

# **MAPEAMENTO DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS NO ESTADO DO PARANÁ**

[Gabriele Cabrera Panichi, Universidade  
Estadual de Londrina, (43) 998617280,

[gabriele.cabrera@uel.br](mailto:gabriele.cabrera@uel.br)]

[Letícia Cabrera, Universidade Estadual de  
Londrina, (43) 996355964,

[leticia.cabrera@uel.br](mailto:leticia.cabrera@uel.br)]

[Juliani Chico Piai Paiva, Universidade Estadual  
de Londrina, (43) 3371-5879, [jpiai@uel.br](mailto:jpiai@uel.br)]

## **Resumo**

O crescimento populacional global e a industrialização de países têm impulsionado um aumento significativo no consumo de energia elétrica, suscitando preocupações quanto à sua oferta. A atual matriz energética mundial é predominantemente composta por combustíveis fósseis altamente poluentes, como carvão e óleo (EPE, 2023). A substituição desses combustíveis tem sido promovida, principalmente após a Conferência das Partes (COP) liderada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, que estabeleceu os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015).

O Brasil é um dos países signatários da COP e, apesar de possuir uma vasta oferta de recursos naturais renováveis, enfrenta desafios em sua matriz energética, especialmente em termos de diversificação. Cerca de 61,9% da oferta interna de energia elétrica do país provém de fontes hidráulicas (EPE, 2023). Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica surge como uma alternativa promissora, dado o potencial solar em todas as regiões, com níveis de irradiação variando de 4.444 Wh/m<sup>2</sup> a 5.483 Wh/m<sup>2</sup> diariamente (Pereira et al., 2017).

O Paraná se destaca como um dos principais estados na geração de energia solar fotovoltaica distribuída, ocupando o 4º lugar no ranking nacional, com uma capacidade instalada de 2,46 GW em 2023 (SEMIL, 2024). No entanto, o número de usinas outorgadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no estado é relativamente pequeno, representando apenas 0,14% da potência instalada no país e ocupando o 11º lugar no ranking nacional. Além disso, destaca-se que a maior usina possui apenas 2MW de capacidade instalada (ANEEL, 2024).

Além disso, o mercado de energia elétrica no Brasil é predominantemente cativo, mas o Ambiente de Contratação Livre (ACL) está em expansão. Atualmente, o ACL responde por 39% do consumo de energia elétrica no país, podendo chegar a 46% com a abertura para consumidores do grupo A, sem limite mínimo de carga instalada, a partir de 2024 (Abraceel, 2023). Este mercado é visto como uma oportunidade para aumentar a geração de energia renovável e cumprir metas de transição energética, especialmente no que diz respeito à descarbonização, descentralização e digitalização da medição do consumo (Abraceel, 2023).

No âmbito do Mercado Livre, destacam-se três tipos de produtores de energia: a concessionária, o autoprodutor e o produtor independente. Para se tornar um produtor independente, o empreendimento, gerido por pessoa jurídica ou empresas em consórcio, deve possuir uma potência superior a 5MW. Considerando a inexistência de Usinas Solares Fotovoltaicas (UFVs) deste porte no Paraná, este artigo propõe um mapeamento do estado com o objetivo de identificar as melhores áreas para a implantação de UFVs com capacidade superior a 5MW.

## **Método**

A seleção apropriada de locais para a instalação de UFVs está conectada à compreensão dos fatores determinantes e ao método de escolha. Os critérios adotados foram identificados por meio de uma análise abrangente de estudos científicos e perspectivas especializadas. Dentro dos âmbitos técnico, econômico, social e ambiental, foram escolhidos critérios considerados relevantes, capazes de serem modelados por meio de bancos de dados de bases oficiais como o Instituto Água e Terra (IAT, 2023) e AMBDATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2024), sendo eles: irradiação solar; declividade; distância das linhas de transmissão, precipitação; preço da terra; temperatura anual média e umidade relativa anual.

Para manipular o banco de dados obtido, foi utilizada a metodologia de Decisão Multicritério (MCDM), juntamente com o Processo de Análise Hierárquica (AHP) (Saaty, 1987). Com essa ferramenta, são realizadas comparações pareadas dos critérios qualitativos selecionados e, para cada um dos critérios, o AHP estima o peso de sua importância através de uma matriz.

Primeiramente, para iniciar o processo de estabelecer esses pesos foram consultados especialistas em geração fotovoltaica para realizar a comparação par a par dos critérios em uma escala de 1 a 9, onde o 1 se refere à importância igual e o 9 à importância máxima, a partir disso, aplicou-se todo o processo do método AHP para a obtenção dos pesos de cada parâmetro.

Posteriormente, os respectivos pesos obtidos foram inseridos na ferramenta GIS. Neste caso, o software livre QGIS 3.28 Firenze® foi utilizado para o processamento dos dados e a elaboração dos mapas. Em seguida, os dados foram processados e analisados, e cada critério foi dividido em cinco parâmetros: Muito Baixo, Baixo, Moderado, Alto e Muito Alto. Essa divisão foi orientada pelo método AHP, que visa fracionar em cinco graus de importância principais.

Assim, o mapa do Paraná foi classificado por critério e por parâmetro, sendo o muito alto o melhor caso, muito baixo o pior caso, e retirando lugares inviáveis, como rios. Com essa divisão estabelecida, foi gerado no QGIS mapas individuais de cada critério, dividido nos mesmos cinco parâmetros do método AHP e seguindo a projeção SIRGAS 2000/ UTM 22S.

Para finalizar o seguinte estudo, foram sobrepostos os mapas de critérios no software, seguindo uma análise de relevância,

conforme os respectivos pesos de cada critério, formando um mapa final normalizado e classificado em cinco classes, dividido em variações de 13% com um total de 18% a 83% de viabilidade de implantação para usinas fotovoltaicas.

## Resultados

Após a aplicação do AHP foi obtido o resultado da Análise Multicritério. Observa-se que a Irradiação Solar ficou com maior peso, 24,9%, em concordância com estudos anteriores (ZILLES, 2016). Os pesos atribuídos aos critérios de declividade; distância das linhas de transmissão, precipitação; preço da terra; temperatura anual média e umidade relativa anual, foram respectivamente, 21,8%, 20,1%, 18,6%, 7,8%, 4,7% e 2,2%. A Umidade Relativa Anual obteve o menor peso devido à sua relação com a Precipitação Anual, evitando ambiguidade entre os critérios.

Os mapas revelam que o norte do Paraná possui maior irradiação solar e menor precipitação anual média, enquanto a região metropolitana e litoral enfrenta desvantagens nesses aspectos, além de distância das linhas de transmissão e umidade relativa mais elevada. O estado é predominantemente plano, com classificação alta em quase toda a sua extensão, e apresenta condições favoráveis de temperatura para a instalação de placas fotovoltaicas. A hidrografia principal do estado foi mapeada, mas afluentes e rios menores foram excluídos devido à complexidade computacional.

Com base nos mapas, os locais mais adequados para a implantação de usinas fotovoltaicas estão ao norte do estado, incluindo regiões do Noroeste paranaense e grande parte do Norte Pioneiro. Isso se deve principalmente à alta irradiação solar, menores distâncias das linhas de transmissão e baixos níveis de precipitação. A região metropolitana de Curitiba apresentou os menores índices de viabilidade. Assim, a viabilidade ficou acima de 70% em 7% do território total do estado e 65% do Paraná tem mais de 50% de viabilidade de construção de uma usina fotovoltaica.

## Conclusões

O estudo em questão, após completar todas as análises e procedimentos mencionados, gerou resultados que podem ser de grande utilidade para a comunidade envolvida no setor de energia solar, com direcionamento para o mercado livre de energia, especialmente investidores que almejam lucro através da comercialização de eletricidade. Ademais, esses resultados têm o potencial de incentivar o investimento em energia solar e fomentar estudos relacionados a ela.

Após a análise dos resultados, foi constatado um maior número de territórios viáveis para a implantação de usinas fotovoltaicas em comparação com áreas com baixa viabilidade. Isso aumenta as perspectivas de investimentos no estado e ampliação da participação de renováveis na matriz, especialmente a solar fotovoltaica.

## Referências Bibliográficas

Abraceel. Mercado livre avança e já responde por 92% geração centralizada. Energia Hoje, 2023. Disponível em: <<https://abraceel.com.br/press-releases/2023/08/mercado-livre-avanca-e-ja-responde-por-92-da-expansao-da-geracao-centralizada-de-energia-no-brasil/>>

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE. CCEE - Adesão ao Mercado de Energia Elétrica. 2024. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/mercado/adesao>>

Empresa de Pesquisa Energética- EPE. Balanço Energético Nacional 2023 – Ano Base 2022. Rio de Janeiro. Acessado em 20 de fevereiro de 2024. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>>.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). AMBDATA - Base de Dados para Modelagem de Distribuição de Espécies. 2024. Disponível em: <<https://www.dpi.inpe.br/Ambdata/download.php>>

Organização das Nações Unidas - ONU. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS Brasil. Acessado em 03 de março de 2024. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2. ed. São José dos Campos, Brasil INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017. 80 p. Disponível em: <<http://doi.org/10.34024/978851700089>>

Saaty, R. W. The analytic hierarchy process what it is and how it is used. Mathematical modelling, Elsevier, v.9, n.3-5, p.161–176, 1987. TERRAS, C. e. G. d. P. I. Instituto de. Dados e Informações Geoespaciais Temáticos. Curitiba: IAT, 2023. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Dados-e-Informacoes-Geoespaciais-Tematicos>>

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. de. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. [S.l.]: Oficina de textos, 2016.