

Multiparametric Identification of Favorable Regions for Wind or Solar Generation in the State of Pernambuco

A. B. Oliveira Neto, E. G. Costa, *Senior Member, IEEE*, T. V. Ferreira,
B. V. S. Araujo, L. N. T. Alves, K. B. Brito

Abstract—The capacity for renewable energy generation, particularly solar and wind, tends to grow over the years. However, locating regions favorable to the development of solar and wind generation is not trivial and is subject to errors due to the social, environmental, economic, political and administrative aspects of the regions. Therefore, this article proposes an algorithm based on digital image processing, capable of performing a variable weight multi-parameter evaluation and quantifying how favorable a given territorial region is for the implantation of wind or solar plants. Maps of the region under analysis are taken as input information. The region taken as a case study is the Brazilian state of Pernambuco, due to the access to data related to the evaluated characteristics: solar radiation, solar insolation, precipitation, air humidity, temperature, electrogeography, demographic density, environmental protection areas, slope, hydrography, wind speed, urban spot and the presence of aerodromes. It was possible to list for each type generation (wind or solar, exclusively), the 15 most favorable regions for the implementation plants. Furthermore, the proposed technique presents a practical indifference to the territorial extension of the evaluated region, which can comprehend a micro-region or an entire continent, requiring only that sufficiently detailed maps of the evaluated characteristics be provided.

Index Terms — Wind generation, solar generation, digital image processing, algorithm, parametrization, decision making, geoprocessing.

INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis tem se mostrado indispensável para a sociedade moderna, sendo cada vez mais representativa nas matrizes energéticas dos países. As adições anuais à capacidade global de geração de eletricidade por fontes renováveis devem atingir, em média, cerca de 305 GW por ano entre 2021 e 2026.

A. B. Oliveira Neto, L. N. T. Alves e K. B. Brito são estudantes de pós-graduação no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPgEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil (antonio.oliveira@ee.ufcg.edu.br, lidja.alves@ee.ufcg.edu.br, kal.brito@ee.ufcg.edu.br)

E. G. Costa é professor no PPgEE/UFCG Campina Grande, Brasil (edson@dee.ufcg.edu.br).

B. V. S. Araujo é estudante de pós-graduação no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PROEE) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Brasil (brunomezenga@academico.ufs.br).

T. V. Ferreira é professor no PROEE/UFS e no PPgEE/UFCG (tarso@academico.ufs.br).

Neste período a energia solar fotovoltaica será responsável por 60% de todas as adições de capacidade renovável, com quase 1.100 GW nesse período.

As adições de energia eólica *onshore* até 2026 devem ser quase 25% maiores, em média, do que no período de 2015-2020. A capacidade eólica *offshore* total deve mais do que triplicar até 2026 [1].

Paralelamente ao crescimento da capacidade instalada, avanços são realizados na eficientização dos sistemas de geração por fontes renováveis. Tais avanços decorrem de trabalhos que visam identificar tendências tecnológicas [2-3], realizar análise e otimização de investimentos futuros de implantação [4, 5], ou mesmo aperfeiçoar a eficiência de equipamentos existentes nas plantas de geração, a exemplo dos esforços para rastreamento do ponto de máxima potência na operação de sistemas fotovoltaicos [6-12].

Não obstante, a avaliação do local de instalação de um empreendimento no âmbito do planejamento energético, como um processo público e de planejamento técnico, deve ser flexível, contínuo e de longo prazo, com foco em aspectos sociais, ambientais, econômicos, políticos e administrativos [13].

Segundo a ANEEL [14], a geração de energia elétrica próxima ao local de consumo gera economia nos investimentos em transmissão, redução das perdas nas redes e melhoria da qualidade do serviço de energia elétrica. Do ponto de vista da geração centralizada, solar ou eólica quanto maior a densidade demográfica, maior a carga ligada ao sistema e mais propício o investimento de geração em suas proximidades.

Assim, fatores como proximidade de centros consumidores, de linhas de transmissão, de subestações; acidentes geográficos e reservas florestais; e a presença de rios, açudes etc. devem ser considerados ou ponderados.

A decisão da implantação de uma usina eólica é baseada em aspectos relacionados ao comportamento dos ventos, como velocidade, altura e direção [15-16]. Na implantação de uma usina solar, o fator preponderante é a irradiação diária [17-22]. Segundo [23], a produção diária de energia por sistemas fotovoltaicos pode ser prevista simplesmente com base na irradiação diária.

Diversos trabalhos, ao longo dos anos, reportam desenvolvimentos visando a identificação de regiões e fatores com características mais favoráveis ou menos favoráveis à implantação de unidades de geração solar ou eólica. Em [24],

bem como em [25] foram analisados os impactos da temperatura no desempenho elétrico do módulo fotovoltaico e, consequentemente, na geração solar. No trabalho descrito em [26], o geoprocessamento foi aplicado na análise dos efeitos da irradiação solar, insolação solar, precipitação, umidade do ar, eletrogeografia e das áreas de proteção ambiental em unidades de geração solar. Em [27-28] apresenta-se uma análise multicritério utilizando o Sistema de Informação Geográfica (GIS, do inglês *Geographic Information System*) para implantação de parques eólicos, respectivamente, na região do mar báltico e do continente africano, sendo que [27] baseou-se em entrevistas com especialistas em planejamento espacial da região do Mar Báltico. Em [28-30] são realizadas análises multicritério utilizando o GIS para identificar localidades com potencial de geração solar, respectivamente, nas regiões da Tanzânia, Maurício, Arábia Saudita e Brasil. Ademais, em [31] é feita uma avaliação com base em GIS do potencial energético para várias fontes de energia renováveis de diversas regiões costeiras do leste da China. Dessa forma, pode-se facilitar, estrategicamente, a seleção da matriz energética ideal para cada localidade.

Pomares et al. [32] recorreram ao geoprocessamento para identificar regiões que reunissem características favoráveis à geração solar: irradiação solar; insolação solar; e hidrografia. Já em [33] foram estudados os efeitos das condições de radiação solar, temperatura do ar ambiente, temperatura da célula PV, umidade relativa e dados de velocidade do vento na geração fotovoltaica.

Buscando agregar uma maior quantidade de características relevantes ao mapeamento e aumentar a objetividade da avaliação, no trabalho de Oliveira Neto et al. [34] foi apresentado um algoritmo baseado no processamento digital de imagens para identificação de localizações com características favoráveis à implantação de grandes unidades de geração solar. O algoritmo permite a avaliação da influência, além da irradiação solar, de outras variáveis como precipitação, insolação solar, densidade demográfica, mapa eletrogeográfico e áreas de proteção ambiental na favorabilidade da localização territorial de instalação de um sistema de geração solar. No ano seguinte, Oliveira Neto et al. [35] ampliaram a abrangência do algoritmo empregado em [34], passando a considerar variáveis externas como o preço do quilowatt-hora em estudos de casos específicos, além de realizar a comparação entre os mesmos.

Pelo exposto, demonstra-se a necessidade de considerar a inclusão de todos os fatores, objetivamente quantificados, na determinação de regiões para a implantação de unidades de geração solar fotovoltaica (GSF) ou eólica mais eficazes. Com esse propósito, neste artigo, uma evolução do algoritmo apresentado em [34] é empregada para identificar, de forma multiparamétrica, a aptidão de municípios do estado de Pernambuco à geração em parques eólicos ou geração solar fotovoltaica (a geração solar heliotérmica, apesar de poder ser alvo do algoritmo proposto, não é contemplada neste trabalho). Como aperfeiçoamento da técnica, são considerados pesos distintos para cada parâmetro de entrada do algoritmo, coletados a partir de consultas a especialistas na área de energias renováveis. Adicionalmente, são executadas análises

relacionadas com a implantação de centrais de geração eólica (GE). Mapas da região em estudo são empregados como entrada do método.

METODOLOGIA

Com o intuito de determinar as áreas mais favoráveis à instalação de unidades de geração fotovoltaica e parques eólicos no estado de Pernambuco, foram utilizadas informações de entrada na forma de mapas. Na Fig. 1 são mostrados os mapas da velocidade dos ventos (100 m de altitude), da presença de aeródromos, da eletrogeografia, da média anual da irradiação solar global (5,0 a 5,6 kWh/m²/dia) e média anual da insolação solar (6 a 7,5 horas), todos referentes ao estado de Pernambuco.

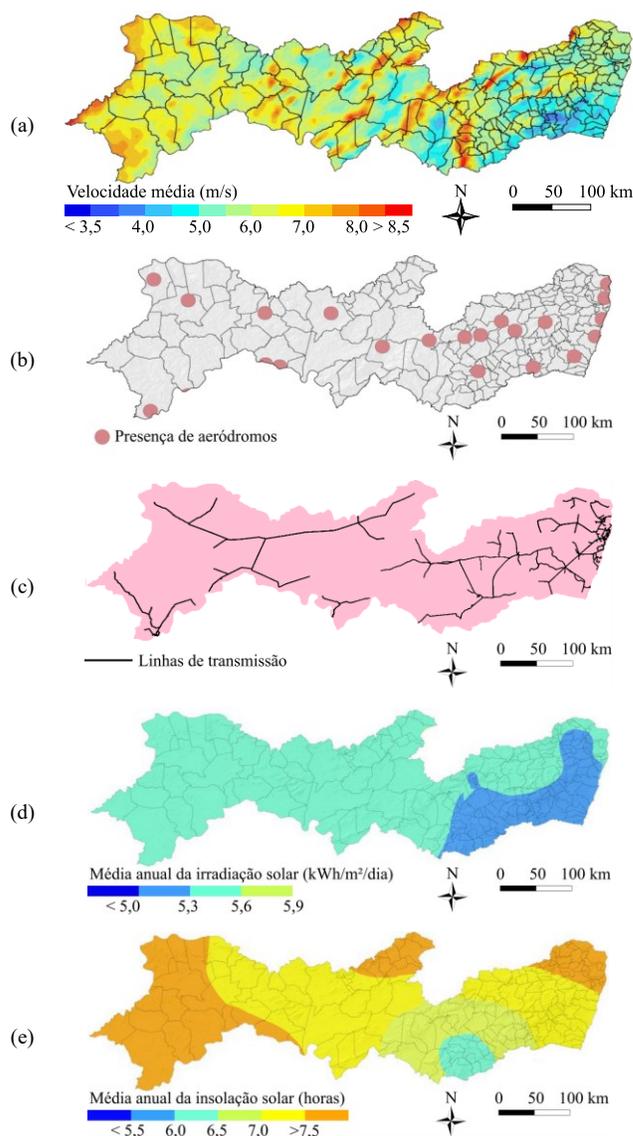


Fig. 1. Exemplos de mapas empregados como entradas: (a) Velocidade dos ventos no estado de Pernambuco em 2013; (b) Presença de aeródromos no estado de Pernambuco em 2013; (c) Rede básica no estado de Pernambuco em 2013, adaptado de [36]; (d) Média anual da irradiação solar no estado de Pernambuco em 2013; (e) Média anual da insolação solar no estado de Pernambuco em 2013.

A maioria dos mapas foi construída a partir de informações

georreferenciadas, obtidas por meio de satélites e medições gentilmente fornecidos pela Aeroespacial Tecnologia em Energia e Sistemas Renováveis Ltda. Os dados passaram por processamento estatístico, controle de qualidade e validação. O mapa eletrogeográfico da rede básica de Pernambuco foi obtido junto à Chesf [36]. Visando evitar conflitos de interesse, os dados empregados para ilustrar este trabalho referem-se a 2013.

Com o objetivo de realizar o processamento das informações contidas nos mapas, foi desenvolvido em ambiente MATLAB® o algoritmo de identificação de região propícia (AIRP). O AIRP é composto por sub-rotinas que usam recursos de processamento digital de imagens (PDI) para o tratamento das imagens dos mapas, visando a padronização e conversão em matrizes bidimensionais, bem como sua posterior síntese e representação final como mapa de saída (resultado georreferenciado). O fluxo de operações do AIRP pode ser visto na Fig. 2.

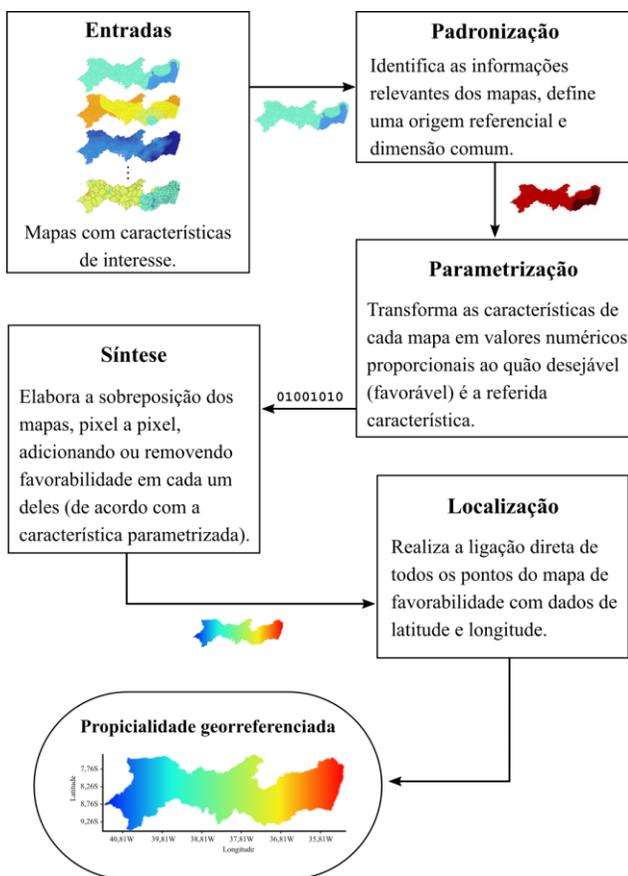


Fig. 2. Estrutura do AIRP.

A descrição de cada um dos blocos do fluxograma da Fig. 2 está elencada a seguir:

- Na sub-rotina de padronização é realizada uma varredura nas imagens dos mapas e são identificadas as informações relevantes, ao tempo em que se excluem informações não essenciais, como legendas, textos em geral, fronteiras políticas, etc. Na sequência, define-se uma origem referencial para a imagem e padronizam-se suas dimensões (a origem referencial e as dimensões são padronizadas em todos os mapas).

- Na sub-rotina de parametrização é realizada a transformação da característica originalmente apresentada em cada mapa (umidade, irradiação, etc.) em valores numéricos proporcionais ao quão desejável (favorável) é a referida característica. Para tanto, os valores proporcionais relacionados com as características substituem, pixel a pixel, os valores RGB na matriz que descreve a imagem. Deste ponto em diante, no processamento, as imagens são representadas por matrizes bidimensionais monocromáticas (escala de cinza cujos valores são proporcionais à escala da grandeza representada originalmente no mapa);
- Na sub-rotina de síntese é elaborada a sobreposição dos mapas, pixel a pixel, adicionando ou removendo (somando ou subtraindo) favorabilidade em cada um deles (de acordo com a característica parametrizada e normalizada), de modo que seja possível a obtenção do mapa de favorabilidade;
- Na sub-rotina de localização é realizada, com base na origem referencial previamente definida, a ligação direta de todos os pontos do mapa de favorabilidade com dados de latitude e longitude, permitindo assim a definição da posição geográfica de cada pixel.

Conforme conceitualmente exposto na Fig. 3, a sub-rotina de síntese realiza uma soma ponderada de matrizes bidimensionais, as quais foram geradas a partir das características presentes em cada tipo de mapa [34]. No momento da soma, as características podem ter pesos iguais, ou tais pesos podem ser ajustados para refletir melhor a importância de cada característica, de acordo com a particularidade do projeto de geração que se realiza [13].

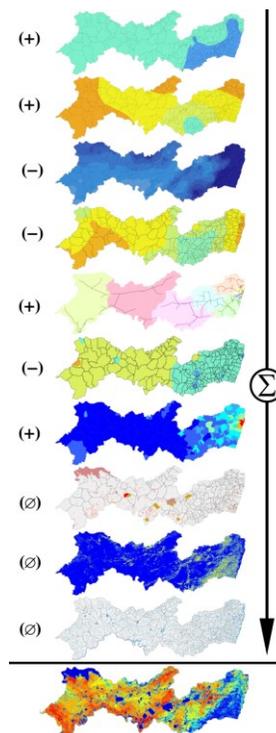


Fig. 3. Diagrama de exemplo da execução da sub-rotina de síntese aplicada a geração solar fotovoltaica. De cima para baixo: irradiação solar, insolação solar,

precipitação, temperatura, eletrogeografia, umidade relativa do ar, densidade demográfica, áreas de preservação, declividade, hidrografia e favorabilidade para geração solar fotovoltaica (como soma).

Características que contribuem positivamente para a redução de custo de implantação e para funcionamento do parque gerador são incluídas no somatório com sinal positivo (+), como por exemplo: velocidade do vento (para GE) [37], disposição eletrogeográfica [38] e densidade demográfica [39-40] (proximidade de centros consumidores). No caso específico da densidade demográfica, a proximidade dos centros consumidores foi considerada fator de contribuição positiva devido à redução de investimentos em sistemas de transmissão. Contudo, em outros estudos de caso, este fator pode ter contribuição negativa ou até proibitiva, dado que grandes centrais de GSF ou GE ocupam espaços geralmente indisponíveis em áreas fortemente urbanizadas.

De forma oposta, características que contribuem negativamente são incluídas no somatório com sinal negativo (-), como por exemplo: precipitação [41] e temperatura [41], considerando-se a GSF.

Regiões com características proibitivas são representadas por um círculo cortado (\emptyset), possuindo caráter excludente. São exemplos: áreas de preservação [42]; circunvizinhanças de aeródromos (para GE) [42]; e corpos d'água [42] (pesar de ser possível a implantação de GSF ou eólica em corpos d'água, devido aos custos envolvidos, neste trabalho a condição foi considerada proibitiva).

Desta forma, o resultado da sub-rotina de síntese é uma matriz que condensa as características dos mapas de entrada, numericamente representadas considerando o quanto cada uma delas auxilia ou prejudica a eficiência, processo de construção e operação do parque gerador. O resultado é um mapa de favorabilidade georreferenciado.

Após a execução do AIRP, diversas análises podem ser conduzidas. Uma das mais diretas é a elaboração de uma lista das cidades com maiores favorabilidades de geração, em cada situação analisada. Também é possível comparar cenários variados de um mesmo tipo de geração, empregando-se pesos iguais e pesos distintos. Ao se utilizar pesos iguais, infere-se objetividade aos resultados, o que pode ser vantajoso em análises iniciais; com pesos distintos têm-se resultados direcionados às características tomadas como mais relevantes na sobreposição das informações.

Dessa forma, especialistas em GE e GSF foram convidados a atribuir pesos às características, tendo em mente os aspectos de instalação das unidades geradoras de energia solar e eólica em estudo. A consulta a especialistas permite internalizar ao método a expertise de pessoas habitualmente ambientadas no tema. Apesar de permitir também a agregação de alguma subjetividade à tomada de decisão, este tipo de abordagem é essencial em diversas abordagens de problemas em que a tomada de decisão envolve múltiplos critérios, como exemplificado em [43].

Considerando a versatilidade que o método proporciona, seis cenários hipotéticos baseados no estado de Pernambuco foram compostos, permitindo atender diferentes interesses de análise., conforme detalhado nas subseções a seguir.

A. Geração Eólica com Pesos Iguais

Neste cenário é avaliada a favorabilidade de instalação de parques eólicos, considerando-se as características apresentadas na Tabela I. Os pesos das características na execução da sub-rotina de síntese foram considerados iguais (33,33% para cada característica não proibitiva). Apesar de a umidade relativa do ar e a precipitação impactarem na GE, estes fatores não foram considerados nesta análise inicial (bem como no caso "B", a seguir).

TABELA I
CARACTERÍSTICAS CONSIDERADAS NA GE COM PESOS IGUAIS

ITEM AVALIADO	CONTRIBUIÇÃO
Velocidade dos ventos a 100 m de altitude [37]	+
Eletrogeografia [38]	+
Densidade demográfica [39-40]	+
Presença de aeródromos [42]	\emptyset
Mancha urbana [42]	\emptyset
Áreas de preservação ambiental [42]	\emptyset
Declividade [42]	\emptyset
Hidrografia [42]	\emptyset

B. Geração Eólica com Pesos Distintos

Este cenário considera as mesmas características do cenário anterior (II.A), contudo os pesos das características na execução da sub-rotina de síntese são diferentes. Foram consultados especialistas da área de energias renováveis, os quais atribuíram pesos a cada uma das características consideradas. As respostas dos diferentes especialistas foram unificadas (para cada característica) através do cálculo de uma média simples.

C. Geração Solar Fotovoltaica Centralizada com Pesos Iguais

Neste cenário busca-se avaliar a favorabilidade à implantação de unidades geradoras solares centralizadas. As características consideradas são apresentadas na Tabela II. Os pesos das características na execução da sub-rotina de síntese foram considerados iguais (14,28% para cada característica não proibitiva). Este cenário realiza análise similar às análises realizadas em [34] e [35], permitindo a comparação de resultados.

TABELA II
CARACTERÍSTICAS CONSIDERADAS NA GSF CENTRALIZADA, PESOS IGUAIS

ITEM AVALIADO	CONTRIBUIÇÃO
Irradiação solar [41]	+
Insolação solar [41]	+
Precipitação [41]	-
Temperatura [41]	-
Eletrogeografia [38]	+
Umidade relativa do ar [41]	-
Densidade demográfica [39-40]	+
Áreas de preservação ambiental [44]	\emptyset
Declividade [44]	\emptyset
Hidrografia [44]	\emptyset

D. Geração Solar Fotovoltaica Centralizada com Pesos Distintos

Este cenário considera as mesmas características do cenário descrito na seção II.C, contudo os pesos das características na execução da sub-rotina de síntese foram considerados distintos. As definições dos pesos seguiram o método descrito na seção II.B.

E. Geração Solar Fotovoltaica Distribuída com Pesos Iguais

Neste cenário busca-se avaliar a favorabilidade à implantação de unidades geradoras solares distribuídas. Como as áreas envolvidas são relativamente pequenas e geralmente tomam lugar em imóveis já existentes, não foram considerados fatores restritivos como reservas ambientais, declividade acentuada e corpos d'água. Considerando ainda que na geração distribuída a injeção de potência se dá no sistema de distribuição, o impacto da eletrogeografia também foi desconsiderado.

As características consideradas são apresentadas na Tabela III.

ITEM AVALIADO	CONTRIBUIÇÃO
Irradiação solar [41]	+
Insolação solar [41]	+
Precipitação [41]	-
Temperatura [41]	-
Umidade relativa do ar [41]	-

Procurou-se, essencialmente, identificar os municípios mais propícios e destacar os impactos do uso de pesos iguais e distintos nos resultados.

F. Geração Solar Fotovoltaica Distribuída com Pesos Distintos

Este cenário considera as mesmas características do cenário descrito na seção II.E, contudo, os pesos das características na execução da sub-rotina de síntese foram considerados distintos. As definições dos pesos seguiram o método descrito na seção II.B.

Por fim, uma análise das faixas de favorabilidade relativamente à área do estado de Pernambuco foi realizada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos seis cenários avaliados são apresentados e comentados nas subseções a seguir.

A. Geração Eólica com Pesos Iguais

No estudo de caso da GE com pesos iguais foi obtido o mapa final com a localização geográfica, como observado na Fig. 4, em que as regiões mais propícias estão destacadas em vermelho.

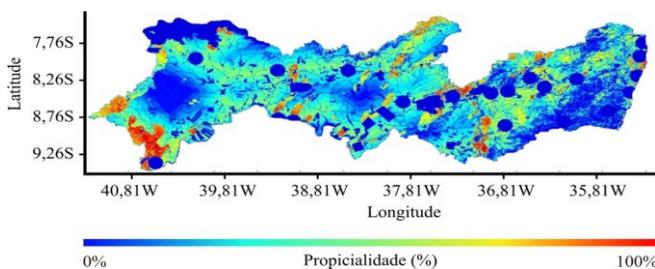


Fig. 4. Favorabilidade georreferenciada para GE no estado de Pernambuco (pesos iguais).

A partir da Fig. 4 pode-se perceber, em azul mais escuro, as regiões indisponíveis para implantação da GE: áreas de preservação, circunvizinhanças de aeródromos e corpos d'água. Também pode-se perceber que, para este conjunto de

características de entrada adotadas, as regiões tendem a perder favorabilidade conforme afastam-se das linhas de transmissão, apresentadas na Fig. 1c.

B. Geração Eólica com Pesos Distintos

No estudo da GE centralizada considerando parametrização com pesos distintos, os pesos atribuídos às características, fornecidos pelos especialistas em geração renovável do Brasil e do exterior, foram consideradas no estudo. Uma média simples foi calculada a partir das respostas destes especialistas, e o resultado é apresentado na Tabela IV.

ITEM AVALIADO	PESO (%)
Velocidade dos ventos	39,86
Eletrogeografia	30,80
Densidade Demográfica	29,35
Áreas de preservação ambiental	Excludente
Declividade	Excludente
Hidrografia	Excludente
Aeródromos	Excludente

O resultado da execução do AIRP considerando os novos pesos é apresentado na Fig. 5. Comparando-se as Fig. 4 e 5, percebe-se que as regiões com elevadas velocidades de ventos continuam em destaque. As regiões proibitivas também se conservam da mesma maneira. Contudo, a importância da disposição das linhas de transmissão foi um pouco reduzida.

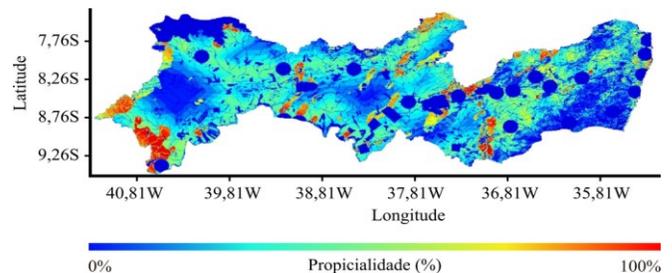


Fig. 5. Favorabilidade georreferenciada para GE no estado de Pernambuco (pesos distintos).

Na Tabela V apresenta-se uma lista com os 15 municípios com maior potencial de GE no estado de Pernambuco, considerando as características colocadas e as variações do algoritmo com pesos iguais e distintos.

PESOS IGUAIS		PESOS DISTINTOS	
MUNICÍPIO	FAV. (%)	MUNICÍPIO	FAV. (%)
Camocim de S. Félix	77	Belo Jardim	74
Arcoverde	72	Bezerros	74
Bezerros	72	Bodocó	74
Caruaru	72	Bom conselho	74
Olinda	72	B. de M. de Deus	74
Pesqueira	72	Camocim de S. Félix	74
Recife	72	Custódia	74
Petrolina	70	Exu	74
Jab. dos Guararapes	65	Flores	74
Santa Terezinha	65	Gravatá	74
Afrânio	63	Petrolina	74
Bom Conselho	63	Petrolândia	74
Brejinho	63	Lagoa Grande	72
Verdejante	63	Afrânio	71
São José de Belmonte	63	Arcoverde	71

Na Fig. 6 são listados os municípios apresentados na Tabela V que tiveram ocorrência tanto na análise com pesos iguais quanto com pesos distintos.

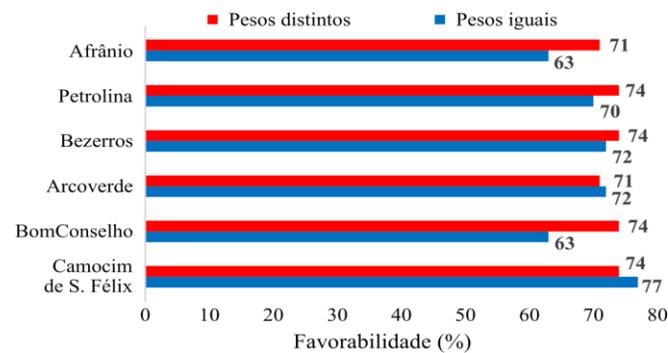


Fig. 6. Comparação da favorabilidade entre municípios presentes nas duas análises para GE.

Nesta situação de estudo, ao se observar as Fig. 4 a 6 e a Tabela V, constata-se que os grupos isolados de regiões potenciais geradoras em relação ao estudo com pesos iguais e distintos foram alterados, ocorrendo acréscimos e decréscimos de favorabilidade em alguns municípios. Na maioria dos casos, a aplicação dos pesos distintos aumentou a favorabilidade das cidades avaliadas. Nos casos em que a favorabilidade foi maior para as análises com pesos iguais (Arcoverde e Camocim de S. Félix), percebe-se que a diferença de favorabilidade entre as duas análises foi menor.

Por outro lado, destaca-se o município de Belo Jardim, que não figurava na Tabela V quando considerados os pesos iguais, e é o primeiro da lista considerando pesos distintos. Isto é devido ao município apresentar de forma equilibrada boa velocidade de ventos, densidade demográfica e proximidade a linhas de transmissão. Também se observa na Tabela V que os pesos arbitrados pelos especialistas em geração renovável tenderam a deixar a distribuição mais equânime.

C. Geração Solar Fotovoltaica Centralizada com Pesos Iguais

O mapa resultante da aplicação do processamento proposto considerando a GSF centralizada com pesos iguais é apresentado na Fig. 7.

Percebem-se as regiões proibitivas em azul e as mais atrativas em vermelho. Destacam-se as proximidades do Rio São Francisco (como Petrolina e Petrolândia) e cidades do agreste com razoável consumo de energia elétrica, como Caruaru.

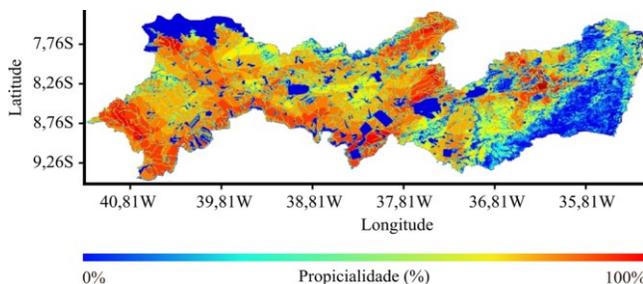


Fig. 7. Favorabilidade georreferenciada para GSF centralizada com pesos iguais no estado de Pernambuco.

D. Geração Solar Fotovoltaica Centralizada com Pesos Distintos

No estudo da GSF centralizada considerando parametrização com pesos distintos, apresentam-se as médias das respostas dos especialistas na Tabela VI.

TABELA VI
PESOS ATRIBUÍDOS POR ESPECIALISTAS ÀS
CARACTERÍSTICAS PARA GSF CENTRALIZADA

ITEM AVALIADO	PESO (%)
Irradiação solar	18,05
Insolação solar	17,89
Precipitação	14,57
Temperatura	13,46
Eletrogeografia	12,59
Umidade relativa do ar	12,35
Densidade demográfica	11,08
Áreas de preservação ambiental	Excludente
Declividade	Excludente
Hidrografia	Excludente

O resultado da aplicação destes pesos no AIRP pode ser visualizado na Fig. 8, na forma de mapa.

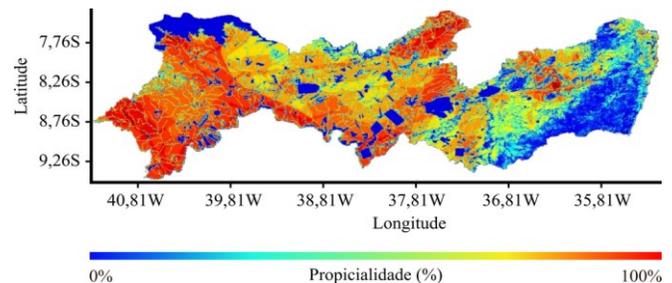


Fig. 8. Favorabilidade georreferenciada para GSF centralizada com pesos distintos no estado de Pernambuco.

Na Tabela VII apresenta-se uma lista com os 15 municípios com maior potencial de GSF no estado de Pernambuco, considerando as características colocadas.

TABELA VII
MAIORES FAVORABILIDADES PARA GSF CENTRALIZADA

PESOS IGUAIS		PESOS DISTINTOS (%)	
MUNICÍPIO	FAV. (%)	MUNICÍPIO	FAV. (%)
Petrolina	64	Caruaru	64
Petrolândia	64	Itapetim	64
São José do Egito	64	Petrolina	64
Araripina	63	Riacho das Almas	64
Caruaru	63	Afrânio	63
Inajá	62	Belém de S. Francisco	63
Afrânio	62	Bezerros	63
Bezerros	62	Sertânia	63
Sertânia	62	A. da Ingazeira	63
Tacaratu	62	Riacho das Almas	63
A. da Ingazeira	61	São José do Egito	63
Jatobá	61	Tuparetama	62
S. C. do Capibaribe	61	B. da M. de Deus	61
Tabira	61	Cabrobó	61
Trindade	61	S. C. do Capibaribe	61

Pode-se observar, na Fig. 9, um gráfico de barras representando os municípios apresentados na Tabela VII que tiveram ocorrência tanto na análise com pesos iguais quanto com pesos distintos.

Confrontando-se as os resultados das Fig. 7 a 9, bem da Tabela VII, percebe-se o aumento da favorabilidade de

municípios como Caruaru e Bezerros, favorecidos pelo incremento de peso de características como a irradiação e insolação solar, que possuem os maiores índices nessas regiões.

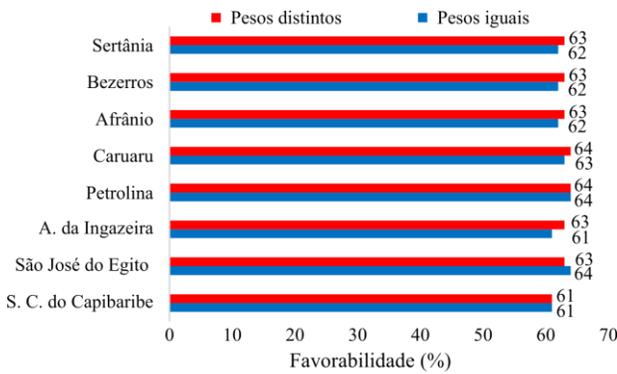


Fig. 9. Comparação da favorabilidade entre municípios presentes nas duas análises para GSF concentrada.

Na maioria dos casos, a aplicação dos pesos distintos aumentou a favorabilidade das cidades avaliadas, com exceção de São José do Egito, Santa Cruz do Capibaribe e Petrolina. Nesta análise, contudo, as variações foram sempre inferiores a 2 %.

E. Geração Solar Fotovoltaica Distribuída com Pesos Iguais

O resultado da aplicação do AIRP considerando a GSF distribuída com pesos iguais é apresentado na Fig, 10.

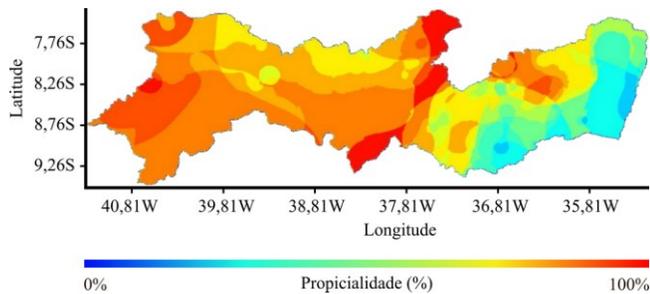


Fig. 10. Favorabilidade georreferenciada para GSF distribuída com pesos iguais no estado de Pernambuco.

F. Geração Solar Fotovoltaica Distribuída com Pesos Distintos

No estudo da GSF distribuída considerando parametrização com pesos distintos, apresentam-se as médias das respostas dos especialistas na Tabela VIII.

TABELA VIII
PESOS ATRIBUÍDOS POR ESPECIALISTAS ÀS
CARACTERÍSTICAS PARA GSF DISTRIBUÍDA

ITEM AVALIADO	PESO (%)
Irradiação solar	24,46
Insolação solar	23,59
Precipitação	17,97
Temperatura	18,40
Umidade relativa do ar	15,58

O resultado da aplicação destes pesos no AIRP pode ser visualizado na Fig. 11, na forma de mapa. O levantamento dos potenciais municípios e suas proximidades para a favorabilidade de GSF distribuída com pesos iguais e distintos

é apresentado na Tabela IX.

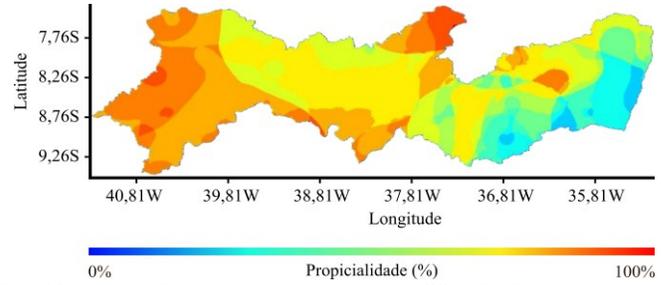


Fig. 11. Favorabilidade georreferenciada para GSF distribuída com pesos distintos no estado de Pernambuco.

TABELA IX
MAIORES FAVORABILIDADES PARA GSF DISTRIBUÍDA

PESOS IGUAIS		PESOS DISTINTOS (%)	
MUNICÍPIO	FAV. (%)	MUNICÍPIO	FAV. (%)
Santa Filomena	74	Ouricuri	74
Brejinho	71	Santa Filomena	74
Iguaraci	71	Santa Cruz	74
Itapetim	71	Brejinho	71
São José do Egito	71	Iguaraci	71
Tuparetama	71	Ingazeira	71
Arapina	64	Itapetim	71
Bezerros	64	Santa Terezinha	71
Caruaru	64	São José do Egito	71
Ouricuri	64	Afrânio	70
Sertânia	64	Belém de S. Francisco	70
Tabira	64	Dormentes	70
Belém de S. Francisco	63	Floresta	70
Petrolina	63	Itacuruba	70
Petrolândia	62	Petrolina	70

Na Fig. 12 são listados os municípios apresentados na Tabela IX que tiveram ocorrência tanto na análise com pesos iguais quanto com pesos distintos.

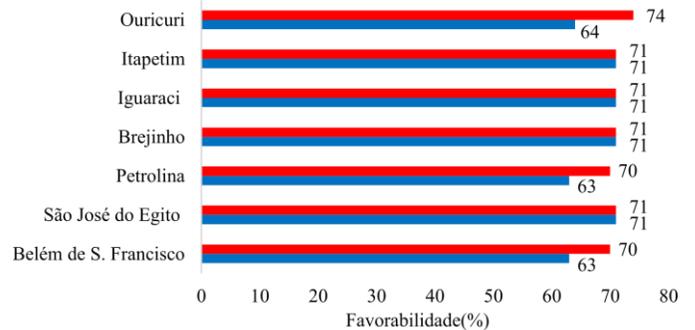


Fig. 12. Comparação da favorabilidade entre municípios presentes nas duas análises para GSF distribuída.

Analisando a tabela IX e as Fig. 10 a 12, percebe-se que com a aplicação dos pesos distintos, a irradiação e insolação solar ganharam mais importância na composição do resultado, o que favoreceu municípios como Ouricuri e Santa Cruz (esta última cidade sequer foi listada na coluna de resultados para GSF concentrada com pesos iguais). O uso dos pesos distintos neste cenário reduziu a separabilidade dos municípios e regiões (efeito observável comparando-se a vivacidade das cores nas Fig.10 e Fig. 11). Este resultado é devido à dominância dos pesos das características de irradiação e insolação solar, que por sua vez possuem baixa variação ao longo de todo o estado. Outro aspecto destacável é a opção dos especialistas por indicar

pesos bastante próximos para a irradiação e insolação solar (diferença sempre inferior a 1%), o que é adequado, dada a forte correlação entre estas duas características.

Comparando-se os mapas das Fig. 8 e 10, percebe-se claramente a influência da eletrogeografia na análise, uma vez que o aumento de favorabilidade proporcionado pelas linhas de transmissão deixa de existir. Como consequência, pode-se notar o aumento da favorabilidade de municípios distantes de linhas de transmissão, como Santa Filomena, que sequer figurava na Tabela VII, mas é um dos municípios mais propícios na Tabela IX. Este cenário, possível devido à versatilidade do AIRP, permite a avaliação mais direta do potencial natural de GSF do município.

G. Análise das Faixas de Favorabilidade

Na Fig. 13 pode-se observar a distribuição dos intervalos de favorabilidade (P) para cada um dos cenários avaliados: geração eólica (GE) com pesos iguais e distintos e geração solar fotovoltaica (GSF) centralizada com pesos iguais e distintos.

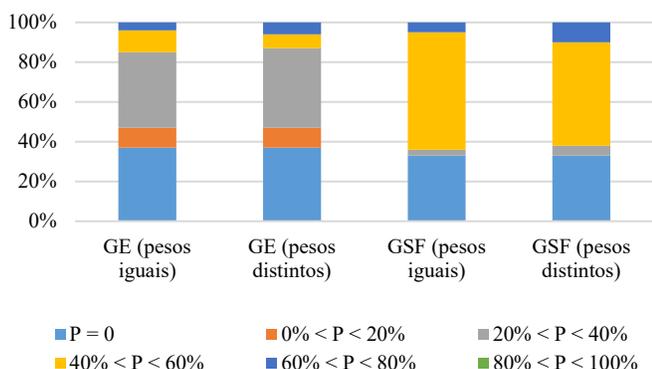


Fig. 13. Favorabilidade georreferenciada para GSF distribuída com pesos distintos no estado de Pernambuco.

Considerando-se a GE com pesos iguais, nota-se que que 37% da área do estado é excludente, que 85% da área possui favorabilidade abaixo de 40% e que apenas 15% são regiões com favorabilidade acima de 40%. A regiões com faixa de favorabilidade ($60\% < P < 80\%$) estão representados por 4% de área do estado (o que representa cerca de 3.932 km²). Regiões na faixa máxima de favorabilidade não foram identificadas.

Considerando-se a GE com pesos distintos, comparativamente ao caso de estudo com pesos iguais, a porcentagem de área de exclusão de geração do estado é a mesma. Percebe-se ainda que a quantidade de área do estado com favorabilidade abaixo de 40% aumentou de 85% para 87%, enquanto a área com favorabilidade acima de 60% aumentou de 4% para 6% (aproximadamente 5.898 km²). Estas variações se deram, em sua maioria, pelo fato da velocidade dos ventos ter peso maior na sobreposição das características analisadas. Novamente, regiões na faixa máxima de favorabilidade não foram identificadas.

Uma análise da disposição da área do estado de acordo com as favorabilidades para GSF centralizada, também apresentada na Fig. 17 indica que 33% da área do estado de Pernambuco possui características de exclusão. Em contrapartida, apenas 3% do estado possui favorabilidade abaixo de 40%. Com uma área

de 64% do território (cerca de 62.919 km²) possuindo favorabilidade acima de 40%, ressalta-se a já conhecida vocação do estado para geração solar fotovoltaica.

As favorabilidades das regiões de GSF com pesos distintos, comparativamente ao caso de estudo com pesos iguais, apresentaram que 33% do estado de Pernambuco ainda possui exclusão de favorabilidade, uma vez que as características de exclusão não mudaram. Aumentaram de 3% para 5% as áreas do estado que possuem favorabilidade abaixo de 40%, mas também aumentaram de 5% para 10% (cerca de 9.831 km²) as áreas com favorabilidade acima de 60%. Isto indica que as áreas com tendência a terem baixa ou alta favorabilidade tornaram-se mais evidentes após aplicação dos pesos distintos, ou seja, a adoção de tais pesos aumentou a separabilidade das regiões.

CONCLUSÃO

Neste trabalho foi aplicado de forma exitosa um algoritmo baseado em processamento digital de imagens para a identificação de regiões propícias à instalação de GE e GSF no estado de Pernambuco.

Os resultados computacionais obtidos evidenciam que:

- Os métodos distintos de ponderação, utilizados para quantificar as características que influenciam na GE ou GSF, podem fundamentar comparações dos resultados, viabilizando a construção de cenários distintos de análise;
- A avaliação das diversas características que influenciam o potencial de GE ou GSF pode contribuir para uma tomada de decisão baseada em informações ampliadas acerca da região considerada;
- O método permitiu criar uma representação gráfica e objetiva de regiões, neste particular o estado de Pernambuco, com enfoque na favorabilidade para instalação de GE ou GSF, centralizada ou distribuída.

A ferramenta computacional empregada para a localização propícia de regiões para implantação de parques eólicos, como para qualquer outro tipo de geração, desde que se tenham mapas suficientemente detalhados das características que influenciam a geração a ser estudada. Os resultados computacionais apresentados possibilitam avaliações multiparamétricas para identificação de regiões propícias à GE e GSF, exclusivamente, e norteiam o aprimoramento de ferramentas utilizadas no geoprocessamento de forma geral.

Futuramente, será buscado um método que permita relacionar a favorabilidade de uma região estudada com o AIRP aos custos do projeto de implementação da unidade de geração renovável, bem como a sua eficiência.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de externar sua gratidão aos pesquisadores do Brasil e do exterior, os quais gentilmente responderam os questionários para definição dos pesos distintos a serem aplicados no método.

Também agradecem à Aeroespacial Tecnologia em Energia e Sistemas Renováveis Limitada, pelo fornecimento dos mapas empregados como entrada dos algoritmos.

REFERÊNCIAS

- [1] IEA, "Renewables 2021: Analysis and forecasts to 2026," Paris, France, Dec. 2021. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/renewables-2021>, Accessed on Dec.14, 2021.
- [2] Y. Kumar, "Wind energy: Trends and enabling technologies," *Renew Sustain Energy Rev.*, vol. 53, pp 209-224, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.07.200.
- [3] N. Kannan and D. Vakeesan, "Solar energy for future world: -A review," *Renew Sustain Energy Rev.*, vol. 62, pp. 1092-1105, Sept. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.05.022.
- [4] R. Wiser, "Expert elicitation survey on future wind energy costs," *Nat Energy*, vol. 1, pp. 1-8 Sept. 2016, doi: 10.1038/nenergy.2016.135.
- [5] V. Devabhaktuni, "Solar energy: Trends and enabling technologies," *Renew Sustain Energy Rev.*, vol. 19, pp. 555-564, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.rser.2012.11.024.
- [6] D. Kumar and K. Chatterjee, "A review of conventional and advanced MPPT algorithms for wind energy systems," *Renew Sustain Energy Rev.*, vol. 55, pp 957-970, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.11.013.
- [7] A. R. Youssef, "Advanced multi-sector P&O maximum power point tracking technique for wind energy conversion system," 2019. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 107, pp 89-97, May 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.10.034.
- [8] S. Selvakumar, M. Madhusmita, C. Koodalsamy, S. P. Simon and Y. R. Sood, "High-Speed Maximum Power Point Tracking Module for PV Systems," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 66, no. 2, pp. 1119-1129, Feb. 2019, doi: 10.1109/TIE.2018.2833036.
- [9] B. Yan, "Grouped grey wolf optimizer for maximum power point tracking of doubly-fed induction generator based wind turbine", *Energy Convers. Manag.*, vol. 133, pp. 427-443, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2016.10.062.
- [10] Verma, Deepak, "Maximum power point tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems," *Renew Sustain Energy Rev.*, vol. 54, pp. 1018-1034, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.10.068.
- [11] J. P. Ram, N. Rajasekar, M. Miyatake, "Design and overview of maximum power point tracking techniques in wind and solar photovoltaic systems: A review," *Renew. Sust. Energ. Rev.*, vol 73, pp 1138-1159, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.02.009.
- [12] N. Karami, N. Moubayed, R. Outbib, "General review and classification of different MPPT Techniques," *Renew Sustain Energy Rev.*, vol. 68, pp. 1-18, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.132.
- [13] A.B.O. Neto, "Identificação de Regiões Propícias à Geração Solar e Eólica Empregando Processamento Digital de Imagens," *M.Sc. dissertation, Dept. Elect. Eng, Campina Grande Fed. Univ., Campina Grande, PB, BR, 2016.*
- [14] Agência Nacional De Energia Elétrica (ANEEL), "ANEEL Aprova Regras para Facilitar a Geração de Energia nas Unidades Consumidoras," Apr. 17, 2012 [Online]. Available: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5457&id_a rea=90>. Accessed on dec. 12, 2015.
- [15] T. C. Carneiro, S. P. Melo, P.C.M. Carvalho, A. P. de S. Braga, "Particle Swarm Optimization method for estimation of Weibull parameters: A case study for the Brazilian northeast region," *Renew. Energ.*, vol. 86, pp. 751 - 759, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.renene.2015.08.060.
- [16] P. Araujo and M. Marinho, "Analysis of Hydro - Wind Complementarity in State of Pernambuco, Brazil by means of Weibull Parameters," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 17, no. 04, pp. 556-563, Apr. 2019, doi: 10.1109/TLA.2019.8891879.
- [17] E. B. Ssekulima, M. B. Anwar, A. Al Hinai and M. S. El Moursi, "Wind speed and solar irradiance forecasting techniques for enhanced renewable energy integration with the grid: A review," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 10, no. 7, pp. 885-989, Aug. 2016, doi: 10.1049/iet-rpg.2015.0477.
- [18] E. D. Obando, S. X. Carvajal and J. Pineda Agudelo, "Solar Radiation Prediction Using Machine Learning Techniques: A Review," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 17, no. 04, pp. 684-697, Apr. 2019, doi: 10.1109/TLA.2019.8891934
- [19] R. H. Inman, H. T. C. Pedro, C. F.M. Coimbra, "Solar forecasting methods for renewable energy integration," *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 39, no. 6, pp. 535-576, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.peccs.2013.06.002.
- [20] L. T. Wong, W.K. Chow, "Solar radiation model." *Appl. Energy*, vol. 69, no. 3, pp-191-224, July 2001, doi: 10.1016/S0306-2619(01)00012-5.
- [21] J. Kleissl, "Terms and definitions" in *Solar energy forecasting and resource assessment*, 1st ed., SD, USA, AP, 2013, pp. 1-17
- [22] T. S. Viana, R. Rütger, F.R. Martins, E.B. Pereira, "Assessing the potential of concentrating solar photovoltaic generation in Brazil with satellite-derived direct normal irradiation," *Sol Energy*, vol. 85, no. 3 pp. 486-495, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.solener.2010.12.015.
- [23] M. H. Chung, "Estimating Solar Insolation and Power Generation of Photovoltaic Systems Using Previous Day Weather Data," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2020, pp. 1-13, Feb. 2020, doi: 10.1155/2020/8701368.
- [24] J. J. Wysocki and P. Rappaport, "Effect of Temperature on Photovoltaic Solar Energy Conversion," *J. Appl. Phys.*, vol. 31, no. 3, pp. 571-578, Mar. 1960, doi: 10.1063/1.1735630.
- [25] E. Skoplaki and J.A. Palyvos, "On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations," *Sol Energy*, vol. 83, no. 5, pp. 614-624, May. 2009, doi: 0.1016/j.solener.2008.10.008.
- [26] S. M. J Baban, T. Parry, "Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK." *Renew. Energ.*, vol. 24, no. 1, pp. 59-71, Sept. 2001, doi: 10.1016/S0960-1481(00)00169-5.
- [27] H. S. Hansen, "GIS-based multi-criteria analysis of wind farm development," in *Proc. of the 10th Scand. Res. Conf. Geogr. Inf Sci (ScanGIS), Stockholm, Sweden*, June 2005, pp. 75-85.
- [28] D. Mentis, "Assessing the technical wind energy potential in Africa a GIS-based approach." *Renew. Energ.*, vol. 83, pp. 110-125, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.renene.2015.03.072.
- [29] H. Z. Al Garni and A. Awasthi, "Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia." *Appl. Energy*, vol. 206, pp. 1225-1240, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.10.024.
- [30] G. Rediske, "Multi-criteria decision-making model for assessment of large photovoltaic farms in Brazil." *Energ.* vol. 197, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117167.
- [31] Y. Sun, "GIS-based multiregional potential evaluation and strategies selection framework for various renewable energy sources: a case study of eastern coastal regions of China." *Energ. Sci Eng.*, no.5 pp. 123-140, Jun. 2019, doi: 10.1002/ese3.160.
- [32] L. F. Pomares, A. V. Pérez, M. R. Gámez, "La geografía de la provincia pinar del rio y los sistemas fotovoltaicos conectados a la rede," *XVI Convención Científica de ingeniería y Arquitectura, La Habana, Cuba*, Nov. 2012.
- [33] M. T. Chaichan and H.A. Kazem, "Experimental analysis of solar intensity on photovoltaic in hot and humid weather conditions," *Int. J. Eng. Res.*, vol 7, no.3, pp. 91-96, Mar. 2016.
- [34] A. B. O. "Um Algoritmo Baseado em PDI para Localização de Regiões Propícias à Instalação de Usinas Solares," *V Simp. Bras. Sist. Elétr., Foz do Iguaçu, Paraná*, Apr. 2014.
- [35] A. B. O. "Um Algoritmo Baseado em PDI para Localização de Regiões Propícias à Instalação de Usinas Solares e Um Estudo de Caso," *Congresso Internacional de Alta Tensão y Aislamiento Eléctrico – ALTAE 2015*. Portoviejo, Manabi, 2015.
- [36] CHESF, "Sistemas de Transmissão", Brazil, July 31, 2019. [Online] Available: <https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaTransmissao/SistemaTransmissao.aspx>, Accessed on: 6 ago. 2020.
- [37] L. T. Witzler, "Metodologia para reconstrução de séries históricas de vento e geração eólica visando a análise da complementariedade energética no Sistema Interligado Nacional," *M.Sc. dissertation, Dept. Energ. Eng. Elec. Auto., Polytec. School Univ. São Paulo, São Paulo*, SP, BR, 2015, doi: 10.11606/D.3.2016.tde-31122015-105629
- [38] J. Sun, "Renewable energy transmission by HVDC across the continent: system challenges and opportunities," *CSEE J. Power Energy Syst.*, vol. 3, no. 4, pp. 353-364, Dec. 2017, doi: 10.17775/CSEEJPES.2017.01200.
- [39] Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), "Relatório Anual, pg. 26," 1996. Accessed on: Apr. 20, 2021.
- [40] J. Bigaman, "Electrical Transmission Grid: Hearing Before the Committee on Energy and Natural Resources, United States Senate, One Hundred Tenth Congress, Second Session, to Conduct Oversight on the State of the Nation's Transmission Grid, as Well as the Implementation of the 2005 Energy Policy Act Transmission Provisions, Including Reliability, Siting and Infrastructure Investment" Washington, USA, Vol. 4, Jul. 2008, Available: <https://books.google.com.br/books?id=oNTSDdsd4noC&lpg=PA115&dq=build%20renewable%20generation%20close%20transmission%20lines&hl=ptBR&pg=PP3#v=thumbnail&q&f=false>, Accessed on Apr.20, 2021
- [41] L. G. M. Oliveira, "Avaliação de fatores que influenciam na estimativa da geração e operação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede

elétrica.” M. Sc. *dissertation, Dept. Energ. Eng. Elec., Univ. Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, BR, 2017.*

- [42] B. E. M. Montezano, “Estratégias para identificação de sítios eólicos promissores usando sistema de informação geográfica e algoritmos evolutivos,” *M. Sc. dissertation, Dept. Eng. Civ., Univ. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, BR, 2012.*
- [43] A. T. Almeida and A. P. C. S. Costa, “modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método promethee,” *Scielo Gest. Prod.*, vol. 9, no. 2, pp. 201-214, Aug. 2002, Accessed on: Apr. 20, 2021, doi: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2002000200007>, [online].
- [44] G. Rediske et al. “Identificação de locais ideais para instalação de usinas de energia fotovoltaica: um estudo de caso,” *XXXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Santos, São Paulo, 2019.*



Antonio Barbosa de Oliveira Neto Possui graduação (2014) e mestrado (2016) em Engenharia Elétrica, todos cursados na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), onde foi professor de 2017 a 2018. Desde 2018 é Perito Oficial Criminal na Superintendência de Polícia Científica do Estado do Tocantins (SPC-TO).

Atualmente é doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPgEE) da UFCG. Tem desenvolvido trabalhos que envolvem: monitoramento de equipamentos elétricos baseado em processamento digital de imagens e inteligência artificial; geoprocessamento aplicado a energias renováveis; estatística e confiabilidade de equipamentos elétricos.



Edson Guedes da Costa Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (1978), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (1981) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (1999), hoje campus I da UFCG. Atualmente é

professor Titular do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da UFCG. Tem trabalhado na coordenação de convênios nacionais e internacionais. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão da Energia Elétrica, Distribuição da Energia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: monitoramento e diagnóstico de sistemas elétricos e equipamentos de potência, monitoramento de sistemas de isolamento aplicados em sistemas de alta tensão, de forma geral tem pesquisado aterramentos elétricos, disjuntores, transformadores, pára-raios de óxido de zinco, alta tensão, linha de transmissão. Edson Guedes é revisor de artigos inúmeros congressos nacionais e internacionais e revisor de conceituados periódicos científicos. Ele é associado à SBA, e ao Cigre, sendo Senoir Member do IEEE.



Tarso Vilela Ferreira Possui graduação (2005), mestrado (2007) e doutorado (2011) em Engenharia Elétrica, todos cursados na UFCG, onde foi professor de 2008 a 2017. Desde 2017 é professor no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Sergipe (UFS) e membro no Programas de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFS e da UFCG. Tem desenvolvido trabalhos que envolvem monitoramento de equipamentos elétricos baseado em ultrassom, rádio interferência, descargas parciais, infravermelho e ultravioleta; inteligência artificial; geoprocessamento aplicado a energias renováveis; aterramento; simulações computacionais de campos eletromagnéticos e multifísicas. Desde 2013 é pesquisador associado ao INESC P&D Brasil.



Bruno Vinicius Silveira Araujo Nasceu em Aracaju, Sergipe, Brasil, em dezembro de 1996. Estudante de graduação em Engenharia Elétrica na UFS. Tem experiência nas áreas de simulações computacionais de campos eletromagnéticos e na área de análise distorção harmônica. Tem interesse nos temas: monitoramento de

equipamentos elétricos, desenvolvimento de equipamentos de alta tensão, simulações computacionais multifásicas e qualidade de energia.



Lidja Nayara Tavares Alves Possui graduação em Engenharia Elétrica (2016) e Mestrado em Engenharia Elétrica (2018) pela UFCG. Atualmente é doutoranda no PPgEE da UFCG. Atua principalmente em pesquisas envolvendo os seguintes temas: hidrofobicidade, processamento digital de imagens, monitoramento de equipamentos, isoladores elétricos, etiquetas RFID, inteligência artificial e *data science*.



Kal-El Basílio Brito Nasceu em 1991 em Brasília, Distrito Federal, Brasil, concluiu bacharelado (2015) e mestrado (2017) em Engenharia Elétrica na UFCG. Atualmente é pós-graduando no PPgEE da UFCG. Desde 2019 é professor de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) campus Pesqueira. Seus interesses de pesquisa incluem geoprocessamento aplicado a energias renováveis, monitoramento de equipamentos de alta tensão e processamento digital de dados.