENAL, J.; DIOP, E. B.; KOUMETIO, C. S. T., Decision analysis related to solar farm investments based on analysis hierarchical process and fuzzy AHP for sustainable energy production, **Int J Energy Res.**, v. 46, p. 11730–11755, 2022.

BANA E COSTA, C. A.; DE CORTE, J. M.; VANSNICK, J. C. MACBETH. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 11, n. 02, p. 359– 387, 2012.

BANA E COSTA, C. A.; DE CORTE, J. M.; VANSNICK, J. C., M-MACBETH: Manual do usuário, 2017. Disponível em: <http://m-macbeth.com/demo/>, acessado em: 18/05/2021

BANA E COSTA, C. A. Structuration, Construction et Exploitation d'un Modèle Multicritère d'Aide à la Décision, **Instituto Superior Técnico, IST**, Lisboa, 1992.

BANA E COSTA, C. A.; BEINAT, E. Estruturação de Modelos de Análise Multicritério de Problemas de Decisão Pública. **Investigação operacional**, v.3, 2010.

BANDIRA, P. N. A.; TAN, M. L.; THE, S. Y.; SAMAT, N.; SHAHARUDIN, S. M.; MAHAMUD, M. A.; TANGANG, F.; JUNENG, L.; CHUNG, J. X.; SAMSUDIN, M. S., Optimal Solar Farm Site Selection in the George Town Conurbation Using GIS-Based Multi-Criteria Decision Making (MCDM) and NASA POWER Data, **Atmosphere**, v. 13, p. 2105, 2022.

BRANS, J-P.; MARESCHAL, B., Multiple criteria decision analysis: State of the Art Surveys (chapter 05 - Promethee Methods), **Springer - New York**, v. 78, p. 163–195, 2005.

BHATTACHARYA, M.; PARAMATI, S. R.; OZTURK, I.; BHATTACHARYA, S., The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries, **Applied Energy**, v.162, p.733–741, 2016.

BORAN, F. E.; MENLIK, T.; BORAN, K., Multi-criteria axiomatic design approach to evaluate sites for grid-connected photovoltaic power plants - a case study in turkey, **Energy Sources**, Part B, 5 p. 290–300, 2010.

BRASIL, 1937, Decreto-Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937. Organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional, DF, 1937.

BRASIL, 1961, Lei Federal nº 3.924, de 26 de julho de 1961. Dispõe sobre os monumentos arqueológicos e pré-históricos, DF, 1961.

BRASIL, 1979, Lei Federal nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências, DF, 1979.

BRASIL, 2000, Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências, DF, 2000.

BRASIL, 2012, Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências, DF, 2012.

BURKE, A; FISHEL, S., A coal elimination treaty 2030: Fast tracking climate change mitigation, global health and security, **Earth System Governance** v. 3, p. 100046, 2020.

CANALSOLAR, 2019, Efeito da temperatura nos módulos fotovoltaicos mono e policristalinos, 2019. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/efeito-da-temperatura-nos-modulos-fotovoltaicos-mono-e-policristalinos>> Acessado em: 16/10/2022.

CANALSOLAR, 2022, Como montar uma fazenda solar, 2022. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/como-montar-uma-fazenda-de-energia-solar>> Acessado em 19/09/2023.

CASTILLO N.; BATISTA E SILVA, F.; LAVALLE, C., An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28 Carolina Perpina, **Energy Policy**, v. 88, p. 86–99, 2016.

CHARABI Y.; GASTLI. A., PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation, **Renewable Energy** v. 36 p. 2554-2561, 2011.

CHEN, C. R.; HUANG, C. C.; TSUEI, H. J., A hybrid MCDM model for improving GIS-based solar farms site selection, **Publishing Corporation International Journal of Photoenergy**, v. 2014, Article ID 925370, 2014.

CINELLI, M.; KADZINSKI, M.; GONZALEZ, M.; STOWINSKI, R., How to support the application of multiple criteria decision analysis? Let us start with a comprehensive taxonomy, **Omega**, v. 96, p. 102261, 2020.

CINELLI, Find the most relevant Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) methods for your decision-making problem with our MCDA Methods Selection Software (MCDA-MSS), 2022. Disponível em: < <https://mcda.cs.put.poznan.pl/index.php>> Acessado em: 20/05/2022.

DAHOOIE J.H.; KASHAN A.H.; NAEINI Z.S.; VANAKI A.S.; ZAVADSKAS E.K.; TURSKIS Z., A Hybrid Multi-Criteria-Decision-Making Aggregation Method and Geographic Information System for Selecting Optimal Solar Power Plants in Iran, **Energies**, v. 15, p. 2801, 2022

D'ANGELA-MARIANO, J.; URBANETZ JUNIOR, J., Energia Solar Fotovoltaica - Princípios Fundamentais, **Ed. Atena**, 2022.

DE ALMEIDA, A. T., Processo de Decisão nas Organizações - Construindo modelos de decisão multicritério, Ed Atlas, 1º Edição, 2013.

DE ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALENCAR, M. H.; FERREIRA, R. J. P.; DE ALMEIDA-FILHO, A. T.; GARCEZ, T. V., International Series in Operations Research & Management Science - Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis, **Springer International Publishing Switzerland**, 2015.

DEHSHIRI, S. S. H.; FIROOZABADI, B., A novel four-stage integrated GIS based fuzzy SWARA approach for solar site suitability with hydrogen storage system, **Energy**, v. 278, p.127927, 2023.

DIAS, C. L. DE A.; BRANCO, D. A. C.; AROUCA, M. C. A.; LEGEY, L. F. L., Performance estimation of photovoltaic technologies in Brazil, **Renewable Energy**, v.114, p. 367-375, 2017.

DÍAZ-CUEVAS, P.; CAMARILLO-NARANJO, J. M.; PÉREZ-ALCÁNTARA, J. P., Relational spatial database and multi-criteria decision methods for selecting optimum locations, for photovoltaic power plants in the province of Seville (southern Spain), **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 20p. 1889–1902, 2018

DOLJAK, S. D.; STANOJEVI, G., Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia, **Energy**, v. 127, p.291-300, 2017.

DOORGA, J. R. S.; RUGHOPUTH, S. D. D. V.; BOOJHAWON, R., Multi-criteria GIS-based modelling technique for identifying potential solar farm sites: A case study in Mauritius, **Renewable Energy**, v. 133, p. 1201-1219, 2019.

DRANKA, G. G. E FERREIRA, P, Planning for a renewable future in the Brazilian power system, **Energy**, v. 164, p. 496-511, 2018.

ELKADEEM, M. R.; YOUNES, A.; SHARSHIR, S. W.; CAMPANA, P. E.; WANG, S., Sustainable siting and design optimization of hybrid renewable energy system a geospatial multi-criteria analysis, **Applied Energy**, v. 295 p. 117071, 2021.

EPE, 2018, Projetos fotovoltaicos nos leilões de energia - Características dos empreendimentos participantes nos leilões de 2013 a 2018, **Empresa de Pesquisa Energética**, Brasília – DF, 2018.

EPE, 2020, Solar Fotovoltaica Flutuante - Aspectos Tecnológicos e Ambientais relevantes ao planejamento, **Empresa de Pesquisa Energética**, Brasília – DF, 2020.

EPE, 2023, Balanço Energético Nacional 2023: Ano base 2022 - BEN 2023, Empresa de Pesquisa Energética – Ministério de Minas e Energia - MME, Rio de Janeiro.

ESLAMI, S.; NOOROLLAHI, Y; MARZBAND, M.; ANVARI-MOGHADDAM, A., Integrating heat pumps into district heating systems: A multi-criteria decision analysis framework incorporating heat density and renewable energy mapping, **Sustainable Cities and Society**, v. 98, p. 104785, 2023.

FARD, M. B.; MORADIAN, P.; EMARATI, M.; EBADI, M.; CHOFREH, A. G.; KLEME, J. J., Ground-mounted photovoltaic power station site selection and economic analysis based on a hybrid fuzzy best-worst method and geographic information system: A case study Guilan province , **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 169, p. 112923, 2022.

FERREIRA, A.; KUNHA, S. S.; FAGNANIA, K. C.; DE SOUZA, T. A.; TONEZER, C.; DOS SANTOS, G. R.; COIMBRA-ARAÚJO, C. H., Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 181-191, 2018.

FERREIRA, F.A.F.; SANTOS, S.P. Two decades on the MACBETH approach: a bibliometric analysis. **Annals of Operations Research**, v. 296, p 901-925, 2021.

FINN, T.; MCKENZIE, P., A high-resolution suitability index for solar farm location in complex landscapes, **Renewable Energy**, v.158, p.520-533, 2020.

FISHBURN, P. C., Non compensatory Preferences, **Springer**, v. 33, nº 2/4, p. 393-403, 1976.

FURTADO. P. A. X.; SOLA A. V. H., Fuzzy complex proportional assessment applied in location selection for installation of photovoltaic plants, **Energies**, v. 13, p. 6260, 2020.

GARLET, T. B.; RIBEIRO, J. L. D.; SAVIAN, F. S.; SILUK, J. C. M., Paths and barriers to the diffusion of distributed generation of photovoltaic energy in southern Brazil, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 111, p. 157-169, 2019.

GEORGIOU A.; SKARLATOS D., Optimal site selection for sitting a solar park using multi-criteria decision analysis and geographical information systems, **Geosci. Instrum. Method. Data Syst.**, v. 5, p. 321–332, 2016.

GHASEMI, G.; NOOROLLAHI, Y.; ALAVI, H.; MARZBAND, M.; SHAHBAZI, M., Theoretical and technical potential evaluation of solar power generation in Iran, **Renewable Energy**, v. 138, p. 1250-1261, 2019.

GHOSE, D.; NASKAR, S.; SHABBIRUDDIN; SADEGHZADEH, M.; ASSAD, M. E. H.; NABIPOUR, N., Siting high solar potential areas using Q-GIS in West Bengal, India, **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 42, p. 100864, 2020.

GIAMALAKI, M.; TSOUTSOS, T., Sustainable siting of solar power installations in Mediterranean using a GIS/AHP approach, **Renewable Energy**, v. 141, p. 64-75, 2019.

GIBON, T.; ARVESENA, A.; HERTWICH, E. G., Life cycle assessment demonstrates environmental co-benefits and trade-offs of low-carbon electricity supply options, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 1283-1290, 2017.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S., Princípios e Métodos para Tomada de Decisão - Enfoque Multicritério, Ed Atlas, 6º Edição, 2019.

GUNEN, 2021a, GUNEN, M. A., Determination of the suitable sites for constructing solar photovoltaic (PV) power plants in Kayseri, Turkey using GIS-based ranking and AHP methods, **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 57232–57247, 2021.

GUNEN, 2021b, GUNEN, M. A., A comprehensive framework based on GIS-AHP for the installation of solar PV farms in Kahramanmaraş, Turkey, **Renewable Energy**, v. 178, p. 212-225, 2021.

HABIB, S. M.; SULIMAN, A. E. E.; AL NAHRY, A. H.; EL RAHMAN, E. N. A., Spatial modeling for the optimum site selection of solar photovoltaics power plant in the northwest coast of Egypt, **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, p. 100313, 2020.

HALDER, B.; BANIK, P.; ALMOHAMAD, H.; AL DUGHAI, A. A.; AL-MUTIRY, M.; AL SHAHRANI, H. F.; ABDO, H. G., Land Suitability Investigation for Solar Power Plant Using GIS, AHP and Multi-Criteria Decision Approach: A Case of Megacity Kolkata, West Bengal, India, **Sustainability**, v. 14, p. 11276, 2022.

HASHEMIZADEH, A.; JU, Y.; DONG, P., A combined geographical information system and best-worst method approach for site selection for photovoltaic power plant projects, **International Journal of Environmental Science and Technology**, 17:2027–2042, 2020.

HASSAN, I.; ALHAMROUNI, I.; AZHAN, N. H., A CRITIC–TOPSIS Multi-Criteria Decision-Making Approach for Optimum Site Selection for Solar PV Farm, **Energies**, v. 16, p. 4245, 2023.

HASTI, F.; MAMKHEZRI, J.; MCFERRIN, R.; PEZHOOOL, N., Optimal solar photovoltaic site selection using geographic information system–based modeling techniques and assessing environmental and economic impacts: The case of Kurdistan, **Solar Energy**, v. 262, p. 111807, 2023.

HEUBAUMA, H.; BIERMANN F. Integrating global energy and climate governance: The changing role of the international energy agency. **Energy Policy**, v. 87, p. 229-239, 2015.

HOOSHANGI N.; MAHDIZADEH GHARAKHANLOU N.; GHAFFARI RAZIN S.R., Evaluation of potential sites in Iran to localize solar farms using a GIS-based Fermatean Fuzzy TOPSIS, **Journal of Cleaner Production**, v. 384, p. 135481, 2023.

IMAMVERDIEV, N. S., Optimal Site Selection for Solar Photovoltaic Power Plants: A Case Study of the Nakhchivan Autonomous Republic, Azerbaijan, **Geography and Natural Resources**, v. 43, n. 2, p. 189–199, 2022.

INMET, 2020, Instituto Nacional de Meteorologia, Temperatura máxima absoluta - - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>, acessado em: 08/11/2022.

INPE, 2006, Atlas brasileiro de energia solar 1º edição, **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, São José dos Campos/SP, 2006.

INPE, 2017, Atlas brasileiro de energia solar 2º edição, **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, São José dos Campos/SP, 2017.

IRENA, 2017, Boosting Solar PV Markets: The Role of Quality Infrastructure, **International Renewable Energy Agency**, Abu Dhabi, 2017.

IRENA, 2020, Renewable Power Generation Costs in 2019, **International Renewable Energy Agency**, Abu Dhabi, 2019.

ISHIZAKA, A; NEMERY, P, Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software (chapter 06 - Promethee), **John Wiley & Sons**, V. 01, p. 136 – 179, 2013.

KANNAN, N.; VAKEESAN, D., Solar energy for future world: - A review, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, 9. 1092-1105, 2016.

KATKAR, V. V.; SWARD, J. A.; WORSLEY, A.; ZHANG, K. M., Strategic land use analysis for solar energy development in New York state, **Renewable Energy**, v. 173 p. 861-875, 2021.

KEENEY, R. L. Value-Focused Thinking: A path to creative decisionmaking. **Harvard University Press**, Cambridge, 1992.

KEENEY, R. L., Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives, **European Journal of Operational Research**, v. 92, p. 537-549, 1996.

KHAZAEI, S. M.; AL-BAKRI, M., The Optimum Site Selection for Solar Energy Farms using AHP in GIS Environment, A Case Study of Iraq, **Iraqi National Library & Archives**, v. 1854, 2013.

KIRCALI, S.; SELIM, S., Site suitability analysis for solar farms using the geographic information system and multi-criteria decision analysis - the case of Antalya, Turkey, **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 23 p. 1233–1250, 2021.

KOC, A.; TURK, S.; SAHIN, G., Multi-criteria of wind-solar site selection problem using a GIS-AHP-based approach with an application in Igdir province-Turkey, **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26: p. 32298–32310, 2019.

KOCABALDIR, C.; YÜCEL, M. A., GIS-based multicriteria decision analysis for spatial planning of solar photovoltaic power plants in Çanakkale province, Turkey, **Renewable Energy**, v. 212, p. 455–467, 2023.

KOÇAK, E.; ŞARKGÜNEŞİ, A., The renewable energy and economic growth nexus in Black Sea and Balkan countries, **Energy Policy**, v. 100, p. 51-57, 2017.

KOMCHORNKIT, K., The Selection of Dry Port Location by a Hybrid CFA-MACBETH-PROMETHEE Method: A Case Study of Southern Thailand, **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, v. 33(3), p. 141-153, 2017.

LAUSSELET, C.; ELLINGSEN, L. A. W.; STROMMAN, A. H.; BRATTEBO, H., “A life-cycle assessment model for zero emission neighbourhoods”, **Journal of Industrial Ecology**, 24(3), 500-516, 2020.

LIMBACHIYA, M.; *ET AL.* Suitability of BS EN 197-1 CEM II and CEM V cement for production of low carbon concrete. **Construction and Building Materials**, v. 71, p. 397-405, 2014.

LIU, J.; XU, F.; LIN, S., Site selection of photovoltaic power plants in a value chain based on grey cumulative prospect theory for sustainability: A case study in Northwest China, **Journal of Cleaner Production**, v. 148, p. 386-397, 2017.

MALEMNGANBI, R.; SHIMRAY, B.A, An integrated multiple layer perceptron-genetic algorithm decision support system for photovoltaic power plant site selection, **International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)**, v. 12, p. 1965-1972, 2022.

MARQUES-PEREZ, I.; GUAITA-PRADAS, I.; GALLEGRO, A.; SEGURA, B., Territorial planning for photovoltaic power plants using an outranking approach and GIS, **Journal of Cleaner Production**, v. 257, p. 120602, 2020.

MERROUNI, A. A.; ELALAOUI, F. E.; MEZRHAB, A.; MEZRHAB, A.; GHENNIQUI, A., Large scale PV sites selection by combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study: Eastern Morocco, **Renewable Energy**, v. 119, p. 863-873, 2018.

MARTTUNEN, M.; LIENERT, J.; BELTON, V., Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations, **European Journal of Operational Research**, v. 263, p. 1–17, 2017.

MIAN, S. H.; MOIDUDDIN, K.; ALKHALEFAH, H.; ABIDI, M. H.; AHMED, F.; HASHMI, F. H., Mechanisms for Choosing PV Locations That Allow for the Most Sustainable Usage of Solar Energy, **Sustainability**, v. 15, p. 3284, 2023.

MIRZAEI N.; 2022, A Multicriteria Decision Framework for Solar Power Plant Location Selection Problem with Pythagorean Fuzzy Data: A Case Study on Green Energy in Turkey, **Sustainability**, v. 14, p. 14921, 2022.

MOKARRAM, M.; MOKARRAM, M. J.; GITIZADEH, M.; NIKNAM, T.; AGHAEIB, J., A novel optimal placing of solar farms utilizing multi-criteria decision-making (MCDA) and feature selection, **Journal of Cleaner Production**, v. 261, p. 121098, 2020.

NASERI, M.; HUSSAINI, M. S.; IQBAL, M. W.; JAWADI, H.A.; PUYA, M., Spatial modeling of solar photovoltaic power plant in Kabul, Afghanistan, **Journal of Mountain Science**, v. 18(12), p. 3291-3305, 2021.

NHI, T. H. T.; WANG, C. N.; THANH, N. V., Fuzzy Multi-Criteria Decision Making for Solar Power Plant Location Selection, **Computers, Materials & Continua**, v.72, n. 3, 2022.

NOOROLLAHI, Y.; SENANI, A. G.; FADAEI, A.; SIMAEE, M.; MOLTAMES, R., A framework for GIS-based site selection and technical potential evaluation of PV solar farm using Fuzzy-Boolean logic and AHP multicriteria decision-making approach, **Renewable Energy**, v. 186, p. 89-104, 2022.

OUCHANI, F. Z.; JBAIHI, O.; MAAROUFI, M.; GHENNIUI, A., Identification of suitable sites for large-scale photovoltaic installations through a geographic information system and analytical hierarchy process combination: A case study in Marrakesh-Safi region, Morocco, **Prog Photovolt Res Appl**, v. 29 p. 714–724, 2021.

OZDEMIR S.; SAHIN G., Multi-criteria decision-making in the location selection for a solar PV power plant using AHP, **Measurement**, v. 129, p. 218–226, 2018.

OZOEGWU, C. G.; MGBEMENE, C. A.; OZOR, P. A., The status of solar energy integration and policy in Nigeria, **Renewable and sustainable energy reviews**, v.70 p. 457–471, 2017.

PAIVA, M. L. U G., DAHER, S. F. D. Abordagem VFT para Estruturação de Problema para Melhoria da Produção mais Limpa em Empresa de Confecções do Agreste Pernambucano. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, set. 2016.

POJADAS, D. J.; ABUNDO, M. L. S., A spatial cost-benefit-externality modelling framework for siting of variable renewable energy farms: A case in Bohol, Philipp, **Renewable Energy**, v. 181, p. 1177-1187, 2022.

PRIETO-AMPARÁN, J. A.; PINEDO-ALVAREZ, A.; MORALES-NIETO, C. R.; VALLES-ARAGÓN, M. C.; Álvarez-Holguín, a.; Villarreal-Guerrero, f., A regional GIS-assisted multi-criteria evaluation of site-suitability for the development of solar farms, **Land** v. 10, p. 217, 2021.

QUTAINA, B.; SHEHADA, A.; YASIN, A.; ALSAYED, M., Geographical information systems-based site selection methodology for renewable energy systems in Palestinian territories, **International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)**, v. 13, n. 4, p. 3622~3630, 2023.

RABAIA, M. K. H.; ABDELKAREEM, M. A.; SAYED, E. T.; ELSAID, K.; CHAE, K. J.; WILBERFORCE, OLABI, A. G., Environmental impacts of solar energy systems: A review, **Science of the Total Environment**, v. 754, p. 141989, 2021.

RAZA, M. A.; YOUSIF, M.; HASSAN, M.; NUMAN, M.; KAZMI, S. A. A., Site suitability for solar and wind energy in developing countries using combination of GIS- AHP; a case study of Pakistan, **Renewable Energy**, v. 206, p. 180–191, 2023.

REKIK, S.; ALIMI, S. E., Optimal wind-solar site selection using a GIS-AHP based approach: A case of Tunisia, **Energy Conversion and Management**, v. 18, p. 100355, 2023.

REDISKE, G.; SILUK, J. C. M.; GASTALDO, N. G.; RIGO, P. D.; ROSA, C. B., Determinant factors in site selection for photovoltaic projects: A systematic review, **International Journal of Energy Resource**, v. 43, p 1689–1701, 2019.

REDISKE, G.; SILUK, J. C. M.; MICHELS, L.; RIGO, P. D.; ROSA, C. B.; CUGLER, G., Multi-criteria decision-making model for assessment of large photovoltaic farms in Brazil, **Energy**, v. 197, p. 117167, 2020.

REHMAN, A.; RAUF, A.; AHMAD, M.; CHANDIO, A. A.; DEYUAN, Z., The effect of carbon dioxide emission and the consumption of electrical energy, fossil fuel energy, and renewable energy, on economic performance: evidence from Pakistan, **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26 p. 21760–21773, 2019.

RIGO, P. D.; SILUK, J. C. M.; LACERDA, D. P; ROSA, C. B.; REDISKE, G., Is the success of small-scale photovoltaic solar energy generation achievable in brazil, **Journal of Cleaner Production**, v. 240 p.118243, 2019.

RIOS, R.; DUARTE, S., Selection of ideal sites for the development of large-scale solar photovoltaic projects through analytical hierarchical process - geographic information systems (AHP-GIS) in Peru, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 149, p. 111310, 2021.

ROSENHEAD, J., Past, present and future of problem structuring methods. **Journal of the Operational Research Society**, v. 57, p. 759–765, 2006.

RUIZ, H. S.; SUNARSO, A.; IBRAHIM-BATHIS, K.; MURTI, S. A.; BUDIARTO, I., GIS-AHP multi criteria decision analysis for the optimal location of solar energy plants at Indonesia, **Energy Reports**, v. 6, p. 3249–3263, 2020.

SAMANLIOGLU F.; AYA, Z., A fuzzy AHP-PROMETHEE II approach for evaluation of solar power plant location alternatives in Turkey, **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 17, p. 1064-1246, 2017.

SAMPAIO, P. G. V.; GONZÁLEZ, M. O. A., PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY: CONCEPTUAL FRAMEWORK, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74 p. 590–601, 2017.

SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; ANTUNES, C. H.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; DIAS, L. C., Gis-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, southeast, **Renewable Energy**, v. 66, p. 478-494, 2014.

SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; LAMATA, M. T., Evaluation of suitable locations for the installation of solar thermoelectric power plants, **Computers & Industrial Engineering**, v. 87, p. 343–355, 2015.

SANCHEZ-LOZANO, J. M.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; LAMATA, M. T., Comparative TOPSIS-ELECTRE TRI methods for optimal sites for photovoltaic solar farms. Case study in Spain, **Journal of Cleaner Production**, v. 127, p. 387-398, 2016.

SANSANIWAL, S. K.; SHARMA, V.; MATHUR, J., Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 1576-1601, 2018.

SARASWAT, S. K.; DIGALWAR, A. K.; YADAV, S. S.; KUMAR, G., MCDM and GIS based modelling technique for assessment of solar and wind farm locations in India, **Renewable Energy**, v. 169, p. 865-884, 2021.

SETTOU, B.; SETTOU, N.; GOUAREH, A.; NEGROU, B.; MOKHTARA, C.; MESSAOUDI, D., A high-resolution geographic information system-analytical hierarchy process-based method for solar PV power plant site selection: a case study Algeria, **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 23, p. 219-234, 2021.

SETTOU, B.; SETTOU, N.; GAHRAR, Y.; NEGROU, B.; BOUFERROUK, A.; GOUAREH, A.; MOKHTARA, C., Geographic information-driven two-stage optimization model for location decision of solar power plant: A case study of an Algerian municipality, **Sustainable Cities and Society**, v. 77, p. 103567, 2022.

SHAHSAVARI, A., AKBARI, M., Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, p. 275-291, 2018.

SHORABEH, S. N.; FIROZJAEI, M. K.; NEMATOLLAHI, O.; FIROZJAEI, H. K.; JELOKHANI-NIARAKI, M., A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran, **Renewable Energy**, v. 143, p. 958-973, 2019.

SHRIKI, N.; RABINOVICI, R.; YAHAV, K.; RUBIN, O., Prioritizing suitable locations for national-scale solar PV installations: Israel's site suitability analysis as a case study, **Renewable Energy**, v. 205, p. 105-124, 2023.

SIPAHI, S.; TIMOR, M., The analytic hierarchy process and analytic network process: an overview of applications. **Management Decision**, v. 48, p 775-808, 2010

SOLARPRIME, 2019, Descubra quais fatores influenciam na geração de energia solar, 2019. Disponível em: <<https://solarprime.com.br/descubra-quais-os-fatores-que-influenciam-na-geracao-de-energia-solar/>> Acessado em: 16/10/2022.

SPYRIDONIDOU, S.; SISMANI, G.; LOUKOGEORGAKI, E.; VAGIONA, D. G.; ULANOVSKY, H.; MADAR, D., Sustainable spatial energy planning of large-scale wind and PV farms in Israel: A collaborative and participatory planning approach, **Energies** v. 14 p. 551, 2021.

SPYRIDONIDOU, S.; LOUKOGEORGAKI, E.; VAGIONA, D. G.; BERTRAND, T., Towards a Sustainable Spatial Planning Approach for PV Site Selection in Portugal, **Energies**, v. 15, p. 8515, 2022.

SUN, L.; JIANG, Y.; GUO, Q.; JI, L.; XIE, Y.; QIAO, Q.; HUANG, G.; XIAO, K., A GIS-based multi-criteria decision making method for the potential assessment and suitable sites selection of PV and CSP plants, **Resources, Conservation & Recycling**, v. 168, p. 105306, 2021.

SUURONEN, A.; LENSU, A.; KUITUNEN, M.; ANDRADE-ALVEAR, R.; CELIS, N. G.; MIRANDA, M.; PEREZ, M.; KUKKONEN, J. V. K., Optimization of photovoltaic solar power plant locations in northern Chile, **Environmental Earth Sciences**, v. 76, p. 824, 2017.

TAHRI, M.; HAKDAOUI, M.; MAANAN, M., The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, p. 1354–1362, 2015.

TAVANA, M.; ARTEAGA, F. J. S.; MOHAMMADI, S.; ALIMOHAMMADI, M., A fuzzy multi-criteria spatial decision support system for solar farm location planning, **Energy Strategy Reviews**, v. 18, p.93-105, 2017.

TERCAN, E.; SARACOGLU, B. O.; BILGILIOĞLU, S. S.; EYMEN, A.; TAPKIN, S., Geographic information system-based investment system for photovoltaic power plants location analysis in Turkey, **Environ Monit Assess**, p. 192: 297, 2020.

TURK, S.; KOÇ, A.; SAHIN, S., Multi-criteria of PV solar site selection problem using GIS-intuitionistic fuzzy based approach in Erzurum province – Turkey, **Scientific Reports**, v. 11, p 5034, 2021.

UYAN, M., Optimal site selection for solar power plants using multi-criteria evaluation: A case study from the Ayranci region in Karaman, Turkey , **Clean Techn Environ Policy**, v. 19, p. 2231–2244, 2017.

YÜKSEL, İ.; DAGDEVIREN, M., Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis–A case study for a textile firm. **Information Sciences**, v. 177, n. 16, p. 3364-3382, 2007.

VAGIONA, D. G., Comparative Multicriteria Analysis Methods for Ranking Sites for Solar Farm Deployment: A Case Study in Greece, **Energies**, V. 14(24), P. 8371, 2021.

VAZ DE ALMEIDA, M.; FERREIRA, J. J. M.; FERREIRA, F. A. F., Developing a multi-criteria decision support system for evaluating knowledge transfer by higher education institutions, **Knowledge Management Research & Practice**, 2018.

VILLACRESES, G.; JIJÓN, D.; NICOLALDE, J. F.; MARTÍNEZ-GÓMEZ, J.; BETANCOURT, F., Multicriteria Decision Analysis of Suitable Location for Wind and Photovoltaic Power Plants on the Galápagos Islands, **Energies**, v. 16, p. 29, 2023.

WANG, C. N.; NGUYEN, V. T.; THAI, H. T. N.; DUONG, D. H., Multi-criteria decision making (MCDM) approaches for solar power plant location selection in Viet Nam, **Energies**, v. 11, p. 1504, 2018.

WANG, C.; DANG, T.; NGUYEN, N.; WANG, J., A combined Data Envelopment Analysis (DEA) and Grey Based Multiple Criteria Decision Making (G-MCDM) for solar PV power plants site selection: A case study in Vietnam, **Energy Reports**, V. 8, P. 1124-1142, 2022.

WATSON, J. J. W.; HUDSON, M. D., Regional Scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation, **Landscape and Urban Planning**, v.138, p, 20–31, 2015

ZAMBRANO-ASANZA, S.; QUIROS-TORTOS, J.; FRANCO, J. F., Optimal site selection for photovoltaic power plants using a GIS-based multi-criteria decision making and spatial overlay with electric load, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 143, p. 110853, 2021.

ZOGHI, M.; EHSANI, A. H.; SADAT, M.; AMIRI, M. J.; KARIMI, S., Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN, **Renewable and Sustainable Energy Review**, v.68, p. 986-996, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE

Você está sendo convidado a participar como voluntário do projeto de pesquisa do curso de pós-graduação em nível de mestrado acadêmico em Engenharia de Produção, na área de pesquisa operacional, sub área métodos de análise e decisão multicritério, sob responsabilidade do mestrando Ronaldo R. Saccardo.

A pesquisa terá como objetivos: Caracterizar quais são os fatores determinantes para a escolha do local para a implantação de uma usina de geração de energia fotovoltaica em escala de utilidade (geração centralizada); e mapear, mensurar e analisar onde situam-se os melhores locais para o estabelecimento deste tipo de empreendimento.

Este estudo se justifica pelo atual estágio de desenvolvimento desta tecnologia que a cada dia está ganhando mais espaço e se consolidando, onde a expectativa é que se torne uma das principais fontes de energia elétrica do futuro, dependendo para isso de espaço físico com condições propícias para instalação.

Como benefícios deste trabalho podemos apontar a geração de uma lista indicativa de locais mais propícios para a instalação deste tipo de empreendimento, podendo esta lista justificar a concentração atual observada, contrariar a mesma ou indicar novos locais ideais para investimento, ampliando o horizonte de locais ora observado.

Com relação ao método de estudo, este será conduzido por meio de duas etapas: a primeira etapa refere-se à aplicação de entrevistas com a posterior complementação das mesmas, através de um subsequente questionário; já a segunda etapa refere-se uma análise dos resultados das entrevistas e questionários, onde o resultado das entrevistas e do questionário se tornará a base para o desenvolvimento do projeto.

Nesta primeira etapa do estudo você está sendo convidado a participar da entrevista voluntária que se baseará acerca dos fatores (critérios) que fazem um local ser considerado não apropriado (critérios de exclusão) e acerca dos fatores que fazem um local ser considerado apropriado e desejado para a instalação de um empreendimento deste tipo.

Sua colaboração irá auxiliar na compreensão do processo de escolha do local mais adequado para este tipo de empreendimento.

Fica desde já assegurado, que seu nome e seus dados não serão divulgados, pois haverá sigilo das informações por parte dos pesquisadores.

Este estudo está respaldado na Resolução 466/2012 criada pelo Conselho Nacional de Saúde, o qual preconiza a segurança e proteção dos participantes de pesquisas que envolvem seres humanos.

É importante salientar que a sua participação na pesquisa é voluntária, portanto, caso não queira participar basta relatar ao entrevistador sobre sua decisão. Você também pode retirar seu consentimento em qualquer etapa da pesquisa, entrando em contato com o pesquisador responsável por meio de telefone e/ou e-mail, sem que isso acarrete prejuízos a você e ao estudo.

Os resultados globais desta pesquisa se tornarão públicos, podendo fazer parte de publicação em congressos ou em publicações científicas, além de fazer parte da dissertação de mestrado do responsável pela pesquisa, com a ressalva que será resguardado o anonimato dos participantes.

Ao concordar em participar da pesquisa, você declara que está de acordo com este termo; que está ciente da liberdade de participar ou não da pesquisa, bem como do seu direito de deixar de participar do estudo, sem que isto lhe traga qualquer prejuízo; que tem o direito de receber resposta a qualquer dúvida acerca dos procedimentos e outros assuntos relacionados com a pesquisa; e que não haverá divulgação de dados pessoais.

Diante das explicações, se você concorda em participar deste projeto, forneça os dados solicitados e coloque sua assinatura a seguir.

Nome: _____ R.G. _____

Endereço Eletrônico: _____ Fone: _____

_____, _____ de _____ de 20__

APÊNDICE B - Primeira Entrevista com o Decisor

Apresentação:

Apresentação pessoal,

Apresentação da Unesp,

Apresentação do trabalho

Solicitar o consentimento pelo TCLE

Início da Entrevista:

1 – Dando início a nossa entrevista, você poderia, por favor, se apresentar, me dizendo um pouco de você, por exemplo, sua formação, seu cargo, quanto tempo trabalha com energia fotovoltaica e também falar um pouquinho da empresa onde trabalha?

2 - Dentro da energia fotovoltaica, você trabalha com geração centralizada, geração distribuída, ou com ambas?

3 - Na sua opinião, o que se procura, quando se decide investir em um projeto de uma usina fotovoltaica?

4 - O que se leva em conta / o que se valoriza quando se toma a decisão de investir em um projeto de uma usina fotovoltaica?

5 – Como ocorre a decisão pela escolha de um local para a implementação de uma usina fotovoltaica centralizada?

6 - Considerando um leque de opções de investimento. O que seria mais interessante, escolher, classificar ou ordenar

(**Escolher** = optar entre uma coisa e outra, preferir, selecionar, eleger; **Classificar** = reunir em classes e nos grupos respectivos; **Ordenar** = arrumar, dispor, colocar em ordem)

7 - Na sua opinião, que características fazem de um local ser classificado como inadequado?

8 - Pensando agora nos locais adequados, o que é levado em conta para se decidir entre um ou outro local?

9 - Na sua opinião, o que seria uma alternativa excelente de local para a instalação de uma usina fotovoltaica?

10 - Há alguma coisa que o senhor gostaria de acrescentar na entrevista antes de encerrarmos?

Fim da entrevista

APÊNDICE C - Segunda Entrevista com o Decisor

Agradecimento:

Pela disponibilização do tempo,

Pela disponibilização do conhecimento

Início da Entrevista:

1 – Validação dos critérios norteadores da delimitação inicial da área de estudos

2 - Apresentação da lista de critérios de exclusão e validação dos mesmos

3 - Apresentação da lista de critérios de seleção e validação dos mesmos

4 - Discussão para se ter o entendimento de como o decisor utiliza os critérios de seleção e em que ordem os utiliza em seu dia a dia

Feito o encerramento da entrevista perguntando se há alguma coisa que o decisor gostaria de acrescentar à entrevista?

Fim da entrevista

APÊNDICE D - Lista de Critérios de Exclusão / Autor

Critério	Autores
Baixo Índice de Irradiação Solar	(Albraheem; Alabdulkarim, 2021); (Ali <i>et al.</i> , 2019); (Aly <i>et al.</i> , 2017); (Asakereh <i>et al.</i> , 2017); (Elkadeem <i>et al.</i> , 2021); (Habib <i>et al.</i> , 2020); (Ouchani <i>et al.</i> , 2021); (Saraswat <i>et al.</i> , 2021); (Settou <i>et al.</i> , 2021); (Spyridonidou <i>et al.</i> , 2021)
Longa Distância da Linha de Transmissão	(Albraheem; Alabdulkarim, 2021); (Ali <i>et al.</i> , 2019); (Asakereh <i>et al.</i> , 2017); (Elkadeem <i>et al.</i> , 2021); (Ghasemi <i>et al.</i> , 2019); (Gunen, 2021a); (Habib <i>et al.</i> , 2020); (Khazael; Al-Bakri, 2021); (Kircali; Selim, 2021); (Mokarram <i>et al.</i> , 2020); (Ouchani <i>et al.</i> , 2021); (Ruiz <i>et al.</i> , 2020); (Saraswat <i>et al.</i> , 2021); (Settou <i>et al.</i> , 2021); (Settou <i>et al.</i> , 2022); (Spyridonidou <i>et al.</i> , 2021)
Áreas Protegidas	(Abdel-Basset <i>et al.</i> , 2021); (Al Garni; Awasthi, 2017); (Alhammadet <i>et al.</i> , 2022); (Ali <i>et al.</i> , 2019); (Aly <i>et al.</i> , 2017); (Asadi; Pourhossein, 2021); (Asakereh <i>et al.</i> , 2017); (Castillo <i>et al.</i> , 2016); (Charabi; Gastli, 2011); (Díaz Cuevas <i>et al.</i> , 2018); (Doljak; Stanojevi, 2017); (Doorga <i>et al.</i> , 2019); (Elkadeem <i>et al.</i> , 2021); (Finn; McKenzie, 2020); (Georgiou; Skarlatos, 2016); (Ghasemi <i>et al.</i> , 2019); (Ghose <i>et al.</i> , 2020); (Giamalaki; Tsoutsos, 2019); (Gunen, 2021a); (Gunen, 2021b); (Hashemizadeh <i>et al.</i> , 2020); (Khazael; Al-Bakri, 2021); (Kircali; Selim, 2021); (Koc <i>et al.</i> , 2019); (Marques-Perez <i>et al.</i> , 2020); (Merrouni <i>et al.</i> , 2018); (Naseri <i>et al.</i> , 2021); (Noorollahi <i>et al.</i> , 2022); (Ouchani <i>et al.</i> , 2021); (Ozdemir; Sahin, 2018); (Prieto-Amparan <i>et al.</i> , 2021); (Rediske <i>et al.</i> , 2020); (Rios; Duarte, 2021); (Ruiz <i>et al.</i> , 2020); (Sanchez-Lozano <i>et al.</i> , 2014); (Sánchez-Lozano <i>et al.</i> , 2015); (Sanchez-Lozano <i>et al.</i> , 2016); (Saraswat <i>et al.</i> , 2021); (Settou <i>et al.</i> , 2022); (Shorabeh <i>et al.</i> , 2019); (Spyridonidou <i>et al.</i> , 2021); (Sun <i>et al.</i> , 2021); (Suuronen <i>et al.</i> , 2017); (Tahri <i>et al.</i> , 2015); (Tercan <i>et al.</i> , 2020); (Uyan, 2017); (Vagiona, 2021); (Wang <i>et al.</i> , 2018); (Watson; Hudson, 2015); (Yimen; Dagbasi, 2019); (Zambrano-Asanza <i>et al.</i> , 2021); (Zoghi <i>et al.</i> , 2017)
Áreas Urbanas	(Al Garni; Awasthi, 2017); (Albraheem; Alabdulkarim, 2021); (Ali <i>et al.</i> , 2019); (Aly <i>et al.</i> , 2017); (Asakereh <i>et al.</i> , 2017); (Castillo <i>et al.</i> , 2016); (Charabi; Gastli, 2011); (Díaz Cuevas <i>et al.</i> , 2018); (Doljak; Stanojevi, 2017); (Doorga <i>et al.</i> , 2019); (Elkadeem <i>et al.</i> , 2021); (Finn; McKenzie, 2020); (Furtado; Sola, 2020); (Georgiou; Skarlatos, 2016); (Ghasemi <i>et al.</i> , 2019); (Ghose <i>et al.</i> , 2020); (Giamalaki; Tsoutsos, 2019); (Gunen, 2021a); (Gunen, 2021b); (Habib <i>et al.</i> , 2020); (Hashemizadeh <i>et al.</i> , 2020); (Khazael; Al-Bakri, 2021); (Kircali; Selim, 2021); (Koc <i>et al.</i> , 2019); (Marques-Perez <i>et al.</i> , 2020); (Merrouni <i>et al.</i> , 2018); (Mokarram <i>et al.</i> , 2020); (Naseri <i>et al.</i> , 2021); (Ouchani <i>et al.</i> , 2021); (Prieto-Amparan <i>et al.</i> , 2021); (Rediske <i>et al.</i> , 2020); (Rios; Duarte, 2021); (Ruiz <i>et al.</i> , 2020); (Sanchez-Lozano <i>et al.</i> , 2014); (Sánchez-Lozano <i>et al.</i> , 2015); (Sanchez-Lozano <i>et al.</i> , 2016); (Saraswat <i>et al.</i> , 2021); (Settou <i>et al.</i> , 2021); (Settou <i>et al.</i> , 2022); (Shorabeh <i>et al.</i> , 2019); (Sun <i>et al.</i> , 2021); (Tahri <i>et al.</i> , 2015); (Tercan <i>et al.</i> , 2020); (Uyan, 2017); (Watson; Hudson, 2015); (Zambrano-Asanza <i>et al.</i> , 2021); (Zoghi <i>et al.</i> , 2017)

Vias de Transporte	(Al Garni; Awasthi, 2017); (Albraheem; Alabdulkarim, 2021); (Alhammadet <i>et al.</i> , 2022); (Ali <i>et al.</i> , 2019); (Asakereh <i>et al.</i> , 2017); (Castillo <i>et al.</i> , 2016); (Charabi; Gastli, 2011); (Díaz Cuevas <i>et al.</i> , 2018); (Doljak; Stanojevi, 2017); (Elkadeem <i>et al.</i> , 2021); (Finn; McKenzie, 2020); (Georgiou; Skarlatos, 2016); (Ghasemi <i>et al.</i> , 2019); (Gunen, 2021a); (Gunen, 2021b); (Habib <i>et al.</i> , 2020); (Hashemizadeh <i>et al.</i> , 2020); (Khazael; Al-Bakri, 2021); (Kircali; Selim, 2021); (Marques-Perez <i>et al.</i> , 2020); (Merrouni <i>et al.</i> , 2018); (Mokarram <i>et al.</i> , 2020); (Naseri <i>et al.</i> , 2021); (Ouchani <i>et al.</i> , 2021); (Rediske <i>et al.</i> , 2020); (Rios; Duarte, 2021); (Ruiz <i>et al.</i> , 2020); (Sanchez-Lozano <i>et al.</i> , 2014); (Sánchez-Lozano <i>et al.</i> , 2015); (Sanchez-Lozano <i>et al.</i> , 2016); (Saraswat <i>et al.</i> , 2021); (Settou <i>et al.</i> , 2021); (Settou <i>et al.</i> , 2022); (Shorabeh <i>et al.</i> , 2019); (Spyridonidou <i>et al.</i> , 2021); (Sun <i>et al.</i> , 2021); (Tercan <i>et al.</i> , 2020); (Uyan, 2017); (Vagiona, 2021); (Zambrano-Asanza <i>et al.</i> , 2021); (Zoghi <i>et al.</i> , 2017)
Cobertura e Uso da Terra	(Alhammadet <i>et al.</i> , 2022); (Ali <i>et al.</i> , 2019); (Aly <i>et al.</i> , 2017); (Asakereh <i>et al.</i> , 2017); (Castillo <i>et al.</i> , 2016); (Charabi; Gastli, 2011); (Díaz Cuevas <i>et al.</i> , 2018); (Doljak; Stanojevi, 2017); (Doorga <i>et al.</i> , 2019); (Elkadeem <i>et al.</i> , 2021); (Finn; McKenzie, 2020); (Furtado; Sola, 2020); (Ghasemi <i>et al.</i> , 2019); (Ghose <i>et al.</i> , 2020); (Gunen, 2021a); (Gunen, 2021b); (Habib <i>et al.</i> , 2020); (Khazael; Al-Bakri, 2021); (Kircali; Selim, 2021); (Koc <i>et al.</i> , 2019); (Marques-Perez <i>et al.</i> , 2020); (Noorollahi <i>et al.</i> , 2022); (Ouchani <i>et al.</i> , 2021); (Rios; Duarte, 2021); (Ruiz <i>et al.</i> , 2020); (Sanchez-Lozano <i>et al.</i> , 2014); (Sánchez-Lozano <i>et al.</i> , 2015); (Sanchez-Lozano <i>et al.</i> , 2016); (Saraswat <i>et al.</i> , 2021); (Settou <i>et al.</i> , 2021); (Settou <i>et al.</i> , 2022); (Shorabeh <i>et al.</i> , 2019); (Spyridonidou <i>et al.</i> , 2021); (Sun <i>et al.</i> , 2021); (Suuronen <i>et al.</i> , 2017); (Tercan <i>et al.</i> , 2020); (Vagiona, 2021); (Watson; Hudson, 2015); (Zambrano-Asanza <i>et al.</i> , 2021); (Zoghi <i>et al.</i> , 2017)
Recursos Hídricos	(Ali <i>et al.</i> , 2019); (Aly <i>et al.</i> , 2017); (Asakereh <i>et al.</i> , 2017); (Castillo <i>et al.</i> , 2016); (Charabi; Gastli, 2011); (Díaz Cuevas <i>et al.</i> , 2018); (Doljak; Stanojevi, 2017); (Doorga <i>et al.</i> , 2019); (Elkadeem <i>et al.</i> , 2021); (Finn; McKenzie, 2020); (Georgiou; Skarlatos, 2016); (Ghasemi <i>et al.</i> , 2019); (Ghose <i>et al.</i> , 2020); (Gunen, 2021a); (Gunen, 2021b); (Hashemizadeh <i>et al.</i> , 2020); (Khazael; Al-Bakri, 2021); (Kircali; Selim, 2021); (Koc <i>et al.</i> , 2019); (Merrouni <i>et al.</i> , 2018); (Naseri <i>et al.</i> , 2021); (Noorollahi <i>et al.</i> , 2022); (Ouchani <i>et al.</i> , 2021); (Prieto-Amparan <i>et al.</i> , 2021); (Rediske <i>et al.</i> , 2020); (Rios; Duarte, 2021); (Ruiz <i>et al.</i> , 2020); (Sanchez-Lozano <i>et al.</i> , 2014); (Sánchez-Lozano <i>et al.</i> , 2015); (Sanchez-Lozano <i>et al.</i> , 2016); (Saraswat <i>et al.</i> , 2021); (Settou <i>et al.</i> , 2022); (Spyridonidou <i>et al.</i> , 2021); (Sun <i>et al.</i> , 2021); (Suuronen <i>et al.</i> , 2017); (Tercan <i>et al.</i> , 2020); (Uyan, 2017); (Zambrano-Asanza <i>et al.</i> , 2021); (Zoghi <i>et al.</i> , 2017)
Área Geologicamente Inadequada	(Al Garni; Awasthi, 2017); (Albraheem; Alabdulkarim, 2021); (Ali <i>et al.</i> , 2019); (Aly <i>et al.</i> , 2017); (Asakereh <i>et al.</i> , 2017); (Castillo <i>et al.</i> , 2016); (Charabi; Gastli, 2011); (Díaz Cuevas <i>et al.</i> , 2018); (Doljak; Stanojevi, 2017); (Elkadeem <i>et al.</i> , 2021); (Hashemizadeh <i>et al.</i> , 2020); (Khazael; Al-Bakri, 2021); (Koc <i>et al.</i> , 2019); (Marques-Perez <i>et al.</i> , 2020); (Merrouni <i>et al.</i> , 2018); (Naseri <i>et al.</i> , 2021); (Noorollahi <i>et al.</i> , 2022); (Ouchani <i>et al.</i> , 2021); (Prieto-Amparan <i>et al.</i> , 2021); (Rediske <i>et al.</i> , 2020); (Rios; Duarte, 2021); (Ruiz <i>et al.</i> , 2020); (Sanchez-Lozano <i>et al.</i> , 2014); (Sánchez-Lozano <i>et al.</i> , 2015); (Sanchez-Lozano <i>et al.</i> , 2016); (Saraswat <i>et al.</i> , 2021); (Settou <i>et al.</i> , 2022); (Spyridonidou <i>et al.</i> , 2021); (Sun <i>et al.</i> , 2021); (Suuronen <i>et al.</i> , 2017); (Tercan <i>et al.</i> , 2020); (Uyan, 2017); (Zambrano-Asanza <i>et al.</i> , 2021); (Zoghi <i>et al.</i> , 2017)

	<i>et al.</i> , 2020); (Rios; Duarte, 2021); (Sánchez-Lozano <i>et al.</i> , 2015); (Sanchez-Lozano <i>et al.</i> , 2016); (Saraswat <i>et al.</i> , 2021); (Settou <i>et al.</i> , 2021); (Settou <i>et al.</i> , 2022); (Shorabeh <i>et al.</i> , 2019); (Spyridonidou <i>et al.</i> , 2021); (Sun <i>et al.</i> , 2021); (Tercan <i>et al.</i> , 2020); (Watson; Hudson, 2015); (Zambrano-Asanza <i>et al.</i> , 2021)
Área de Sombra e Sujeira	(Abdel-Basset <i>et al.</i> , 2021); (Akkas <i>et al.</i> , 2017); (Ali <i>et al.</i> , 2019); (Asakereh <i>et al.</i> , 2017); (Charabi; Gastli, 2011); (Doljak; Stanojevi, 2017); (Doorga <i>et al.</i> , 2019); (Elkadeem <i>et al.</i> , 2021); (Ghose <i>et al.</i> , 2020); (Gunen, 2021b); (Habib <i>et al.</i> , 2020); (Hashemizadeh <i>et al.</i> , 2020); (Malemnganbi.; Shimray, 2022); (Marques-Perez <i>et al.</i> , 2020); (Mokarram <i>et al.</i> , 2020); (Naseri <i>et al.</i> , 2021); (Noorollahi <i>et al.</i> , 2022); (Ozdemir; Sahin, 2018); (Prieto-Amparan <i>et al.</i> , 2021); (Ruiz <i>et al.</i> , 2020); (Samanlioglu; Aya, 2017); (Sanchez-Lozano <i>et al.</i> , 2016); (Saraswat <i>et al.</i> , 2021); (Shorabeh <i>et al.</i> , 2019); (Spyridonidou <i>et al.</i> , 2021); (Turk <i>et al.</i> , 2021); (Vagiona, 2021); (Wang <i>et al.</i> , 2018); (Wang <i>et al.</i> , 2022); (Zoghi <i>et al.</i> , 2017)

Apêndice E - Lista de Critérios de Seleção / Autor

Categoria	Critério	Autores
Climático	Irradiação Solar	(Dehshiri; Firoozabadi, 2023); (Abdel-Basset M.; et al. 2021); (Ahadi et al., 2023); (Akkas, O. P.; et al 2017); (Al Garni, H. Z.; Awasthi, A. 2017); (Alanazi; Alanazi, 2023); (Albraheem L.; Alabdulkarim L. 2021); (Alhammad A.; et al 2022); (Ali S.; et al. 2019); (Almasad et al., 2023); (Aly A.; et al. 2017); (Arca et al., 2023); (Asadi M.; Pourhossein K. 2021); (Asakereh, A.; et al 2017); (Ayough et al., 2022); (Azmi et al., 2022); (Bandira et al., 2022); (Boran F.E.; et al 2010); (Charabi Y.; Gastli A. 2011); (Chen C.-R.; et al 2014); (Díaz Cuevas, P; et al 2018); (Doljak, D.; Stanojevi, G. 2017); (Doorga, J. R. S.; et al 2019); (Elkadeem M.R.; et al. 2021); (Eslami et al., 2023); (Fard et al., 2022); (Finn, T; McKenzie, P. 2020); (Furtado P.A.X.; Sola A.V.H. 2020); (Georgiou A.; Skarlatos D. 2016); (Ghasemi et al., 2019); (Ghose, D.; et al 2020); (Giamalaki M.; Tsoutsos T. 2019); (Gunen M.A. 2021a); (Gunen M.A. 2021b); (Habib S.M.; et al. 2020); (Halder et al., 2022); (Hashemizadeh A.; et al. 2020); (Hassanet et al ., 2023); (Hasti et al., 2023); (Hooshang et al., 2023); (Imamverdiev, 2022); (Khazael S.M.; Al-Bakri M. 2021); (Kircali S.; Selim S. 2021); (Koc A.; et al. 2019); (Kocabaldir; Yucel, 2023); (Liu, J.; et al 2017); (Malemnganbi R.; Shimray B.A. 2022); (Marques-Perez, I.; et al 2020); (Merrouni, A. A.; et al 2018); (Mian et al., 2023); (Mirzaei, 2022); (Mokarram, M; et al 2020); (Naseri M.; et al 2021); (Nhi et al., 2022); (Noorollahi Y.; et al 2022); (Ouchani F.-Z.; et al. 2021); (Ozdemir S.; Sahin G. 2018); (Prieto-Amparan J.A.; et al. 2021); (Qutaina et al., 2023); (Raza et al., 2023); (Rediske, G.; et al 2020); (Rekik; El Alimi, 2023); (Rios R.; Duarte S. 2021); (Ruiz H.S.; et al. 2020); (Sanchez-Lozano J.M.; et al. 2014); (Sanchez-Lozano, J. M.; et al 2016); (Sanchez-Lozano, L. M.; et al 2015); (Saraswat S.K.; et al. 2021); (Settou, B.; et al 2021); (Shorabeh, S. N.; et al 2019); (Spyridonidou et al., 2022); (Spyridonidou S.; et al. 2021); (Sun, L.; et al 2021); (Suuronen,

		A.; et al 2017); (Tahri, M.; et al 2015); (Tavana, M.; et al 2017); (Tercan E.; et al. 2020); (Turk S.; et al. 2021); (Vagiona D.G. 2021); (Villacreses et al., 2023); (Wang C.-N.; et al 2022); (Wang C.-N.; et al. 2018); (Watson J.J.W.; Hudson M.D. 2015); (Yimen N.; Dagbasi M. 2019); (Zambrano-Asanza S.; et al 2021); (Zoghi, M.; et al 2017);
Climático	Temperatura	(Ahadi et al., 2023); (Akkas, O. P.; et al 2017); (Al Garni, H. Z.; Awasthi, A. 2017); (Alanazi; Alanazi, 2023); (Albraheem L.; Alabdulkarim L. 2021); (Almasad et al., 2023); (Azmi et al., 2022); (Bandira et al., 2022); (Boran F.E.; et al 2010); (Chen C.-R.; et al 2014); (Dahooie et al., 2022); (Dehshiri; Firoozabadi, 2023); (Díaz Cuevas, P; et al 2018); (Doljak, D.; Stanojevi, G. 2017); (Doorga, J. R. S.; et al 2019); (Eslami et al., 2023); (Fard et al., 2022); (Furtado P.A.X.; Sola A.V.H. 2020); (Ghasemi et al., 2019); (Ghose, D.; et al 2020); (Gunen M.A. 2021b); (Habib S.M.; et al. 2020); (Halder et al., 2022); (Hashemizadeh A.; et al. 2020); (Hassanet et al ., 2023); (Hasti et al., 2023); (Hooshang et al., 2023); (Khazael S.M.; Al-Bakri M. 2021); (Kircali S.; Selim S. 2021); (Koc A.; et al. 2019); (Kocabaldir; Yucel, 2023); (Liu, J.; et al 2017); (Malemnganbi R.; Shimray B.A. 2022); (Marques-Perez, I.; et al 2020); (Mian et al., 2023); (Mirzaei, 2022); (Mokarram, M; et al 2020); (Noorollahi Y.; et al 2022); (Ouchani F.-Z.; et al. 2021); (Ozdemir S.; Sahin G. 2018); (Prieto-Amparan J.A.; et al. 2021); (Raza et al., 2023); (Rekik; El Alimi, 2023); (Ruiz H.S.; et al. 2020); (Sanchez-Lozano J.M.; et al. 2014); (Sanchez-Lozano, J. M.; et al 2016); (Sanchez-Lozano, L. M.; et al 2015); (Shorabeh, S. N.; et al 2019); (Spyridonidou et al., 2022); (Spyridonidou S.; et al. 2021); (Sun, L.; et al 2021); (Suuronen, A.; et al 2017); (Tahri, M.; et al 2015); (Turk S.; et al. 2021); (Wang C.-N.; et al 2022); (Wang C.-N.; et al. 2018); (Yimen N.; Dagbasi M. 2019); (Zambrano-Asanza S.; et al 2021)

Geográfico	Inclinação	(Albraheem L.; Alabdulkarim L. 2021); (Ali S.; et al. 2019); (Ayough et al., 2022); (Azmi et al., 2022); (Bandira et al., 2022); (Boran F.E.; et al 2010); (Dahooie et al., 2022); (Doorga, J. R. S.; et al 2019); (Elkadeem M.R.; et al. 2021); (Eslami et al., 2023); (Fard et al., 2022); (Georgiou A.; Skarlatos D. 2016); (Giamalaki M.; Tsoutsos T. 2019); (Halder et al., 2022); (Hasti et al., 2023); (Khazael S.M.; Al-Bakri M. 2021); (Kircali S.; Selim S. 2021); (Koc A.; et al. 2019); (Liu, J.; et al 2017); (Marques-Perez, I.; et al 2020); (Mian et al., 2023); (Mokarram, M; et al 2020); (Noorollahi Y.; et al 2022); (Qutaina et al., 2023); (Ruiz H.S.; et al. 2020); (Saraswat S.K.; et al. 2021); (Spyridonidou et al., 2022); (Spyridonidou S.; et al. 2021); (Tercan E.; et al. 2020); (Turk S.; et al. 2021); (Villacreses et al., 2023); (Wang C.-N.; et al 2022); (Wang C.-N.; et al. 2018); (Zoghi, M.; et al 2017)
Geográfico	Elevação	(Akkas, O. P.; et al 2017); (Al Garni, H. Z.; Awasthi, A. 2017); (Albraheem L.; Alabdulkarim L. 2021); (Alhammad A.; et al 2022); (Ali S.; et al. 2019); (Almasad et al., 2023); (Arca et al., 2023); (Asadi M.; Pourhossein K. 2021); (Ayough et al., 2022); (Azmi et al., 2022); (Bandira et al., 2022); (Boran F.E.; et al 2010); (Charabi Y.; Gastli A. 2011); (Chen C.-R.; et al 2014); (Dahooie et al., 2022); (Dehshiri; Firoozabadi, 2023); (Díaz Cuevas, P; et al 2018); (Doljak, D.; Stanojevi, G. 2017); (Doorga, J. R. S.; et al 2019); (Elkadeem M.R.; et al. 2021); (Eslami et al., 2023); (Fard et al., 2022); (Finn, T; McKenzie, P. 2020); (Furtado P.A.X.; Sola A.V.H. 2020); (Georgiou A.; Skarlatos D. 2016); (Ghasemi et al., 2019); (Ghose, D.; et al 2020); (Giamalaki M.; Tsoutsos T. 2019); (Gunen M.A. 2021a); (Gunen M.A. 2021b); (Habib S.M.; et al. 2020); (Halder et al., 2022); (Hashemizadeh A.; et al. 2020); (Hasti et al., 2023); (Hooshang et al., 2023); (Imamverdiev, 2022); (Khazael S.M.; Al-Bakri M. 2021); (Kircali S.; Selim S. 2021); (Koc A.; et al. 2019); (Kocabaldır; Yucel, 2023); (Marques-Perez, I.; et al 2020); (Merrouni, A. A.; et al 2018); (Mian et al., 2023); (Mokarram, M; et al 2020); (Naseri M.; et al 2021); (Nhi et al.,

		2022); (Noorollahi Y.; et al 2022); (Ouchani F.-Z.; et al. 2021); (Ozdemir S.; Sahin G. 2018); (Prieto-Amparan J.A.; et al. 2021); (Qutaina et al., 2023); (Raza et al., 2023); (Rediske, G.; et al 2020); (Rekik; El Alimi, 2023); (Rios R.; Duarte S. 2021); (Ruiz H.S.; et al. 2020); (Sanchez-Lozano J.M.; et al. 2014); (Sanchez-Lozano, J. M.; et al 2016); (Sanchez-Lozano, L. M.; et al 2015); (Saraswat S.K.; et al. 2021); (Settou B.; et al 2022); (Settou, B.; et al 2021); (Shorabeh, S. N.; et al 2019); (Shriki et al., 2023); (Spyridonidou et al., 2022); (Spyridonidou S.; et al. 2021); (Sun, L.; et al 2021); (Suuronen, A.; et al 2017); (Tahri, M.; et al 2015); (Tercan E.; et al. 2020); (Turk S.; et al. 2021); (Uyan, M. 2017); (Watson J.J.W.; Hudson M.D. 2015); (Zambrano-Asanza S.; et al 2021); (Zoghi, M.; et al 2017)
Infraestrutura	Distância da Rede de Conexão	(Abdel-Basset M.; et al. 2021); (Akkas, O. P.; et al 2017); (Al Garni, H. Z.; Awasthi, A. 2017); (Albraheem L.; Alabdulkarim L. 2021); (Alhammad A.; et al 2022); (Ali S.; et al. 2019); (Almasad et al., 2023); (Aly A.; et al. 2017); (Arca et al., 2023); (Asadi M.; Pourhossein K. 2021); (Ayough et al., 2022); (Azmi et al., 2022); (Bandira et al., 2022); (Charabi Y.; Gastli A. 2011); (Chen C.-R.; et al 2014); (Dahooie et al., 2022); (Dehshiri; Firoozabadi, 2023); (Díaz Cuevas, P; et al 2018); (Doorga, J. R. S.; et al 2019); (Elkadeem M.R.; et al. 2021); (Eslami et al., 2023); (Fard et al., 2022); (Georgiou A.; Skarlatos D. 2016); (Ghasemi et al., 2019); (Ghose, D.; et al 2020); (Giamalaki M.; Tsoutsos T. 2019); (Gunen M.A. 2021a); (Gunen M.A. 2021b); (Habib S.M.; et al. 2020); (Halder et al., 2022); (Hashemizadeh A.; et al. 2020); (Hasti et al., 2023); (Hooshang et al., 2023); (Imamverdiev, 2022); (Khazael S.M.; Al-Bakri M. 2021); (Kircali S.; Selim S. 2021); (Koc A.; et al. 2019); (Kocabaldir; Yucel, 2023); (Marques-Perez, I.; et al 2020); (Merrouni, A. A.; et al 2018); (Mirzaei, 2022); (Mokarram, M; et al 2020); (Nhi et al., 2022); (Noorollahi Y.; et al 2022); (Ouchani F.-Z.; et al. 2021); (Ozdemir S.; Sahin G. 2018); (Qutaina et al., 2023); (Raza et al., 2023);

		(Rediske, G.; et al 2020); (Rekik; El Alimi, 2023); (Rios R.; Duarte S. 2021); (Ruiz H.S.; et al. 2020); (Sanchez-Lozano J.M.; et al. 2014); (Sanchez-Lozano, J. M.; et al 2016); (Sanchez-Lozano, L. M.; et al 2015); (Saraswat S.K.; et al. 2021); (Settou B.; et al 2022); (Settou, B.; et al 2021); (Shriki et al., 2023); (Spyridonidou et al., 2022); (Spyridonidou S.; et al. 2021); (Sun, L.; et al 2021); (Suuronen, A.; et al 2017); (Tavana, M.; et al 2017); (Tercan E.; et al. 2020); (Turk S.; et al. 2021); (Uyan, M. 2017); (Vagiona D.G. 2021); (Villacreses et al., 2023); (Wang C.-N.; et al. 2018); (Watson J.J.W.; Hudson M.D. 2015); (Yimen N.; Dagbasi M. 2019); (Zambrano-Asanza S.; et al 2021); (Zoghi, M.; et al 2017)
Infraestrutura	Distância de Vias de Acesso	(Al Garni, H. Z.; Awasthi, A. 2017); (Albraheem L.; Alabdulkarim L. 2021); (Alhammad A.; et al 2022); (Ali S.; et al. 2019); (Almasad et al., 2023); (Aly A.; et al. 2017); (Asadi M.; Pourhossein K. 2021); (Asakereh, A.; et al 2017); (Azmi et al., 2022); (Bandira et al., 2022); (Chen C.-R.; et al 2014); (Dahooie et al., 2022); (Dehshiri; Firoozabadi, 2023); (Díaz Cuevas, P; et al 2018); (Doorga, J. R. S.; et al 2019); (Elkadeem M.R.; et al. 2021); (Eslami et al., 2023); (Fard et al., 2022); (Finn, T; McKenzie, P. 2020); (Furtado P.A.X.; Sola A.V.H. 2020); (Georgiou A.; Skarlatos D. 2016); (Ghasemi et al., 2019); (Ghose, D.; et al 2020); (Giamalaki M.; Tsoutsos T. 2019); (Gunen M.A. 2021a); (Gunen M.A. 2021b); (Habib S.M.; et al. 2020); (Halder et al., 2022); (Hashemizadeh A.; et al. 2020); (Hasti et al., 2023); (Hooshang et al., 2023); (Imamverdiev, 2022); (Khazael S.M.; Al-Bakri M. 2021); (Kircali S.; Selim S. 2021); (Kocabaldir; Yucel, 2023); (Malemnganbi R.; Shimray B.A. 2022); (Marques-Perez, I.; et al 2020); (Merrouni, A. A.; et al 2018); (Mirzaei, 2022); (Mokarram, M; et al 2020); (Naseri M.; et al 2021); (Noorollahi Y.; et al 2022); (Ouchani F.-Z.; et al. 2021); (Prieto-Amparan J.A.; et al. 2021); (Raza et al., 2023); (Rediske, G.; et al 2020); (Rekik; El Alimi, 2023); (Rios R.; Duarte S. 2021); (Ruiz H.S.; et al. 2020); (Sanchez-

		Lozano J.M.; et al. 2014); (Sanchez-Lozano, J. M.; et al 2016); (Sanchez-Lozano, L. M.; et al 2015); (Saraswat S.K.; et al. 2021); (Settou B.; et al 2022); (Settou, B.; et al 2021); (Shorabeh, S. N.; et al 2019); (Shriki et al., 2023); (Spyridonidou et al., 2022); (Spyridonidou S.; et al. 2021); (Sun, L.; et al 2021); (Suuronen, A.; et al 2017); (Tahri, M.; et al 2015); (Tercan E.; et al. 2020); (Uyan, M. 2017); (Vagiona D.G. 2021); (Villacreses et al., 2023); (Wang C.-N.; et al. 2018); (Watson J.J.W.; Hudson M.D. 2015); (Yimen N.; Dagbasi M. 2019); (Zambrano-Asanza S.; et al 2021); (Zoghi, M.; et al 2017)
Infraestrutura	Distância de Centro Consumidor	(Abdel-Basset M.; et al. 2021); (Al Garni, H. Z.; Awasthi, A. 2017); (Albraheem L.; Alabdulkarim L. 2021); (Alhammad A.; et al 2022); (Ali S.; et al. 2019); (Almasad et al., 2023); (Aly A.; et al. 2017); (Arca et al., 2023); (Asadi M.; Pourhossein K. 2021); (Ayough et al., 2022); (Azmi et al., 2022); (Bandira et al., 2022); (Charabi Y.; Gastli A. 2011); (Chen C.-R.; et al 2014); (Dahooie et al., 2022); (Dehshiri; Firoozabadi, 2023); (Díaz Cuevas, P; et al 2018); (Elkadeem M.R.; et al. 2021); (Eslami et al., 2023); (Fard et al., 2022); (Finn, T; McKenzie, P. 2020); (Ghasemi et al., 2019); (Gunen M.A. 2021b); (Habib S.M.; et al. 2020); (Halder et al., 2022); (Hashemizadeh A.; et al. 2020); (Hasti et al., 2023); (Hooshang et al., 2023); (Imamverdiev, 2022); (Khazael S.M.; Al-Bakri M. 2021); (Kircali S.; Selim S. 2021); (Kocabaldir; Yucel, 2023); (Merrouni, A. A.; et al 2018); (Mian et al., 2023); (Mirzaei, 2022); (Mokarram, M; et al 2020); (Naseri M.; et al 2021); (Nhi et al., 2022); (Noorollahi Y.; et al 2022); (Ouchani F.-Z.; et al. 2021); (Raza et al., 2023); (Rediske, G.; et al 2020); (Rekik; El Alimi, 2023); (Rios R.; Duarte S. 2021); (Ruiz H.S.; et al. 2020); (Sanchez-Lozano J.M.; et al. 2014); (Sanchez-Lozano, J. M.; et al 2016); (Sanchez-Lozano, L. M.; et al 2015); (Saraswat S.K.; et al. 2021); (Settou B.; et al 2022); (Settou, B.; et al 2021); (Shorabeh, S. N.; et al 2019); (Spyridonidou et al., 2022); (Spyridonidou S.; et al. 2021); (Sun, L.; et al 2021); (Suuronen, A.; et al 2017); (Tahri, M.; et al 2015); (Tavana, M.; et al

		2017); (Tercan E.; et al. 2020); (Uyan, M. 2017); (Vagiona D.G. 2021); (Villacreses et al., 2023); (Watson J.J.W.; Hudson M.D. 2015); (Yimen N.; Dagbasi M. 2019); (Zambrano-Asanza S.; et al 2021); (Zoghi, M.; et al 2017)
Infraestrutura	Distância de Fontes Hídricas	(Aly A.; et al. 2017); (Arca et al., 2023); (Asadi M.; Pourhossein K. 2021); (Ayough et al., 2022); (Azmi et al., 2022); (Charabi Y.; Gastli A. 2011); (Dahooie et al., 2022); (Elkadeem M.R.; et al. 2021); (Eslami et al., 2023); (Fard et al., 2022); (Finn, T; McKenzie, P. 2020); (Giamalaki M.; Tsoutsos T. 2019); (Gunen M.A. 2021a); (Gunen M.A. 2021b); (Halder et al., 2022); (Hashemizadeh A.; et al. 2020); (Hasti et al., 2023); (Hooshang et al., 2023); (Kocabaldır; Yucel, 2023); (Malemnganbi R.; Shimray B.A. 2022); (Merrouni, A. A.; et al 2018); (Naseri M.; et al 2021); (Ouchani F.-Z.; et al. 2021); (Saraswat S.K.; et al. 2021); (Settou B.; et al 2022); (Spyridonidou et al., 2022); (Spyridonidou S.; et al. 2021); (Sun, L.; et al 2021); (Tercan E.; et al. 2020); (Villacreses et al., 2023); (Yimen N.; Dagbasi M. 2019)
Socio-econômico-ambientais	Custo de Investimento	(Abdel-Basset M.; et al. 2021); (Alanazi; Alanazi, 2023); (Ali S.; et al. 2019); (Asadi M.; Pourhossein K. 2021); (Ayough et al., 2022); (Charabi Y.; Gastli A. 2011); (Chen C.-R.; et al 2014); (Díaz Cuevas, P; et al 2018); (Doljak, D.; Stanojevi, G. 2017); (Elkadeem M.R.; et al. 2021); (Finn, T; McKenzie, P. 2020); (Furtado P.A.X.; Sola A.V.H. 2020); (Georgiou A.; Skarlatos D. 2016); (Ghasemi et al., 2019); (Giamalaki M.; Tsoutsos T. 2019); (Gunen M.A. 2021a); (Gunen M.A. 2021b); (Habib S.M.; et al. 2020); (Hooshang et al., 2023); (Imamverdiev, 2022); (Khazael S.M.; Al-Bakri M. 2021); (Kircali S.; Selim S. 2021); (Koc A.; et al. 2019); (Liu, J.; et al 2017); (Marques-Perez, I.; et al 2020); (Mirzaei, 2022); (Mokarram, M; et al 2020); (Naseri M.; et al 2021); (Nhi et al., 2022); (Noorollahi Y.; et al 2022); (Ozdemir S.; Sahin G. 2018); (Prieto-Amparan J.A.; et al. 2021); (Rediske, G.; et al 2020); (Rios R.; Duarte S. 2021); (Samanlioglu F.; Aya Z. 2017); (Sanchez-

		Lozano J.M.; et al. 2014); (Sanchez-Lozano, J. M.; et al 2016); (Sanchez-Lozano, L. M.; et al 2015); (Saraswat S.K.; et al. 2021); (Settou, B.; et al 2021); (Shorabeh, S. N.; et al 2019); (Spyridonidou S.; et al. 2021); (Suuronen, A.; et al 2017); (Tahri, M.; et al 2015); (Tavana, M.; et al 2017); (Tercan E.; et al. 2020); (Turk S.; et al. 2021); (Uyan, M. 2017); (Vagiona D.G. 2021); (Wang C.-N.; et al. 2018); (Yimen N.; Dagbasi M. 2019); (Zambrano-Asanza S.; et al 2021)
Socio-econômico-ambientais	Custo de Operação e Manutenção	(Abdel-Basset M.; et al. 2021); (Alanazi; Alanazi, 2023); (Ayough et al., 2022); (Hassanet et al ., 2023); (Imamverdiev, 2022); (Liu, J.; et al 2017); (Nhi et al., 2022); (Ozdemir S.; Sahin G. 2018); (Samanlioglu F.; Aya Z. 2017); (Wang C.-N.; et al. 2018)
Socio-econômico-ambientais	Energia Gerada / PayBack / Receita Total / Incentivo Governamental	(Abdel-Basset M.; et al. 2021); (Akkas, O. P.; et al 2017); (Alanazi; Alanazi, 2023); (Hassanet et al ., 2023); (Hasti et al., 2023); (Hooshang et al., 2023); (Imamverdiev, 2022); (Liu, J.; et al 2017); (Nhi et al., 2022); (Samanlioglu F.; Aya Z. 2017); (Shriki et al., 2023); (Wang C.-N.; et al. 2018)
Socio-econômico-ambientais	Impacto Sonoro / Visual / Social / Econômico / Ambiental	(Abdel-Basset M.; et al. 2021); (Alanazi; Alanazi, 2023); (Ayough et al., 2022); (Georgiou A.; Skarlatos D. 2016); (Hassanet et al ., 2023); (Liu, J.; et al 2017); (Nhi et al., 2022)
Socio-econômico-ambientais	Demanda Potencial / Maturidade Tecnológica	(Abdel-Basset M.; et al. 2021); (Imamverdiev, 2022); (Nhi et al., 2022); (Wang C.-N.; et al. 2018)

Apêndice F - Formulário de Avaliação de Ponderação

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE

Você está sendo convidado a participar como voluntário do projeto de pesquisa do curso de pós-graduação em nível de mestrado acadêmico em Engenharia de Produção, na área de pesquisa operacional, sub área métodos de análise e decisão multicritério, intitulada “Desenvolvimento de um modelo baseado em método multicritério para ordenação dos locais mais indicados à instalação de usinas fotovoltaicas no Brasil.”, sob responsabilidade do mestrando Ronaldo R. Saccardo (e-mail: ronaldo.saccardo@unesp.br).

A pesquisa terá como objetivos: mapear e mensurar os fatores determinantes para a ordenação dos melhores locais para a implantação de uma usina de geração de energia fotovoltaica em escala de utilidade (geração centralizada); e analisar o resultado da pesquisa de onde situam-se os melhores locais para o estabelecimento deste tipo de empreendimento.

Este estudo se justifica pelo atual estágio de desenvolvimento desta tecnologia que a cada dia está ganhando mais espaço e se consolidando como fonte alternativa de fornecimento de energia, onde a expectativa é que se torne uma das principais fontes de energia elétrica do futuro, dependendo para isso de espaço físico com condições propícias para a instalação de parques geradores.

Como benefícios deste trabalho podemos apontar a geração de uma lista ordenada, indicativa dos locais mais propícios para a instalação deste tipo de empreendimento, podendo esta lista justificar a concentração atual observada, contrariar a mesma ou indicar novos locais ideais para investimento, ampliando o horizonte de locais ora observado.

Sua colaboração irá auxiliar na compreensão do processo de escolha do local mais adequado para este tipo de empreendimento.

Fica desde já assegurado, que seu nome e seus dados não serão divulgados, pois haverá sigilo das informações por parte dos pesquisadores.

É importante salientar que a sua participação na pesquisa é voluntária, portanto, caso não queira participar da pesquisa, ou retirar seu consentimento, é só entrar em contato com o pesquisador responsável por meio de telefone e/ou e-mail, sem que isso acarrete prejuízos a você e ao estudo.

Os resultados globais desta pesquisa se tornarão públicos, podendo fazer parte de publicação em congressos ou em publicações científicas, além de fazer parte da dissertação de

mestrado do responsável pela pesquisa, com a ressalva que será resguardado o anonimato dos participantes.

Ao concordar em participar da pesquisa, você declara que está de acordo com este termo; que está ciente da liberdade de participar ou não da pesquisa, bem como do seu direito de deixar de participar do estudo, sem que isto lhe traga qualquer prejuízo; que tem o direito de receber resposta a qualquer dúvida acerca dos procedimentos e outros assuntos relacionados com a pesquisa; e que não haverá divulgação de dados pessoais.

Informações Importantes

Abaixo segue uma breve descrição das opções a serem escolhidas em cada questão:

- **NULO** - (a transição de um status A para um Status B, não é nada relevante na escolha do local)
- **MUITO FRACO** - (a transição de um status A para um status B, tem pouquíssima relevância na escolha do local)
- **FRACO** - (a transição de um status A para um status B, tem pouca relevância na escolha do local)
- **MODERADO** - (a transição de um status A para um status B, tem uma relevância razoável na escolha do local)
- **FORTE** - (transição de um status A para um status B, tem uma forte relevância na a escolha do local)
- **MUITO FORTE** - (transição de um status A para um status B, tem uma relevância muito forte na a escolha do local)
- **EXTREMO** - (transição de um status A para um status B, é extremamente relevante na a escolha do local)

Índice de Irradiação Global (IGH)

Índice de radiação global, é a unidade de medida que indica a concentração potencial de energia solar que incide em uma determinada área da superfície terrestre, aqui medida em quilowatt, por metro quadrado, por dia - KWh / (m² x d).

No quadro abaixo, estão listadas três faixas de classificações do IGH, os quais estão exatamente dentro da amplitude máxima e mínima da área de estudo, sendo que a faixa 01, que se refere ao nível neutro, foi colocada na cor azul, já a faixa 03, que se refere ao nível bom, foi colocada na cor verde.

FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO	DESCRIPTOR
Faixa 03	> de 6,0 kWh/m ² dia
Faixa 02	5,5 até 6,0 kWh/m ² dia
Faixa 01	5,0 até 5,5 kWh/m ² dia

Utilizando a nomenclatura apresentada acima, indique abaixo, qual é o grau de importância do índice de Irradiação global na escolha do local para a implantação de uma fazenda solar fotovoltaica, efetuando as seguintes comparações.

- Passar de um nível de irradiação local situado na faixa entre 5,0 e 5,5 KWh/m²xdia, para um nível de irradiação local situado na faixa entre 5,5 e 6,0 KWh/m²xdia?

Choose an item.

- Passar de um nível de irradiação local situado na faixa entre 5,0 e 5,5 KWh/m²xdia, para um nível de irradiação local maior ou igual a 6,0?

Choose an item.

- Passar de um nível de irradiação local situado na faixa entre 5,5 e 6,0 KWh/m²xdia, para um nível de irradiação local maior ou igual a 6,0?

Choose an item.

Temperatura

Temperatura, é uma unidade de medida que indica a quantidade média de calor proveniente do sol e que aquece uma determinada superfície terrestre, durante o período de um ano completo, aqui medida em graus Celsius por ano – °C / a.

No quadro abaixo, estão listadas quatro faixas de classificações da temperatura, as quais estão exatamente dentro da amplitude máxima e mínima da área de estudo, sendo que a faixa 03, que se refere ao nível neutro, foi colocada na cor azul, já a faixa 01, que se refere ao nível bom, foi colocada na cor verde.

FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO	DESCRIPTOR
Faixa 01	20°C até 22°C
Faixa 02	22°C até 24°C
Faixa 03	24°C até 26°C
Faixa 04	26°C até 28°C

Utilizando a nomenclatura apresentada acima, indique abaixo, qual é o grau de importância da temperatura na escolha do local para a implantação de uma fazenda solar fotovoltaica, efetuando as seguintes comparações:

- Passar de um nível de temperatura ambiente local na faixa entre 26 e 28 graus celsius / ano, para um nível de temperatura ambiente local na faixa entre 24 e 26 graus celsius / ano, é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

- Passar de um nível de temperatura ambiente local na faixa entre 26 e 28 graus celsius / ano, para um nível de temperatura ambiente local na faixa entre 22 e 24 graus celsius / ano, é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

- Passar de um nível de temperatura ambiente local na faixa entre 26 e 28 graus celsius / ano, para um nível de temperatura ambiente local na faixa entre 20 e 22 graus celsius / ano, é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

- Passar de um nível de temperatura ambiente local na faixa entre 24 e 26 graus celsius / ano, para um nível de temperatura ambiente local na faixa entre 22 e 24 graus celsius / ano, é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

- Passar de um nível de temperatura ambiente local na faixa entre 24 e 26 graus celsius / ano, para um nível de temperatura ambiente local na faixa entre 20 e 22 graus celsius / ano, é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

- Passar de um nível de temperatura ambiente local na faixa entre 22 e 24 graus celsius / ano, para um nível de temperatura ambiente local na faixa entre 20 e 22 graus celsius / ano, é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

Inclinação

Inclinação, é uma unidade de medida que indica o desnível médio de uma determinada superfície terrestre, em relação ao nível do horizonte, aqui medida em percentagem – %.

No quadro abaixo, estão listadas três faixas de classificações da inclinação, as quais estão exatamente dentro da amplitude máxima e mínima da área de estudo, sendo que a faixa 03, que se refere ao nível neutro, foi colocada na cor azul, já a faixa 01, que se refere ao nível bom, foi colocada na cor verde.

FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO	DESCRIPTOR
Faixa 01	0% até 05%
Faixa 02	05% até 10%
Faixa 03	10% até 15%

Utilizando a nomenclatura apresentada acima, indique abaixo, qual é o grau de importância da inclinação na escolha do local para a implantação de uma fazenda solar fotovoltaica, efetuando as seguintes comparações:

- Passar de um nível de inclinação local do terreno situado na faixa entre 10 - 15% para um nível de inclinação local do terreno situado na faixa entre 05 - 10%, é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

- Passar de um nível de inclinação local do terreno situado na faixa entre 10 - 15% para um nível de inclinação local do terreno entre 0 - 05%, é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

- Passar de um nível de inclinação local do terreno situado na faixa entre 05 - 10% para um nível de inclinação local do terreno entre 0 - 05%, é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

Distância do Ponto de Conexão

Distância do ponto de conexão (linhas de transmissão / subestação), é uma unidade de medida que indica a distância de uma determinada superfície terrestre até o local mais próximo que possa servir de conexão para o escoamento da energia elétrica gerada por uma fazenda solar, aqui expresso em metros - m.

No quadro abaixo, estão listadas três faixas de classificações da inclinação, as quais estão exatamente dentro da amplitude máxima e mínima da área de estudo, sendo que a faixa 03, que se refere ao nível neutro, foi colocada na cor azul, já a faixa 01, que se refere ao nível bom, foi colocada na cor verde.

FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO	DESCRIPTOR
Faixa 01	0 até 1.000 metros
Faixa 02	1.000 até 2.000 metros
Faixa 03	2.000 até 3.000 metros

Utilizando a nomenclatura apresentada acima, indique abaixo, qual é o grau de importância da distância do ponto de conexão na escolha do local para a implantação de uma fazenda solar fotovoltaica, efetuando as comparações:

- Passar de uma distância média com relação à rede elétrica / subestação, situada na faixa entre 2.000 à 3.000 m, para uma distância média situada na faixa entre 1.000 à 2.000 m, é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

- Passar de uma distância média com relação à rede elétrica / subestação, situada na faixa entre 2.000 à 3.000 m, para uma distância média situada na faixa entre 0 à 1.000 m, é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

- Passar de uma distância média com relação à rede elétrica / subestação, situada na faixa entre 1.000 à 2.000 m, para uma distância média situada na faixa entre 0 à 1.000 m, é de que grau importância na escolha do local para a implantação da fazenda solar?

Choose an item.

Grau de Importância dos Critérios

Como última etapa do questionário, indique abaixo, qual é o grau de importância de cada um dos critérios analisados acima (comparação para a par), conforme quadro abaixo e na sequência, utilizando a nomenclatura no início do questionário, compare os aos pares:

CRITÉRIOS	IRRADIAÇÃO	TEMPERATURA	INCLINAÇÃO	CONEXÃO	
DESCRITORES	Nível Bom	> de 6, 0 kWh/m ² dia	20°C até 22°C	0% até 05%	0 até 1.000 metros
		5,5 até 6,0 kWh/m ² dia	22°C até 24°C	05% até 10%	1.000 até 2.000 metros
	Nível Neutro	5,0 até 5,5 kWh/m ² dia	24°C até 26°C	10% até 15%	2.000 até 3.000 metros
			26°C até 28°C		

- Na escolha do local para a implantação da usina fotovoltaica, suponha que os dois critérios listados abaixo estejam posicionados no nível neutro (segundo informações da tabela acima). Se você pudesse melhorar um e apenas um deles, passando do nível neutro para o nível bom, qual deles você escolheria?

Distância do Ponto de Conexão, ou o Índice de Irradiação Global

Choose an item.

- Tomando por base a escolha acima, qual o grau de importância é passar de um nível neutro, para um nível bom no critério escolhido em comparação a passar de um nível neutro, para um nível bom no critério preterido?

Choose an item.

- Na escolha do local para a implantação da usina fotovoltaica, suponha que os dois critérios listados abaixo estejam posicionados no nível neutro (tabela acima). Se você pudesse melhorar um e apenas um deles, passando do nível neutro para o nível bom, qual deles você escolheria?

Inclinação, ou o Índice de Irradiação Global

Choose an item.

- Tomando por base a escolha acima, qual o grau de importância é passar de um nível neutro, para um nível bom no critério escolhido em comparação a passar de um nível neutro, para um nível bom no critério preterido?

Choose an item.

- Na escolha do local para a implantação da usina fotovoltaica, suponha que os dois critérios listados abaixo estejam posicionados no nível neutro (tabela acima). Se você pudesse melhorar um e apenas um deles, passando do nível neutro para o nível bom, qual deles você escolheria?

Temperatura, ou o Índice de Irradiação Global

Choose an item.

- Tomando por base a escolha acima, qual o grau de importância é passar de um nível neutro, para um nível bom no critério escolhido em comparação a passar de um nível neutro, para um nível bom no critério preterido?

Choose an item.

- Na escolha do local para a implantação da usina fotovoltaica, suponha que os dois critérios listados abaixo estejam posicionados no nível neutro (tabela acima). Se você pudesse melhorar um e apenas um deles, passando do nível neutro para o nível bom, qual deles você escolheria?

Inclinação, ou a Distância do Ponto de Conexão

Choose an item.

- Tomando por base a escolha acima, qual o grau de importância é passar de um nível neutro, para um nível bom no critério escolhido em comparação a passar de um nível neutro, para um nível bom no critério preterido?

Choose an item.

- Na escolha do local para a implantação da usina fotovoltaica, suponha que os dois critérios listados abaixo estejam posicionados no nível neutro (tabela acima). Se você pudesse melhorar um e apenas um deles, passando do nível neutro para o nível bom, qual deles você escolheria?

Temperatura, ou a Distância do Ponto de Conexão

Choose an item.

- Tomando por base a escolha acima, qual o grau de importância é passar de um nível neutro, para um nível bom no critério escolhido em comparação a passar de um nível neutro, para um nível bom no critério preterido?

Choose an item.

- Na escolha do local para a implantação da usina fotovoltaica, suponha que os dois critérios listados abaixo estejam posicionados no nível neutro (tabela acima). Se você pudesse melhorar um e apenas um deles, passando do nível neutro para o nível bom, qual deles você escolheria?

Temperatura, ou a Inclinação

Choose an item.

- Tomando por base a escolha acima, qual o grau de importância é passar de um nível neutro, para um nível bom no critério escolhido em comparação a passar de um nível neutro, para um nível bom no critério preterido?

Choose an item.