

## UM MODELO BASEADO EM SIG-AHP PARA IMPLANTAÇÃO DE PARQUES FOTOVOLTAICOS: O CASO DA REGIÃO DOS LAGOS FLUMINENSES

**Rodrigo Garcia Caiano**

Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, RJ, Brasil  
[rodrigocaiano@id.uff.br](mailto:rodrigocaiano@id.uff.br)

**Walber Paschoal da Silva**

Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, RJ, Brasil  
[walberpaschoal@id.uff.br](mailto:walberpaschoal@id.uff.br)

**Gilberto Figueiredo**

Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, RJ, Brasil  
[gilbertofigueiredo@id.uff.br](mailto:gilbertofigueiredo@id.uff.br)

### RESUMO

A priorização de áreas para parques fotovoltaicos exige sistemas de avaliação rigorosos devido à complexidade das variáveis envolvidas. Este estudo desenvolveu um modelo baseado em Análise Multicritério (AHP) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para identificar locais aptos na Microrregião dos Lagos (RJ), conciliando eficiência técnica e justiça socioambiental. Os critérios foram ponderados por especialistas, destacando-se o potencial solar (31,7%) e a proximidade da rede de distribuição (28,1%) como fatores preponderantes. A aplicação do modelo em uma área de 2.010,40 km<sup>2</sup> permitiu a exclusão de locais com restrições ambientais e sociais, revelando zonas com elevado potencial para o aproveitamento da energia solar. O mapeamento sugere a incorporação de uma perspectiva crítica acerca da vulnerabilidade de comunidades tradicionais e rurais como forma de mitigar os efeitos da morosidade nos processos de demarcação oficial. O ferramental demonstrou-se eficaz como suporte à tomada de decisão e ao planejamento energético regional sustentável.

**Palavras-chave:** Energia fotovoltaica. SIG. AHP.

### A SIG-AHP BASED MODEL FOR THE IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC PARKS IN BRAZIL

#### ABSTRACT

Prioritizing areas for photovoltaic parks requires rigorous evaluation systems due to the complexity of the variables involved. This study developed a model based on Multicriteria Analysis (AHP) and Geographic Information Systems (GIS) to identify suitable sites in the Lagos Region (RJ), balancing technical efficiency and socio-environmental justice. Criteria were weighted by experts, highlighting solar potential (31.7%) and proximity to the distribution grid (28.1%) as the most relevant factors. The application of the model over an area of 2,010.40 km<sup>2</sup> allowed for the exclusion of locations with environmental and social restrictions, revealing zones with high potential for solar energy exploitation. The mapping suggests incorporating a critical perspective on the vulnerability of traditional and rural communities as a means of mitigating the effects of delays in official land demarcation processes. This methodological framework proved effective as a support tool for decision-making and sustainable regional energy planning.

**Keywords:** Photovoltaic energy. GIS. AHP.

### INTRODUÇÃO

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Organização das Nações Unidas, têm como principal meta garantir melhor qualidade de vida para as populações. O ODS 7, em particular, trata da

universalização dos serviços de energia e propõe o aumento substancial da participação de energias renováveis na matriz energética global até 2030 (ONU, 2015). A desfossilização, juntamente com as mudanças climáticas e o esgotamento de recursos, tornou-se tema relevante nos últimos anos, sendo a energia solar um recurso renovável com grande potencial para reduzir a dependência de reservas limitadas de combustíveis fósseis e mitigar os impactos dessas mudanças climáticas (Tafula et al., 2023).

Para o cumprimento desses objetivos e o atendimento das demandas de sustentabilidade energética, é fundamental a disponibilidade de energia mais limpa e acessível. A eletricidade produzida por fontes renováveis possui potencial para se tornar um importante recurso para o desenvolvimento global futuro (Tafula et al., 2023). Em decorrência do crescimento da demanda por energia elétrica, associado às boas práticas voltadas ao atendimento do ODS 7 e à tendência mundial de conscientização quanto ao uso sustentável dos recursos naturais, a utilização de fontes renováveis na matriz energética tornou-se tema central no planejamento energético de diversos países (Pecci-Oviedo, 2020).

Nas últimas décadas, o Brasil apresentou crescimento exponencial na instalação e, conseqüentemente, na potência instalada de sistemas fotovoltaicos, alcançando 63 GW e ocupando a sexta colocação no ranking mundial, incluindo sistemas de geração distribuída e centralizada (IEA, 2025). A geração distribuída representa a maior parte das instalações, fortemente influenciada pela atratividade tarifária proveniente de incentivos e subsídios diretos e indiretos a esses sistemas (Marcuzzo et al., 2025). Já a geração centralizada, que representa 30% da potência instalada, tem seu crescimento atrelado ao direcionamento dos leilões de energia nova, por apresentar competitividade econômica em relação a outras fontes.

Por outro lado, o desenvolvimento desse setor não foi acompanhado por um planejamento estratégico multiabordagem capaz de contemplar as conseqüências socioambientais inerentes ao crescimento da demanda por infraestrutura energética, como ocorre com o descarte e o final de vida útil dos equipamentos (Souza et al., 2024). Associado a isso, populações locais frequentemente assumem os ônus decorrentes da expansão desses empreendimentos, trazendo à tona discussões acerca de uma transição energética socialmente justa (Frangetto et al., 2024). Dessa forma, este trabalho insere-se no contexto da concepção de uma metodologia voltada à otimização da ocupação de áreas destinadas à implantação de parques solares fotovoltaicos, associando informações geográficas ao processo decisório, de modo a considerar, ainda que de forma inicial, restrições de cunho socioambiental.

A proximidade do Brasil com a linha do Equador proporciona elevada irradiação e distribuição relativamente uniforme da incidência solar durante grande parte do ano. Tal característica torna o país favorável à geração de energia fotovoltaica (FV) (Balaguer; Alves, 2020). Para otimizar o aproveitamento do potencial das usinas solares fotovoltaicas, é essencial considerar aspectos como a irradiação solar e a localização geográfica. Nesse contexto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) constituem uma ferramenta valiosa para auxiliar na análise espacial e no planejamento da eletrificação (Celestino; Julião, 2017).

A ciência cartográfica tem sido amplamente utilizada como base para o desenvolvimento de projetos de energia solar fotovoltaica, permitindo a tomada de decisões quanto à seleção dos locais mais adequados e possibilitando a identificação de áreas com maior potencial de aproveitamento desse recurso energético (Escolano; Pastore; Pereira, 2020). Nesse cenário, o SIG torna-se uma ferramenta estratégica para a expansão das energias renováveis no Brasil, país que dispõe de grande dimensão territorial e ampla diversidade de recursos naturais. O SIG possibilita o tratamento de informações de maneira próxima à realidade, gerando múltiplas possibilidades e cenários sob os pontos de vista ambiental, econômico e social (Jucá; Carvalho; Júnior, 2006).

Existem diferentes formas de medir a radiação solar incidente na superfície terrestre, como por meio de estações meteorológicas e instrumentos específicos, além de estimativas realizadas por modelos solares baseados em SIG ou em satélites meteorológicos (Escolano; Pastore; Pereira, 2020). A aplicabilidade do SIG para o tratamento de dados geográficos vai além da delimitação dos perímetros dos empreendimentos, podendo auxiliar na execução de análises complexas e na formação de bancos de dados georreferenciados (Carvalho; Nunes; Santos, 2020). A distribuição espacial do potencial energético pode ser mapeada a partir das ferramentas do SIG (Htoo; Yabar; Mizunoya, 2022), considerando as informações cartográficas existentes e visando identificar os locais mais favoráveis para a implementação de fontes renováveis de energia (Villacreses et al., 2022).

Diversos estudos foram realizados com o propósito de identificar locais favoráveis à implementação de usinas solares fotovoltaicas. Segundo Haddad (2020), essa temática tem sido amplamente abordada

por meio da utilização de técnicas MCDM (*Multicriteria Decision Making*) associadas a ferramentas SIG, com o objetivo de analisar dados geográficos e identificar áreas adequadas para a instalação de usinas de energia. Para Nzelibe et al. (2022), a técnica AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é uma das mais utilizadas nesse tipo de pesquisa, devido à sua confiabilidade e capacidade de adaptação entre os métodos de decisão multicritério, conforme demonstrado na Tabela 1. A combinação dessas metodologias tem apresentado resultados satisfatórios em estudos dessa natureza.

Tabela 1 - Estudos utilizando SIG-MCDM para planejamento de usina FV

FONTE	LOCAL	PAIS	AREA (km <sup>2</sup> )	ANO	TÉCNICA APLICADA
(Villacreses et al., 2022)	Ilhas Galápagos	Equador	8010	2022	GIS-AHP-OWA
(Haddad et al., 2020)	Algeria	Algeria	2381740	2020	GIS-AHP
(Nzelibe et al., 2022)	Akure South, Ondo State	Nigeria	331	2022	GIS-AHP
(Braik et al., 2022)	Nablus	Palestina	592	2022	GIS-AHP
(Tafula et al., 2023)	Moçambique	Moçambique	801590	2023	GIS-AHP-WLC-Fuzzy-Booleana
(Gasparovic; Gasparovic, 2019)	Croacia	Croacia	56594	2019	GIS-AHP
(Spyridonidou et al., 2022)	Portugal	Portugal	92090	2022	GIS-AHP-ENTROPY-TOPSIS
(Garni; Awasthi, 2017)	Arabia Saudita	Arabia Saudita	2149690	2017	GIS-AHP
(Tunç et al., 2019)	Província de Istambul	Turquia	5196	2019	GIS-AHP
(Vagiona, 2021)	Ilha de Rodes	Grécia	1401	2021	GIS-AHP-TOPSIS-VIKOR-PROMETHEE II
(Cui et al., 2023)	Província de Shanxi	China	156800	2023	GIS-OWA
(Rediske et al., 2020)	Região Central, Rio Grande do Sul	Brasil	5564	2020	GIS-AHP-TOPSIS
(Macedo et al., 2021)	Pernambuco	Brasil	98149	2021	GIS-Fuzzy AHP-TOPSIS
(Demir et al., 2023)	İzmir	Turquia	11973	2023	GIS-AHP-OBSG
(Munkhbat; Choi, 2021)	Mongolia	Mongolia	1564116	2021	GIS-AHP
(Shammari et al., 2021)	Arabia Saudita	Arabia Saudita	2149690	2021	GIS-AHP-TOPSIS
(Suh; Brownson, 2016)	Ulleung Island	Coreia	73	2016	GIS-AHP-FMF
(Noorollahi et al., 2022)	Província de Khuzestan	Irã	64055	2022	GIS-AHP-Fuzzy-Booleana
(Giamalaki; Tsoutsos, 2019)	Unidade regional Retimno	Grécia	1496	2019	GIS-AHP
(Gunen, 2021)	Kahramanmaraş	Turquia	3017	2021	GIS-AHP

Fonte: Os autores, 2025

Braik et al. (2022) analisaram mais de 400.000 terrenos em estudo realizado na Palestina, selecionando 263 áreas consideradas ideais para o desenvolvimento e a construção de usinas de energia solar. Os resultados foram obtidos a partir da aplicação de diferentes equações de decisão, considerando variáveis como índice pluviométrico, existência de estradas próximas, declividade do terreno, entre outras. Tafula et al. (2023) indicam que o mundo tem avançado em consonância com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7) e utilizam, em seu estudo, 12 fatores de restrição e 19 critérios para realizar análises SIG-MCDM voltadas à identificação de áreas adequadas para soluções isoladas de microgeração solar fotovoltaica em Moçambique.

O estudo de Gasparovic e Gasparovic (2019) considera como parâmetro básico o potencial solar, combinado a outros fatores, como dados espaciais, ambientais, socioeconômicos e geomorfológicos. Foram realizadas três análises distintas, nas quais os pesos dos parâmetros foram modificados, resultando na validação da metodologia empregada e na obtenção de resultados satisfatórios para a

implantação de usinas solares na Croácia. Segundo Tafula et al. (2023), estudos recentes sobre a aplicação de métodos MCDM na seleção de áreas para usinas fotovoltaicas adotaram como critérios de avaliação aspectos ambientais (14), climatológicos (18), orográficos (10), técnicos (6), econômicos (15), locais (13), sociais (5) e políticos (1). Os valores entre parênteses correspondem à quantidade de ocorrências dentre os 21 artigos analisados pelos autores, sendo que cada estudo contempla mais de um critério.

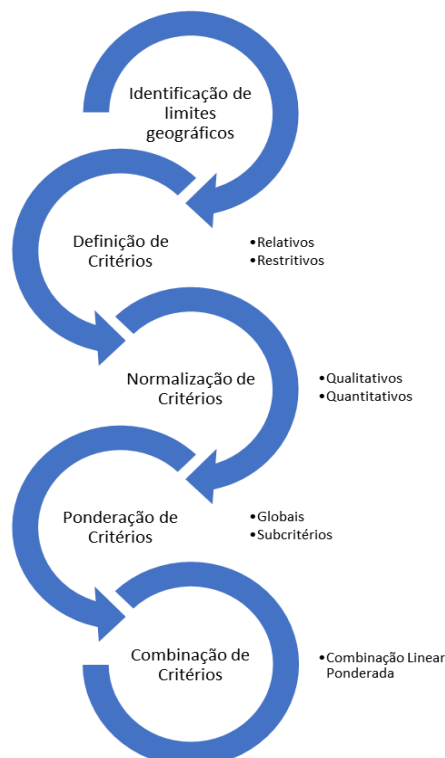
Nos últimos anos, diversos países estabeleceram metas relacionadas às energias renováveis. No entanto, em alguns casos, essas metas foram definidas sem avaliação adequada dos territórios aptos à implementação de usinas, tornando determinados projetos inviáveis ou desaconselháveis. Nesse contexto, torna-se fundamental identificar e mapear essas áreas para um planejamento eficiente das infraestruturas energéticas no território. Este trabalho visa contribuir para esse debate ao propor um modelo georreferenciado de localização para a instalação de energia solar fotovoltaica na Microrregião dos Lagos (RJ), utilizando uma abordagem integrada entre MCDM e SIG.

Apesar dos avanços recentes e do crescente número de estudos com objetivos semelhantes aos deste trabalho, ainda existem limitações nos modelos revisados. Entre elas, destaca-se a necessidade de investigar o impacto de diferentes métodos MCDM sobre as camadas de critérios utilizadas nas análises. Além disso, ao avaliar o desempenho da produção energética em parques solares fotovoltaicos em locais específicos, torna-se importante ampliar a sensibilidade das análises de verificação. Outro desafio refere-se aos dados utilizados, frequentemente provenientes de diferentes bancos de dados e bases globais, que, em muitos casos, apresentam desconexões e necessitam de adaptações para a construção de uma base unificada.

## MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, foram utilizados os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o método multicritério AHP para a identificação de áreas potenciais para a implantação de parques fotovoltaicos. A Figura 1 sintetiza a metodologia empregada.

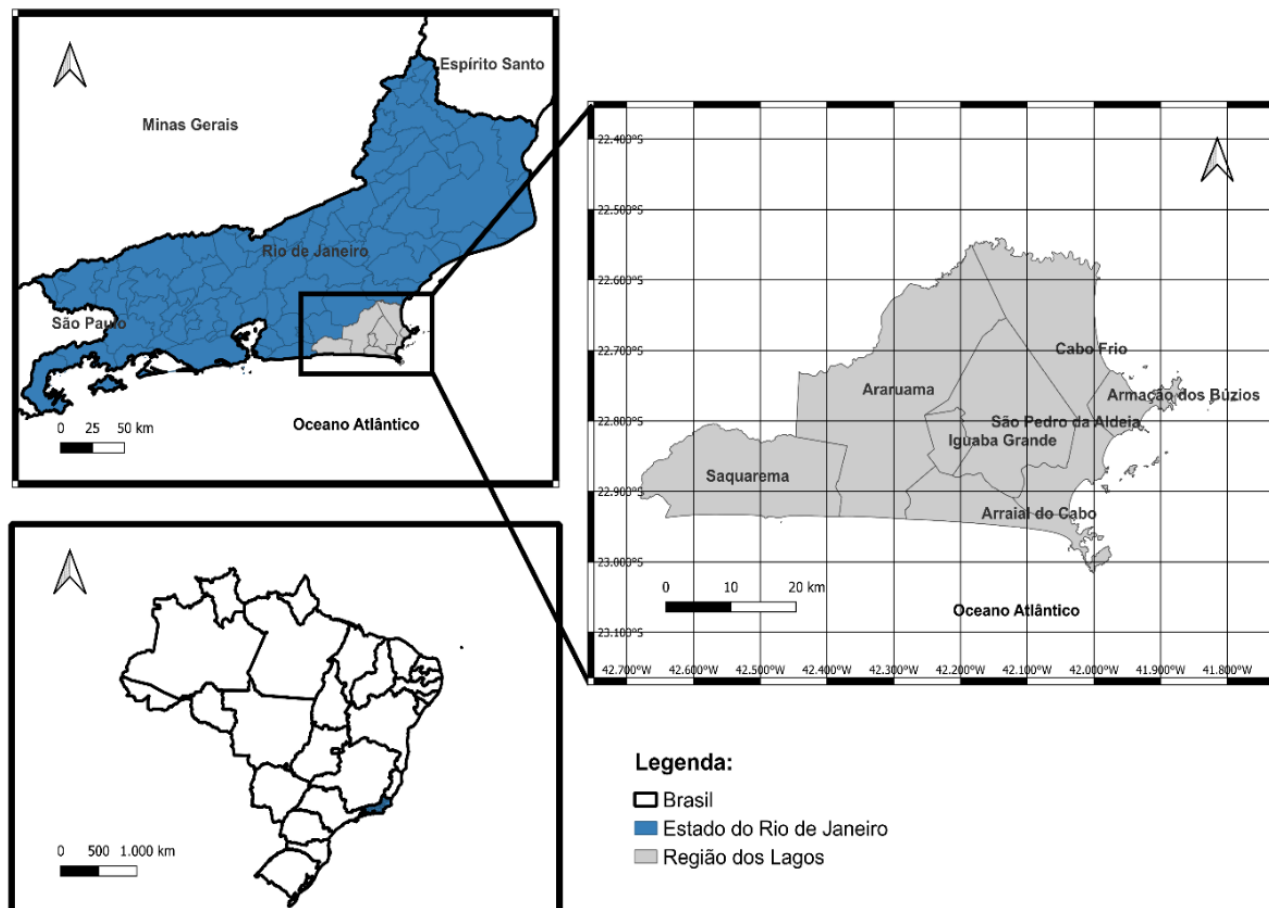
Figura 1 - Síntese da metodologia utilizada



### Identificação de limites geográficos

Neste estudo, a modelagem foi aplicada à microrregião denominada Lagos, no Rio de Janeiro, localizado no sudeste do Brasil e composta por 7 municípios, apresentados na figura 2.

Figura 2 - Mapa de localização da microrregião Lagos no estado do Rio de Janeiro



Fonte: Os autores, 2025.

A microrregião tem uma área de 2.010,40 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022) e população de 664.911 pessoas. (IBGE, 2021), decompostos por Município na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados sobre microrregião dos Lagos

MUNICÍPIOS	ÁREA DA UNIDADE TERRITORIAL (IBGE,2020)	POPULAÇÃO ESTIMADA (IBGE,2021)	PIB PER CAPITA (IBGE,2020)	ÁREA URBANIZADA (IBGE,2019)
Araruama	638,276 km <sup>2</sup>	136109 pessoas	26276,01 R\$	64,84 km <sup>2</sup>
Armação dos Búzios	70,977 km <sup>2</sup>	35060 pessoas	60447,32 R\$	18,69 km <sup>2</sup>
Arraial do Cabo	152,106 km <sup>2</sup>	30827 pessoas	59910,14 R\$	9,67 km <sup>2</sup>
Cabo Frio	413,449 km <sup>2</sup>	234077 pessoas	40530,43 R\$	61,44 km <sup>2</sup>
Iguaba Grande	50,977 km <sup>2</sup>	29344 pessoas	19625,18 R\$	13,46 km <sup>2</sup>
São Pedro da Aldeia	332,488 km <sup>2</sup>	107556 pessoas	24435,48 R\$	32,03 km <sup>2</sup>

Saquarema 352,130 km<sup>2</sup> 91938 pessoas 167325,94 R\$ 52,90 km<sup>2</sup>

Fonte: Os autores, 2025.

### Definição de Critérios Restritivos (CRT)

Para identificar os locais mais adequados para a implantação de parques fotovoltaicos, foram descartadas as áreas enquadradas nos critérios restritivos do estudo, indicados na Figura 3. A espacialização desses critérios permite segregar áreas com impedimentos legais imediatos, como aquelas associadas a direitos minerários. Esse parâmetro assegura que o modelo desconsidere polígonos com títulos minerários ativos junto à Agência Nacional de Mineração (ANM), evitando sobreposições com atividades extrativistas que possuem prioridade legal de uso do solo no Brasil. Tal refinamento é essencial para que o resultado final reflita áreas juridicamente disponíveis para a implantação de infraestrutura fotovoltaica.

Figura 3 - Critérios classificados como restritivos



Fonte: Os autores, 2025

A definição criteriosa dos critérios restritivos constitui etapa fundamental para garantir a viabilidade técnica e a legitimidade socioambiental do projeto. No âmbito do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), as restrições funcionam como um filtro binário que antecede a ponderação dos critérios relativos. Ao excluir áreas inaptas logo na etapa inicial, evita-se que o modelo matemático atribua pesos ou relevância a locais cuja instalação seja juridicamente inviável ou eticamente questionável. Essa separação rígida protege a integridade do processo decisório, impedindo que elevados índices de irradiação solar compensem violações em áreas protegidas. Além disso, a adequada definição dessas restrições ressignifica o planejamento energético, transformando-o em um processo mais justo, que respeita os limites territoriais e sociais em vez de priorizar exclusivamente a produtividade técnica.

O detalhamento desses critérios e suas respectivas fundamentações regulatórias está consolidado no Quadro 1. Os dados foram extraídos de bases oficiais em formatos vetoriais (*shapefiles*), mantendo a fidelidade das delimitações geográficas estabelecidas pelos órgãos gestores. Por outro lado, é importante destacar que a utilização dessas fontes oficiais impõe desafios ao planejamento. No caso das Terras Indígenas e Terras Quilombolas, a morosidade histórica dos processos de demarcação e regularização no Brasil pode fazer com que as bases de dados governamentais não reflitam integralmente a totalidade das comunidades existentes em campo. Nesse contexto, cabe ao planejador a sensibilidade de garantir que o modelo não apenas siga estritamente a norma legal, mas também considere a realidade das populações marginalizadas que ainda lutam pelo reconhecimento formal de seus direitos territoriais, assegurando uma transição energética pautada na justiça social e na democracia.

Quadro 1 - Dados sobre critérios restritivos

CRT	Critérios restritivos	Fonte	Abrangência de restrição
CRT1	Declividade do terreno	CPRM	> 20 %
CRT2	Área de preservação permanente (APP) e Faixa marginal de proteção (FMP)	(INEA, 2010)	Área total
CRT3	Terras indígenas (TI)	(FUNAI, 2020)	Área total
CRT4	Sítios arqueológicos	(IPHAN, 2022)	Área total
CRT5	Terras quilombolas e projetos de assentamento	(INCRA, 2020)	Área total
CRT6	Registro de cavernas	CECAV	Área total
CRT7	Distância de rodovias federais	(DNIT, 2021)	< 15 metros
CRT8	Distância de ferrovias	(DNIT, 2021)	< 15 metros
CRT9	Distância de aeroportos	ANAC	< 3000 metros
CRT10	Massa de água	ANA	Área total
CRT11	Direitos minerários	ANM	Área total

Fonte: Os autores, 2025

### Definição de Critérios Relativos (CRL)

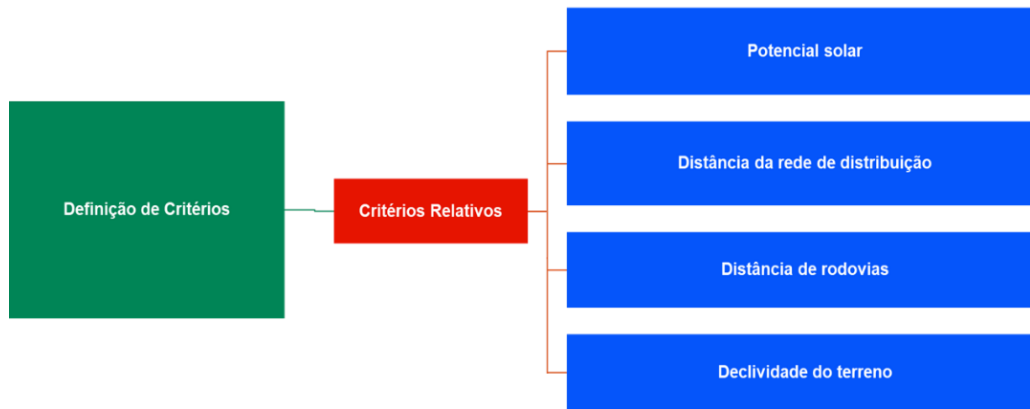
Para a identificação dos locais mais adequados à implantação de parques solares, foram definidos critérios relativos que influenciaram a tomada de decisão, em conjunto com os dados disponíveis da área de estudo. Os fatores de potencial solar, distância da rede de distribuição, distância de rodovias, declividade do terreno e presença de unidades de conservação foram selecionados como critérios relativos (Figura 4). Os *shapefiles* correspondentes a cada critério relativo foram obtidos a partir das fontes indicadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Dados sobre critérios relativos.

CRL	Critérios relativos	Fonte	Abrangência aplicável
CRL1	Potencial solar	LABREN	Área total
CRL2	Distância da rede de distribuição de energia	ANEEL	Área total
CRL3	Distância de rodovias	Ministério dos transportes	>= 15 metros
CRL4	Declividade do terreno	CPRM	<= 20 %

Fonte: Os autores, 2025

Figura 4 - Critérios classificados como relativos



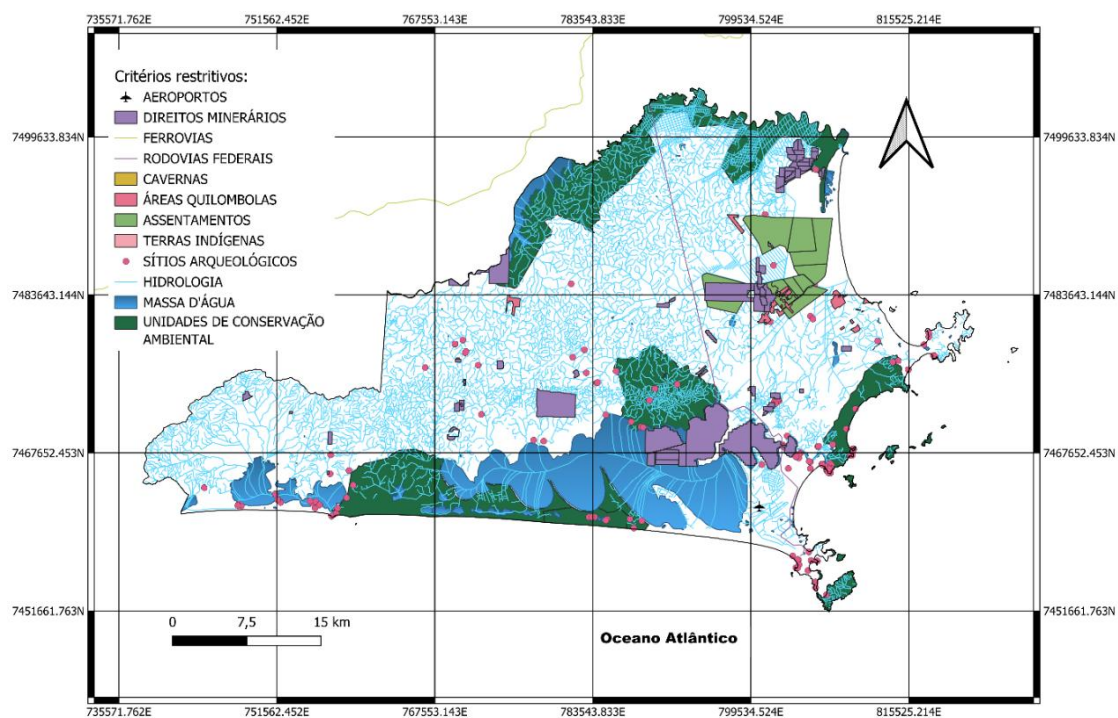
Fonte: Os autores, 2025.

### Sistema de referência de coordenadas atribuídas (SRC) e mapas de critérios

Os mapas temáticos que representam cada critério foram organizados em um banco de dados geográfico de acordo com o referencial geodésico adotado no Brasil, o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), e com a projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*), no fuso 23 Sul.

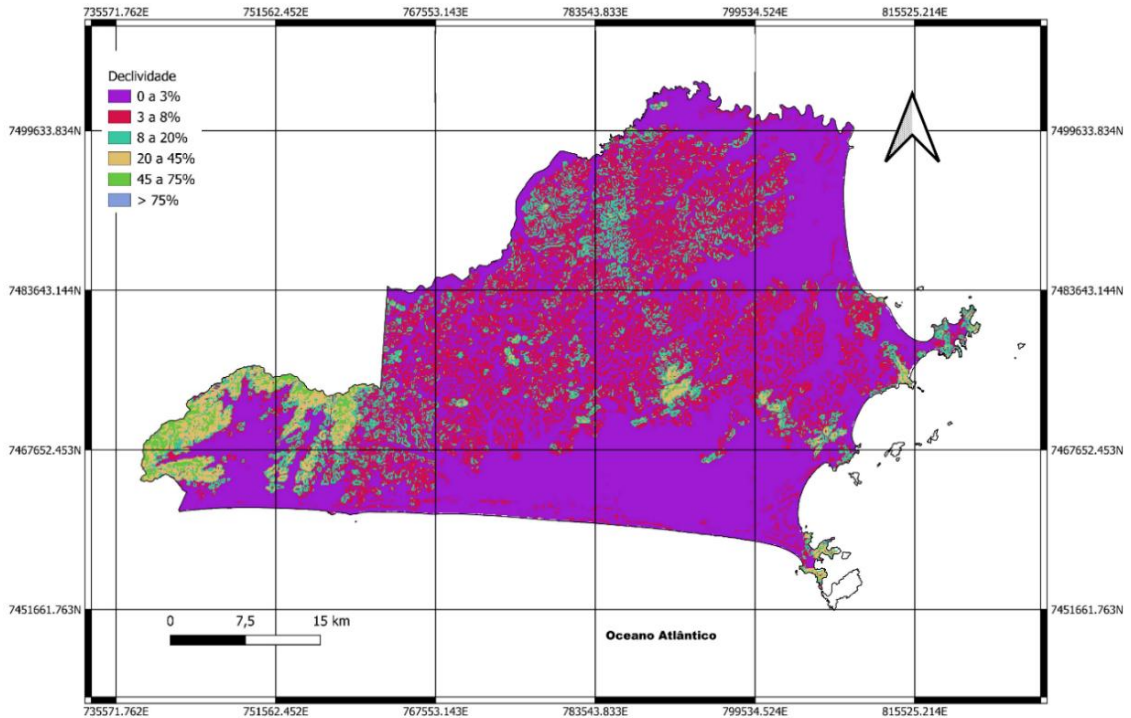
Para delimitar a área da microrregião, utilizou-se como máscara de recorte dos mapas temáticos a base de dados da Malha Municipal Digital (MMD) da Divisão Político-Administrativa Brasileira (IBGE, 2022). Para os *shapefiles* que se encontravam em diferentes Sistemas de Referência de Coordenadas (SRC), aplicou-se o método "Reprojetar Camada", com o objetivo de adequá-los ao sistema adotado neste estudo. As Figuras 5, 6 e 7 apresentam os mapas temáticos reprojetados.

Figura 5 - Mapa temático de critérios restritivos.



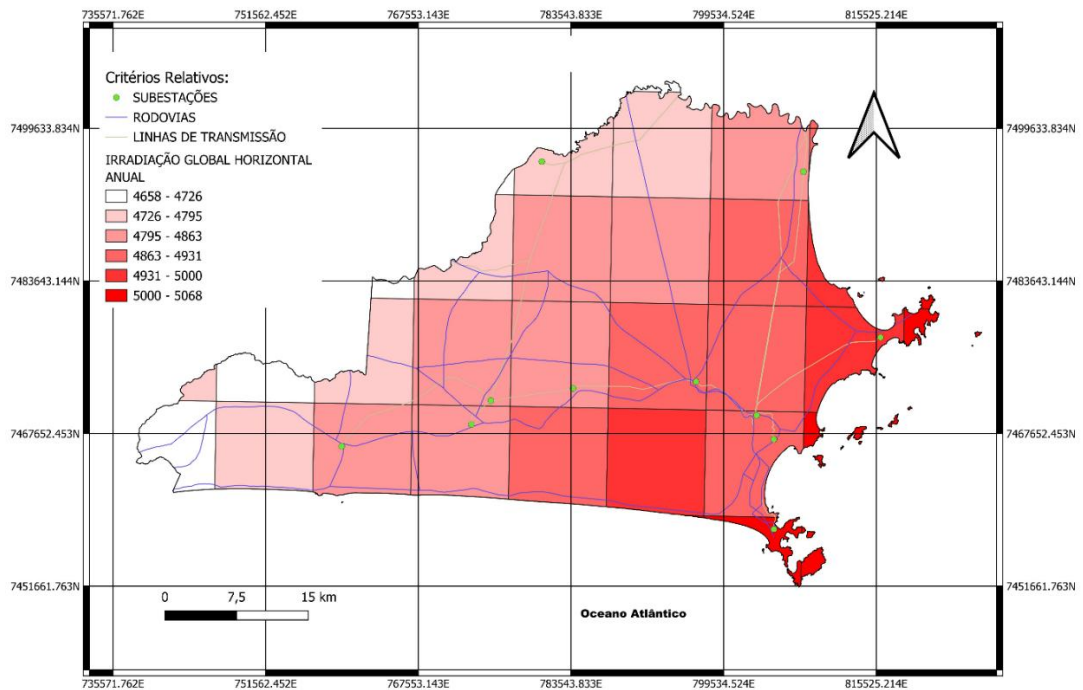
Fonte: Os autores, 2025

Figura 6 - Mapa temático de critério restritivo e relativo: Declividade



Fonte: Os autores, 2025

Figura 7 - Mapa temático de critérios relativos



Fonte: Os autores, 2025

### Normalização de critérios

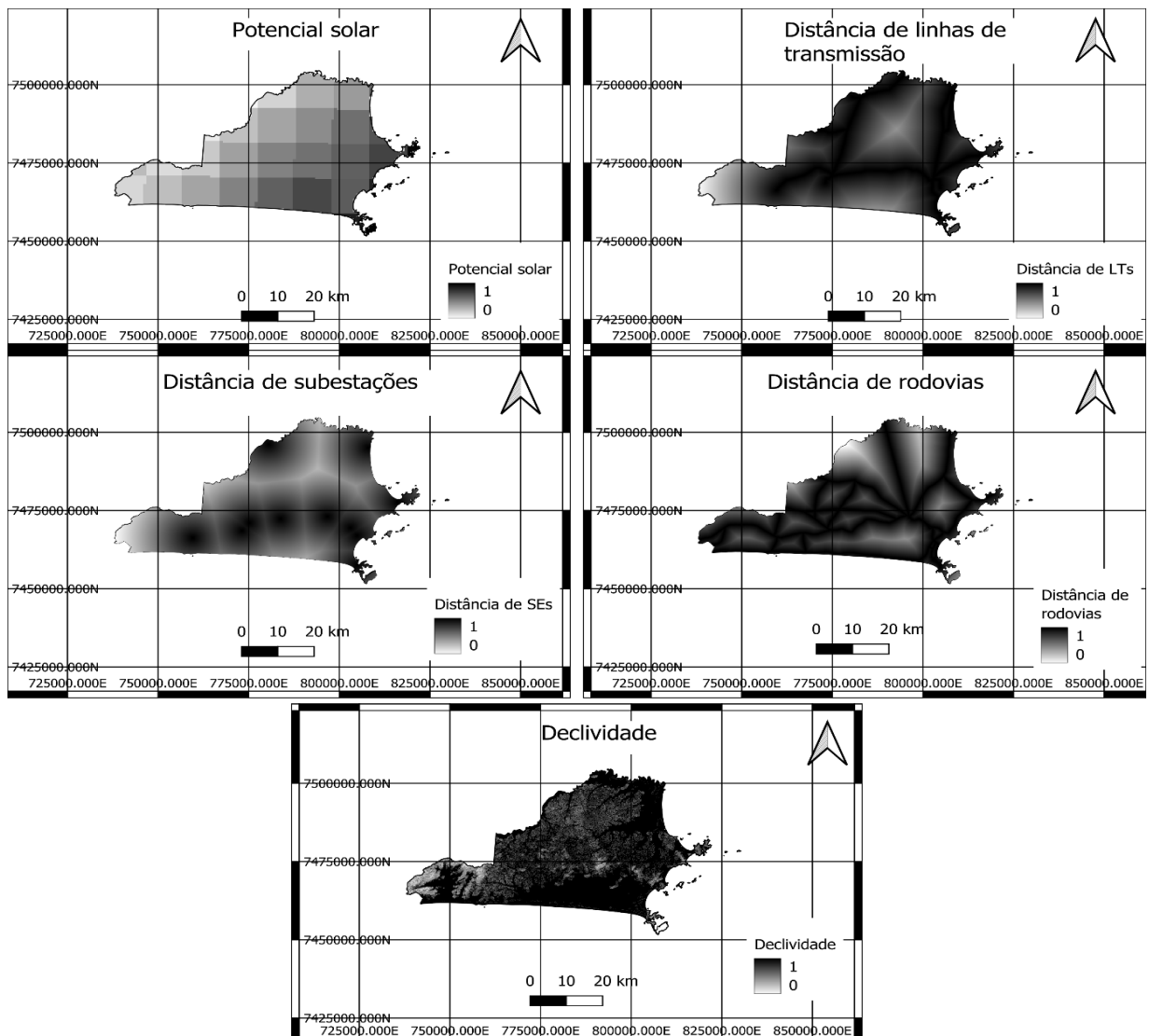
Ao se realizar uma análise multicritério, observa-se frequentemente a dificuldade de combinar diretamente dados que possuem unidades distintas. Para garantir a comparabilidade entre os critérios

considerados, torna-se necessária a aplicação de um processo de normalização aos valores atribuídos a cada critério, de modo a inseri-los em uma mesma escala.

Essa abordagem possibilita uma comparação mais precisa e imparcial entre critérios distintos, facilitando o processo de tomada de decisão. Após a conclusão da etapa de normalização ou padronização dos critérios, obteve-se um novo conjunto de mapas temáticos com os dados distribuídos em uma escala comum, variando de zero a um. Esses mapas de critérios constituem os parâmetros de entrada utilizados na análise multicritério.

O método adotado para a normalização dos dados consistiu na rasterização dos vetores e na reclassificação por meio da ferramenta “Calculadora Raster”. Para os critérios relativos à distância de subestações, distância de rodovias e distância de linhas de transmissão, empregou-se a ferramenta de análise “Proximidade”. A Figura 8 apresenta os mapas rasterizados e normalizados em escala variando de 0 a 1, conforme a classificação adotada, em que 0 representa as áreas mais desfavoráveis e 1 as áreas mais favoráveis à implantação de usinas fotovoltaicas, de acordo com cada fator analisado.

Figura 8 - Normalização dos critérios relativos.



Fonte: Os autores, 2025

### **Ponderação de critérios**

A ponderação de critérios envolve a atribuição de pesos a cada fator que contribui para determinado objetivo, com a finalidade de definir a importância relativa desses critérios. Quantificar essa importância relativa constitui uma das principais dificuldades encontradas em processos de apoio à decisão que lidam com múltiplos critérios. Além disso, cada fator pode apresentar diferentes graus de relevância para os diversos atores envolvidos no processo decisório, o que amplia ainda mais a complexidade dessas análises.

Os dados foram coletados por meio de entrevistas realizadas através de formulário on-line no Google Forms (<https://forms.gle/JPVzfxYfF8L8WN6r8>), aplicadas a nove especialistas da área fotovoltaica, todos com experiência em importantes empresas do setor energético no Brasil. As respostas aos questionamentos foram estruturadas com base na escala fundamental de Saaty, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Escala fundamental de Saaty

Valor	Definição
1	igual importância
3	importância pequena de uma sobre a outra
5	importância grande ou essencial
7	importância muito grande ou demonstrada
9	importância absoluta
2,4,6,8	valores intermediários

Fonte: Saaty, 1977.

A metodologia de comparação pareada, introduzida por Saaty (1977) por meio do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), consiste em um método utilizado para atribuir pesos a critérios ou fatores relativos. O processo envolve a comparação direta entre pares de fatores, resultando na atribuição de valores de importância relativa com base em uma escala predefinida. No AHP, os fatores são organizados em uma matriz quadrada de dimensão  $n \times n$ , na qual são dispostos simultaneamente em linhas e colunas. A ordem dos fatores é mantida de forma consistente ao longo dessas linhas e colunas. O Quadro 4 apresenta o resultado da ponderação dos critérios relativos.

Quadro 4 - Ponderação dos critérios relativos desconsiderando incoerências

CRL	Critério relativo	Ponderação (AHP)
CRL1	Potencial solar	31,7%
CRL2	Distância da rede de distribuição de energia	28,1%
CRL3	Distância de rodovias	22,2%
CRL4	Declividade do terreno	18,0%

Fonte: Os autores, 2025.

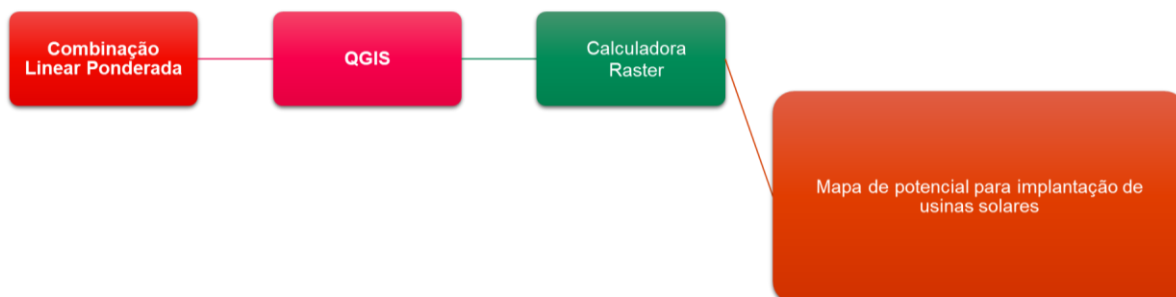
### **Combinação de critérios**

A técnica utilizada na etapa de combinação dos critérios foi a Combinação Linear Ponderada (CLP), que consiste na média ponderada dos fatores. Nesse método, as imagens normalizadas são combinadas por meio de uma equação definida durante o processo de atribuição de pesos às variáveis consideradas. Para cada critério representado por uma imagem normalizada (critérios relativos), os valores dos pixels são multiplicados pelos respectivos coeficientes (pesos). Posteriormente, os valores resultantes dos pixels localizados nas mesmas posições das imagens de cada critério são somados, gerando a imagem correspondente ao potencial de implantação de usinas fotovoltaicas em cada ponto da área de estudo.

Após a criação dos fatores no software QGIS para cada critério, aplicaram-se as ponderações por meio da ferramenta "Calculadora Raster". Em seguida, realizou-se o processamento do mapa de potencial

para implantação de parques fotovoltaicos, aplicando-se uma escala de cinza para facilitar a interpretação dos resultados. O esquema apresentado na Figura 9 ilustra a metodologia adotada no processo de combinação dos critérios.

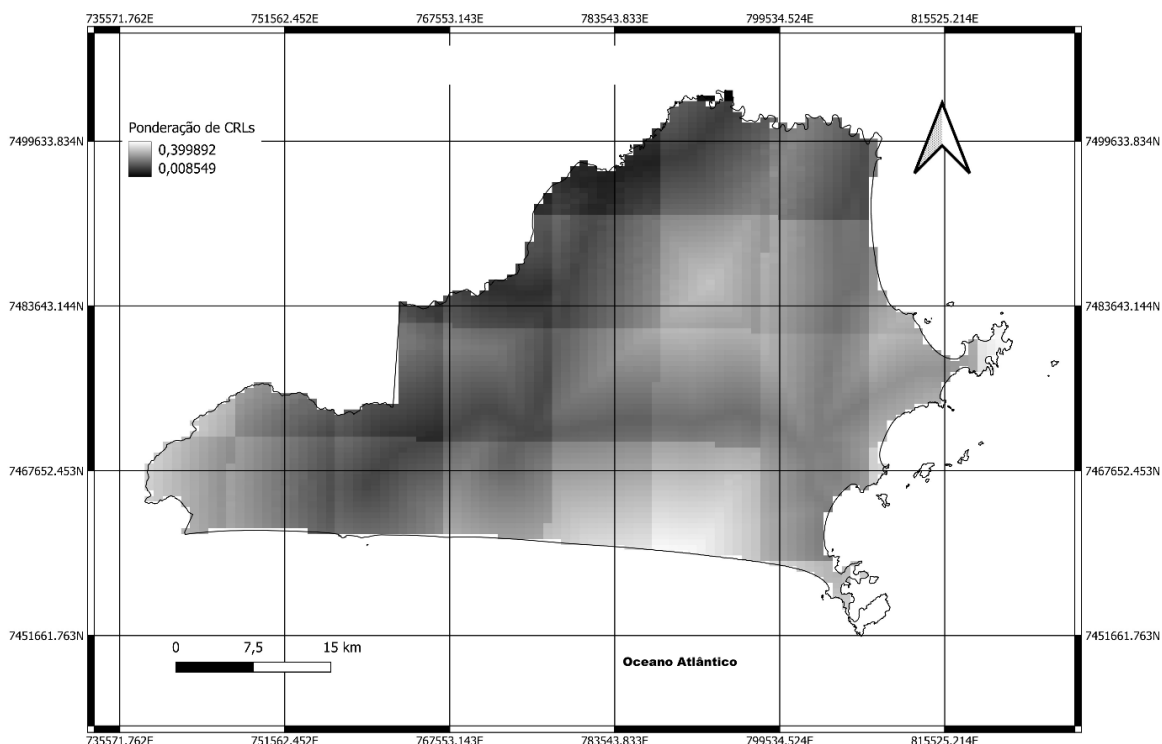
Figura 9 - Combinação de critérios.



Fonte: Os autores, 2025

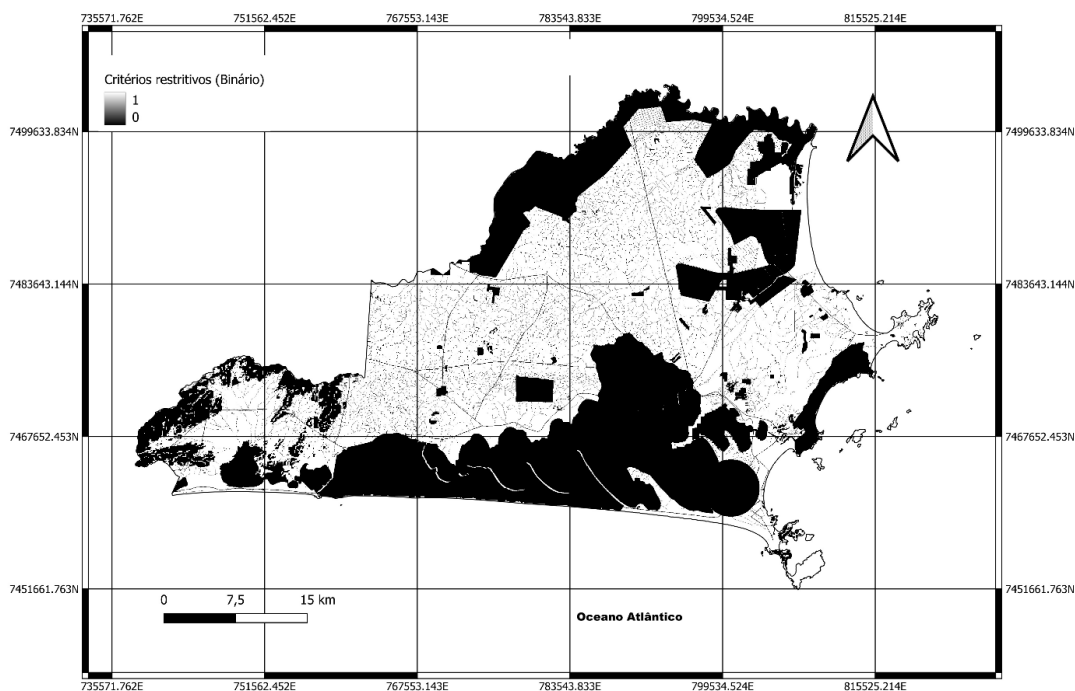
Os mapas das Figuras 10 e 11 representam os critérios relativos e restritivos ponderados. O mapa da Figura 11 apresenta uma escala binária, onde 0 representa as áreas inaptas para a implantação de usinas fotovoltaicas.

Figura 10 - Combinação de critérios relativos.



Fonte: Os autores, 2025

Figura 11 - Combinação de critérios restritivos e relativos.



Fonte: Os autores, 2025

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

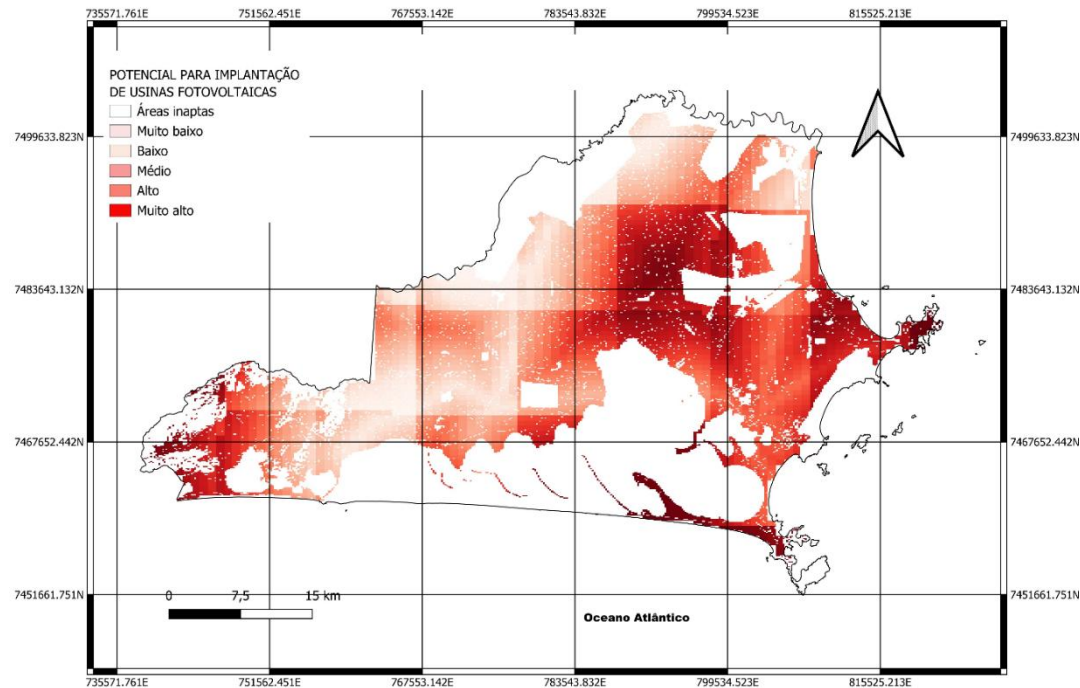
Após a definição e a ponderação dos critérios, foram obtidos os pesos correspondentes a cada critério relativo. Os critérios restritivos mostraram-se essenciais para a eliminação de áreas inviáveis à implantação de usinas solares fotovoltaicas. Os critérios relativos, por sua vez, foram combinados por meio da plataforma QGIS, na qual foi gerada uma *layer* de dados para cada um deles.

Para a obtenção do modelo final, identificaram-se e removeram-se as áreas desfavoráveis com base nos objetivos do estudo e nas condições socioeconômicas e socioambientais da região, contribuindo para aumentar a precisão do mapa de adequação territorial. A eliminação das áreas restritas foi realizada por meio da combinação do mapa final de restrições com o mapa de critérios relativos. O mapa resultante, apresentado na Figura 12, indica as áreas mais adequadas para a instalação de projetos fotovoltaicos na Microrregião dos Lagos (RJ), destacadas em tons de vermelho.

A abordagem metodológica utilizada neste estudo alinha-se à de outros trabalhos que empregam a análise multicritério (MCDM) em conjunto com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para identificar locais ideais à implantação de usinas solares. A combinação dessas ferramentas mostrou-se eficaz, corroborando os resultados de pesquisas semelhantes desenvolvidas em diferentes regiões, como Palestina (Braik et al., 2022) e Croácia (Gasparovic; Gasparovic, 2019). O modelo hierárquico espacial, fundamentado na matriz de comparações pareadas do método AHP, permitiu a atribuição de pesos aos critérios de maneira clara e objetiva. A ferramenta “Calculadora Raster” do QGIS foi fundamental para combinar os pesos e classificar as áreas mais adequadas, resultando em uma visão panorâmica e precisa do potencial regional para o aproveitamento da energia solar fotovoltaica.

Nesse contexto, torna-se imperativo que o planejamento de parques fotovoltaicos transcenda a eficiência técnica e incorpore a perspectiva da justiça energética. Estudos recentes, como os de Stock e Sovacool (2023), alertam para as injustiças associadas à implantação de parques solares em escala global, evidenciando como as transições energéticas podem reproduzir lógicas de marginalização de populações rurais e tradicionais quando desconsideram as especificidades socioterritoriais. Ao analisarem casos na Índia e nos Estados Unidos, os autores demonstram que a invisibilização dessas comunidades nos processos decisórios pode resultar em conflitos fundiários. Dessa forma, a aplicação do modelo SIG-AHP neste estudo, embora eficaz sob o ponto de vista geoespacial, reconhece a necessidade de evoluir para abordagens capazes de mitigar potenciais injustiças socioambientais na Região dos Lagos, no estado do Rio de Janeiro.

Figura 12 - Mapa de potencial para implantação de usina fotovoltaicas



Fonte: Os autores, 2025.

A ponderação dos critérios revelou que o potencial solar e a distância da rede de distribuição de energia constituem os fatores mais relevantes, com pesos de 31,7% e 28,1%, respectivamente. Essa priorização de critérios técnicos e econômicos está em consonância com a literatura recente sobre seleção de locais para usinas fotovoltaicas, que também enfatiza aspectos climatológicos, econômicos e técnicos (Tafula et al., 2023). A eficácia do modelo em uma microrregião como a dos Lagos Fluminenses demonstra sua aplicabilidade em diferentes escalas geográficas, resultado comparável ao de estudos realizados em áreas menores, como o da Ilha de Ulleung, na Coreia, que possui apenas 73 km<sup>2</sup> (Suh; Brownson, 2016). Essa validação metodológica em diferentes escalas reforça a capacidade de adaptação do modelo às diversas demandas do planejamento energético.

No entanto, é fundamental que a discussão contemple também as diferenças e os avanços em relação a outros estudos. Uma pesquisa recente desenvolvida em Kayseri, na Turquia (Demir et al., 2024), propôs uma nova abordagem para o método AHP, revisando os pesos dos critérios a fim de alinhá-los a relações objetivas e predefinidas, como a relação entre os custos de linhas de transmissão e de estradas. O estudo destaca que a subjetividade inerente ao AHP pode conduzir a resultados distintos e que a incorporação de dados objetivos tende a aumentar a precisão e a confiabilidade da seleção locacional. Essa técnica, embora mais complexa, demonstra como a análise de sensibilidade pode ser aprimorada para garantir maior robustez aos resultados. O presente estudo, que também emprega análise de sensibilidade, corrobora a consistência do método, uma vez que os resultados não apresentaram alterações significativas diante da variação dos pesos atribuídos.

Outro ponto relevante de comparação pode ser observado no estudo sobre seleção de áreas para usinas solares em Punjab, na Índia (Sharma; Sarin, 2025). Esse trabalho utilizou uma abordagem híbrida AHP-TOPSIS para avaliar cinco locais com base em sete critérios, incluindo irradiação solar, custo da terra, distância de linhas de transmissão e rodovias, capacidade de transmissão, sensibilidade ambiental e proximidade de corpos hídricos. Os resultados também ressaltaram a importância do recurso solar disponível, do custo da terra e da proximidade à infraestrutura. Assim como no presente estudo, a proximidade de rodovias e linhas de transmissão foi considerada fundamental para minimizar custos logísticos e perdas energéticas. Tal convergência demonstra a consistência da priorização de critérios técnicos e econômicos na literatura especializada, reforçando a validade do modelo proposto.

Embora o escopo deste estudo tenha definido massas d'água como critério restritivo, é importante destacar que os sistemas fotovoltaicos flutuantes (*Floating Photovoltaics* — FPV) representam uma

área promissora para futuras pesquisas na região (Silva; Souza, 2017). A tecnologia FPV oferece a vantagem de utilizar superfícies aquáticas para a instalação de módulos fotovoltaicos, mitigando impactos ambientais e reduzindo a ocupação de terras produtivas. Além disso, a água proporciona efeito de resfriamento natural, aumentando a eficiência da conversão fotovoltaica. A seleção de áreas para esses sistemas também pode ser otimizada pela combinação entre SIG e MCDA, conforme demonstrado em estudos aplicados a bacias hídricas e reservatórios (Di Grazia; Tina, 2024; Munkhbat; Choi, 2021). A abundância de lagos e reservatórios na microrregião dos Lagos Fluminenses torna a região potencialmente favorável à exploração dos FPVs em estudos futuros, podendo gerar benefícios econômicos e ambientais significativos.

Ademais, para além dos critérios técnicos e ambientais já explorados, a literatura e a prática do licenciamento ambiental apontam para a necessidade de considerar a proximidade de comunidades tradicionais e locais como critério restritivo ou de sensibilidade social. Embora este estudo tenha contemplado territórios quilombolas e indígenas, existem diversas comunidades tradicionais — caiçaras, extrativistas, entre outras — e populações rurais que extrapolam essas categorias e estão amparadas pela Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais (Decreto nº 6.040/2007). A incorporação de dados provenientes da Plataforma de Territórios Tradicionais (Ministério Público Federal, 2026) e do Mapa de Conflitos (FIOCRUZ, 2026) pode contribuir para mitigar riscos de injustiça ambiental e conflitos territoriais decorrentes da instalação de empreendimentos. Tais aspectos são fundamentais para garantir que a transição energética seja não apenas tecnicamente eficiente, mas também socialmente justa.

## CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo desenvolver um modelo baseado em análise multicritério e Sistemas de Informações Geográficas para identificar as áreas mais apropriadas à implantação de parques solares fotovoltaicos na microrregião dos Lagos, no estado do Rio de Janeiro. O método de tomada de decisão AHP demonstrou-se eficaz, permitindo sua associação ao SIG-MCDM para a identificação de locais com elevado potencial. O modelo desenvolvido mostrou-se capaz de identificar as áreas mais adequadas para a implantação de parques solares fotovoltaicos, fornecendo uma ferramenta metodológica relevante para auxiliar os tomadores de decisão durante o processo de planejamento.

Como recomendação para trabalhos futuros, ressalta-se a importância de aprofundar a análise de sensibilidade social, incorporando a proximidade de comunidades tradicionais e locais como critério restritivo adicional. Mostra-se fundamental a inclusão de dados georreferenciados referentes a territórios que extrapolam as categorias de quilombolas e indígenas, abrangendo comunidades rurais e caiçaras amparadas pela Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais (Decreto nº 6.040/2007). Ademais, reconhece-se como limitação deste estudo a dependência de bases de dados oficiais que, devido à morosidade histórica dos processos de demarcação no Brasil, podem omitir comunidades legítimas ainda em fase inicial de regularização. Soma-se a isso a necessidade de considerar, em etapas futuras, o mapeamento de vegetação nativa fora de unidades de conservação, garantindo o cumprimento do Código Florestal, além da análise de lençóis freáticos e poços artesianos por meio de bases da ANA, SRH e CPRM, tendo em vista que a demanda hídrica para manutenção dos painéis pode gerar conflitos locais. Para assegurar uma transição energética pautada na justiça social e na distribuição equitativa de benefícios, conforme discutido por Stock e Sovacool (2023), estudos subsequentes devem integrar esses territórios desde sua concepção, utilizando plataformas como a do Ministério Público Federal, o Mapa de Conflitos (FIOCRUZ, 2026) e o Atlas Global de Injustiça Ambiental (EJATLAS, 2026).

Além de sua aplicação direta, o modelo apresentado neste trabalho oferece oportunidades para que estudos futuros aprofundem as análises, buscando identificar localizações ideais para novos empreendimentos, com vistas ao aumento da eficiência e à redução de custos. Nesse sentido, a definição criteriosa dos fatores do estudo e a combinação dos mapas com os dados necessários resultaram na identificação clara das áreas aptas e com melhores índices de produtividade para a implantação de usinas solares fotovoltaicas. Em última análise, este trabalho contribui para o debate acerca do planejamento de infraestruturas de energia renovável, destacando a importância de avaliações territoriais criteriosas para o cumprimento das metas de desenvolvimento sustentável.

## AGRADECIMENTOS

Trabalho de pesquisa realizado no contexto das atividades do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento de Aplicações da Energia Solar Fotovoltaica (INCT-DAESF), com apoio do CNPq/MCTI/Brasil (Processo 408486/2024-4), FAPESP (Processo 2025/26902-8) e CAPES.

## REFERÊNCIAS

- AL GARNI, H.; AWASTHI, A. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. **Applied Energy**, v. 206, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>.
- AL-SHAMMARI, S. et al. Optimal Decision-Making in Photovoltaic System Selection in Saudi Arabia. **Energies**, v. 14, n. 357, 2021. <https://doi.org/10.3390/en14020357>.
- ASAKEREH, A. et al. 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. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.075>.
- BALAGUER, D. A.; ALVES, R. M. Análise multicritério e uso de SIG para projetos com uso de energia solar fotovoltaica: um estudo bibliométrico. In: III SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA: SINGEORB, 2021, Maceió. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 218-225. <https://doi.org/10.46421/singeb.v3i00.1072>
- BRAIK, A. H. et al. Geospatial Analysis of Photovoltaic Plants Potential in Palestine Using a GIS-AHP-Based Technique. **Int. J. Renew. Energy Res. (IJRER)**, v. 12, p. 479-488, 2022. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v12i1.12773.g8421>.
- BRASIL. Decreto nº 6.040, de 7 de fevereiro de 2007. **Institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais**. Brasília, DF: Presidência da República, 2007. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/decreto/d6040.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6040.htm). Acesso em: 02 mar. 2026.
- CARVALHO, H.; NUNES, F. G.; SANTOS, A. M. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COMO FERRAMENTA DE APOIO AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL NO ESTADO DE GOIÁS BRASIL. **Brazilian Geographical Journal**, v. 11, n. 2, 2020. <https://doi.org/10.14393/BGJ-v11n2-a2020-53536>.
- CELESTINO, V. S.; JULIÃO, R. P. APLICAÇÃO GEOGRÁFICA NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM POTENCIAL PARA GERAR ENERGIA POR FONTES RENOVÁVEIS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 3, 2017. <https://doi.org/10.14393/rbcv69n3-44343>
- CUI, L. et al. A GIS-Based Multidimensional Evaluation Method for Solar Energy Potential in Shanxi Province, China. **Energies**, v. 16, 1305, 2023. <https://doi.org/10.3390/en16031305>.
- DEMIR, A. et al. A novel method for the site selection of large-scale PV farms by using AHP and GIS: A case study in İzmir, Türkiye. **Solar Energy**, v. 259, p. 235-245, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.05.031>
- DEMIR, A. et al. A Novel Procedure for the AHP Method for the Site Selection of Solar PV Farms. **International Journal of Energy Research**, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/5535398>.
- DI GRAZIA, S.; TINA, G. M. Optimal site selection for floating photovoltaic systems based on Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): a case study. **International Journal of Sustainable Energy**, v. 43, n. 1, p. 2167999, 2024. <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2167999>.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. RESOLUÇÃO Nº 7, DE 2 DE MARÇO DE 2021. **Dispõe sobre o uso das faixas de domínio de rodovias federais sob circunscrição do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviaras/faixa-de-dominio/regulamentacao-atual/copy\\_of\\_resolucao72021.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviaras/faixa-de-dominio/regulamentacao-atual/copy_of_resolucao72021.pdf). Acesso em: 28 ago. 2025.
- EJATLAS. **Environmental Justice Atlas**. Barcelona: ICTA-UAB, 2026. Disponível em: <https://ejatlas.org/>. Acesso em: 02 mar. 2026.
- ESCOLANO, T.; PASTORE, V.; PEREIRA, C. A. Avaliação de Aptidão Técnica e Socioambiental para Implantação de Parques Solares Fotovoltaicos com Sistema de Informação Geográfica - SIG. **Revista Internacional de Ciências**, v. 10, n. 2, 2020. <https://doi.org/10.12957/ric.2020.46864>.

- FIOCRUZ. **Mapa de Conflitos Envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil**. Rio de Janeiro: NEEP/ENSP, 2026. Disponível em: <https://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/>. Acesso em: 02 mar. 2026.
- FRANGETTO, F. W.; MEIRA FILHO, L. G.; AMORIM, C. Demanda social por geração sustentável de eletricidade a partir da instalação de parques eólicos e fotovoltaicos: a transferência do ônus por impactos da nova tecnologia no território brasileiro. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, n. 32, p. 11-21, jul./dez. 2024. <http://dx.doi.org/10.38116/brua32art2>
- FUNAI. **Terras Indígenas**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>. Acesso em: 05 mai. 2025.
- GAŠPAROVIĆ, I.; GAŠPAROVIĆ, M. Determining Optimal Solar Power Plant Locations Based on Remote Sensing and GIS Methods: A Case Study from Croatia. **Remote Sens.**, v. 11, n. 1481, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11121481>.
- GIAMALAKI, M.; TSOOTSOS, T. Sustainable siting of solar power installations in Mediterranean using a GIS/AHP approach. **Renewable Energy**, v. 141, p. 64-75, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.100>.
- GÜNEN, 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. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.078>.
- HADDAD, B. et al. Mapping concentrated solar power site suitability in Algeria. **Renewable Energy**, v. 168, p. 838-853, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.081>.
- HTOO, T. M.; YABAR, H.; MIZUNOY, T. GIS-Based Cluster and Suitability Analysis of Crop Residues: A Case Study in Yangon Region, Myanmar. **Appl. Sci.**, v. 12, 11822, 2022. <https://doi.org/10.3390/app122211822>.
- IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Snapshot of Global PV Markets 2025. Task 1 Strategic PV Analysis and Outreach**, 2025.
- IBGE. **Panorama**. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/panorama>. Acesso em: 05 mai. 2025.
- IBGE. **Panorama**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/panorama>. Acesso em: 05 mai. 2025.
- IBGE. **Panorama**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/panorama>. Acesso em: 05 mai. 2025.
- IBGE. **Panorama**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/panorama>. Acesso em: 05 mai. 2025.
- INCRA. **Quilombolas**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/quilombolas>. Acesso em: 05 mai. 2023.
- INEA - Instituto Estadual do Ambiente. **Faixa Marginal de Proteção**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/2-Faixa-Marginal-de-Prote%C3%A7%C3%A3o-154-Mb.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2023.
- IPHAN. **Sítios Arqueológicos**. 2022. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1701/>. Acesso em: 05 mai. 2023.
- JUCÁ, S.; CARVALHO, P. C.; AGUIAR JUNIOR, J. A relevância dos sistemas de informação geográfica no desenvolvimento das energias renováveis. **Revista Ciências & Cognição**, v. 9, 2006. <https://doi.org/10.59627/cbens.2007.1770>
- MACEDO, M. et al. Selection of Potential Sites for Sustainable Development of Solar Photovoltaic Plants in Northeastern Brazil Using GIS and Multi-Criteria Analysis. **Journal of Management and Sustainability**, v. 11, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.5539/jms.v11n1p147>
- MARCUZZO, R.; SILBERG, T. R.; URIONA-MALDONADO, M. Growth of residential solar energy in Brazil: A system dynamics approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 215, 115582, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115582>
- MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Plataforma de Territórios Tradicionais**. Brasília, DF: MPF, 2026. Disponível em: <https://territoriostradicionais.mpf.mp.br/#/>. Acesso em: 02 mar. 2026

- MUNKHBAT, U.; CHOI, Y. GIS-Based Site Suitability Analysis for Solar Power Systems in Mongolia. **Applied Sciences**, v. 11, 3748, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11093748>.
- NOOROLLAHI, Y. et al. A framework for GIS-based site selection and technical potential evaluation of PV solar farm using Fuzzy-Boolean logic and AHP multi-criteria decision-making approach. **Renewable Energy**, v. 186, p. 89-104, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.12.124>.
- NZELIBE, I. U. et al. Geospatial Assessment and Mapping of Suitable Sites for a Utility-scale Solar PV Farm. **Geomatics and Environmental Engineering**, v. 16, n. 4, p. 79–101, 2022. <https://doi.org/10.7494/geom.2022.16.4.79>.
- ONU – Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.
- PECCI-OVIEDO, M. E. Buenas Prácticas Hacia El Cumplimiento Del ODS 7 “Energía Asequible Y No Contaminante”. **Revista Científica De La UCSA**, v. 7, n. 3, p. 72-75, 2020. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2020.007.03.072>.
- REDISKE, G. et al. Multi-criteria decision-making model for assessment of large photovoltaic farms in Brazil. **Energy**, v. 197, n. 117167, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117167>.
- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, jun. 1977. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- SHARMA, T.; SARIN, A. An integrated analytic hierarchy process and technique for order preference by similarity to ideal solution approach for solar site selection in Punjab (India): Evaluating potential for sustainable energy development. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 11, p. 101220, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101220>.
- SILVA, G. D. P.; SOUZA, M. J. R. Estimativa de geração de energia através de um sistema fotovoltaico: implicações para um sistema flutuante no Lago Bolonha, Belém-Pará. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 2, p. 1-11, jan.-jun. 2017. <https://doi.org/10.5380/rber.v6i2.46194>.
- SOUZA, V.; FIGUEIREDO, A. M. R.; ESPEJO, M. M. S. B. Challenges and strategies for managing end-of-life photovoltaic equipment in Brazil: Learning from international experience. **Energy Policy**, v. 188, 114091, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114091>
- SPYRIDONIDOU, S. et al. Towards a Sustainable Spatial Planning Approach for PV Site Selection in Portugal. **Energies**, v. 15, 8515, 2022. <https://doi.org/10.3390/en15228515>.
- STOCK, R.; SOVACOO, B. K. Left in the dark: Colonial racial capitalism and solar energy transitions in India. **Energy Research & Social Science**, v. 105, 103285, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103285>.
- SUH, J.; BROWNSON, J. Solar Farm Suitability Using Geographic Information System Fuzzy Sets and Analytic Hierarchy Processes: Case Study of Ulleung Island, Korea. **Energies**, v. 9, 648, 2016. <https://doi.org/10.3390/en9080648>.
- TAFULA, J. E. et al. Multicriteria Decision-Making Approach for Optimum Site Selection for Off-Grid Solar Photovoltaic Microgrids in Mozambique. **Energies**, v. 16, 2894, 2023. <https://doi.org/10.3390/en16062894>.
- TUNÇ, A. et al. GIS BASED SOLAR POWER PLANTS SITE SELECTION USING ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) IN ISTANBUL, TURKEY. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLII, n. 2/W13, 2019. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1353-2019>
- VAGIONA, D. G. Comparative Multicriteria Analysis Methods for Ranking Sites for Solar Farm Deployment: A Case Study in Greece. **Energies**, v. 14, 8371, 2021. <https://doi.org/10.3390/en14248371>.
- VILLACRESES, G. et al. Multicriteria Decision Analysis of Suitable Location for Wind and Photovoltaic Power Plants on the Galápagos Islands. **Energies**, v. 16, 29, 2023. <https://doi.org/10.3390/en16010029>.

Recebido em: 28/08/2025

Aceito para publicação em: 25/03/2026