

Wind Potential Onshore of the State of Paraíba Estimated by the Global Wind Atlas

Paulo R. M. Francisco*, José H. S. de Sousa**, George do N. Ribeiro***,
Raimundo C. M. Rodrigues****

*Dr. em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, paulomegna@gmail.com

**Mestrando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, hugosimplicio123@gmail.com

***Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, george.nascimento@professor.ufcg.edu.br

****Dr. Prof. Associado, Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, calixto@cca.uema.br

Received 10 November; accepted 19 December.

Abstract

The Northeast is the most promising Brazilian region, presenting 53% of the country's wind potential and an accumulated wind potential of 75.05 GW for wind speeds of at least 7.0 m/s, at 50 m height. This work aimed, through geotechnology, to spatialize the onshore wind potential of the State of Paraíba estimated by the Global Wind Atlas. The GWA[®] digital database was used with estimated data on average wind speed (m/s) (wind potential) and average wind energy density (W/m²) with a resolution of 250 m. Using QGIS[®], maps of average wind speed and average wind energy density were created, classified and the respective histograms were generated. In the statistical treatment, descriptive analysis of the data was carried out. The results demonstrated that the use of geotechnology was able to map wind potential quickly and accurately. The geostatistics results demonstrated the variability of wind potential. The highest values of wind speed (16.22 m/s) and average power density (3,491.29 W/m²) occurred in the simulation for a 200-meter-high mast. The micro-regions of Esperança, Curimataú Oriental and Seridó Ocidental Paraibano presented the greatest potential for installing wind turbines.

Keywords: Wind data, density, wind speed, energy potential, geospatialization.

Potencial Eólico Onshore do Estado da Paraíba Estimado pelo Global Wind Atlas

RESUMO

O Nordeste é a região brasileira mais promissora, apresentando 53% do potencial eólico do país e um potencial eólico acumulado de 75,05 GW para velocidades do vento de no mínimo 7,0 m/s, a 50 m de altura. Este trabalho objetivou através de geotecnologias espacializar o potencial eólico *onshore* do Estado da Paraíba estimado pelo Global Wind Atlas. Foi utilizado a base digital GWA[®] de dados estimados de velocidade média dos ventos (m/s) (potencial eólico) e da densidade média de energia eólica (W/m²) com resolução de 250 m. Utilizando o QGIS[®] foram elaborados os mapas de velocidade média dos ventos e da densidade média de energia eólica, sendo classificados e gerados os respectivos histogramas. No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados. Os resultados demonstraram que o uso de geotecnologias pôde mapear o potencial eólico com rapidez e precisão. Os resultados da geoestatística demonstraram a variabilidade do potencial eólico. Os maiores valores de velocidade do vento (16,22 m/s) e de densidade média de potência (3.491,29 W/m²) ocorreram na simulação para mastro com 200 metros de altura. As microrregiões de Esperança, Curimataú Oriental e Seridó Ocidental Paraibano apresentaram os maiores potenciais com probabilidade de instalação de aerogeradores.

Palavras-chave: Dados eólicos, densidade, velocidade dos ventos, potencial energético, geoespacialização.

1 Introdução

O crescimento populacional e o aumento no nível tecnológico nos últimos anos vêm gerando a necessidade de elevar significativamente a oferta de energia elétrica

para o atendimento a estas crescentes demandas, tanto em termos de qualidade, como de quantidade. Tornam-se necessárias matrizes elétricas bem planejadas e diversificadas, capazes de manter o suprimento

energético confiável (Carneiro & Carvalho, 2015).

A fim de reduzir a emissão global dos gases de efeito estufa, a geração de energia a partir de fontes alternativas está começando a ganhar força em todo o mundo, inclusive na América Latina (Zuluaga & Diner, 2007). Pela sua posição geográfica e extensão, o Brasil é um dos países com maior potencial para produção de energia renovável (Geller et al., 2004).

A Região Nordeste, de acordo com Amarante et al. (2001) é a mais promissora, apresentando 53% do potencial eólico do país e um potencial eólico acumulado de 75,05 GW para velocidades do vento de no mínimo 7,0 m/s, a 50 m de altura.

A avaliação do potencial eólico de uma dada região, visando à avaliação técnico econômica da implantação de empreendimentos de geração eólica, inicia-se com o seu mapeamento temático, cujas técnicas de elaboração passaram por uma enorme evolução tecnológica nas duas últimas décadas. Tal avanço metodológico já começa a fazer pleno uso de modelos digitais de terreno em alta resolução, modelamentos numéricos de mesoescala, e utilização de dados de sensoriamento remoto por satélites (Benelli et al., 2009). Estudos de potencial eólico utilizando sensoriamento remoto foram elaborados por Amarante e Schultz (1999), por Amarante et al. (2001), Pimenta et al. (2008) e por Amarante et al. (2009).

Pesquisadores como Davis et al. (2023), vêm avaliando o potencial eólico do planeta, onde foi desenvolvido uma plataforma denominada Global Wind Atlas (GWA 3.3), produto de parceria entre o Departamento de Energia Eólica da Universidade Técnica da Dinamarca (DTU Wind Energy) e o Banco Mundial e International Finance Corporation.

O método para criar o Global Wind Atlas de alta resolução foi composto por uma cadeia de processos em que, os conjuntos de dados de reanálise globais são as estatísticas eólicas e climáticas de alta resolução, adequadas para análise e mapeamento (Badger & Jørgensen, 2011).

O GWA usa a metodologia estabelecida do atlas numérico de vento para reduzir dados de vento de resolução grosseira para microescala, usando modelagem de fluxo linearizado e dados topográficos de alta

resolução (Davis et al., 2023).

A modelagem em microescala foi realizada utilizando o modelo WASP (Troen & Petersen, 1989) com espaçamento de grade de saída de 250 m (Badger et al., 2015). O modelo WASP utiliza o modelo de fluxo linear IBZ (Troen, 1990; Bowen & Mortensen, 2004) para extrapolação horizontal e vertical do vento com base em dados orográficos de alta resolução e mapas de comprimento de rugosidade. O modelo foi executado usando a ferramenta de mapeamento de recursos eólicos WASP e Frogfoot, uma plataforma de cálculo distribuída, permitindo a execução simultânea de muitas simulações de modelo WASP em diferentes computadores. Frogfoot foi desenvolvido como parte dos projetos Atlas Eólico Finlandês (Tammelin et al., 2012) e Atlas Eólico da África do Sul (Mortensen et al., 2014; Otto, 2015).

A nível mundial diversas pesquisas foram feitas como por Archer e Jacobson (2005), Badger et al. (2012), Mortensen et al. (2017), Gruber et al. (2019) para o Brasil, Niyomtham et al. (2020) para a Tailândia, Gruber et al. (2022), e para a Índia por Ramdas et al. (2022).

No Brasil estudos realizados por Amarante et al. (2001); Pimenta et al. (2008); Amarante et al. (2009; 2010); Ortiz e Kampel (2011); Silva et al. (2013); na região Nordeste pesquisas de Amarante et al. (2002) no Estado da Bahia; Amarante et al. (2003) para o Rio Grande do Norte; PERNAMBUCO (2017) e PARAÍBA (2014) para os respectivos Estados.

No entanto, conhecer as características da velocidade do vento de um determinado local para instalar as turbinas eólicas adequadas para geração de eletricidade é de suma importância (Souza et al., 2019).

Portanto, este trabalho objetiva através do uso de geotecnologias espacializar o potencial eólico *onshore* do Estado da Paraíba estimado pelo Global Wind Atlas.

2 Material e métodos

O Estado da Paraíba localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.372 km², que corresponde a 0,662% do território nacional. Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W (Francisco, 2010).

O relevo do Estado da Paraíba apresenta-se de forma geral bastante diversificado, constituindo-se por formas de relevo trabalhadas por diferentes processos, atuando sob climas distintos e rochas pouco ou muito diferenciadas (PARAÍBA, 2006). O relevo é caracterizado por planícies, planaltos e depressões em formas tabulares e planas. Cerca de 90% do território situa-se abaixo dos 600 m de altitude, com as maiores elevações na região central do Estado, ao longo do Planalto da Borborema. Na faixa litorânea com clima tropical úmido, predominam as falésias, com altitudes não maiores que 60 m, abrigando diversas áreas de proteção integral e uso sustentável com remanescentes de Mata Atlântica. A Depressão Sertaneja domina o relevo no oeste do Estado, caracterizado pela caatinga e o clima semiárido, com elevações

variando principalmente entre as cotas 100 e 400 metros (PARAÍBA, 2014) (Figura 1a).

O uso atual e a cobertura vegetal caracterizam-se por formações florestais definidas como caatinga arbustiva arbórea aberta, caatinga arbustiva arbórea fechada, caatinga arbórea fechada, tabuleiro costeiro, mangues, mata-úmida, mata semidecidual, mata atlântica e restinga (PARAÍBA, 2006) (Figura 1b).

O clima caracteriza-se por temperaturas médias elevadas (22 a 30°C) e uma amplitude térmica anual muito pequena, em função da baixa latitude e elevações (<700m) (Figura 2a). A precipitação varia de 400 a 800mm anuais, nas regiões interiores semiáridas, e no Litoral, mais úmido, pode ultrapassar aos 1.600mm (Varejão-Silva et al., 1984) (Figura 2b).

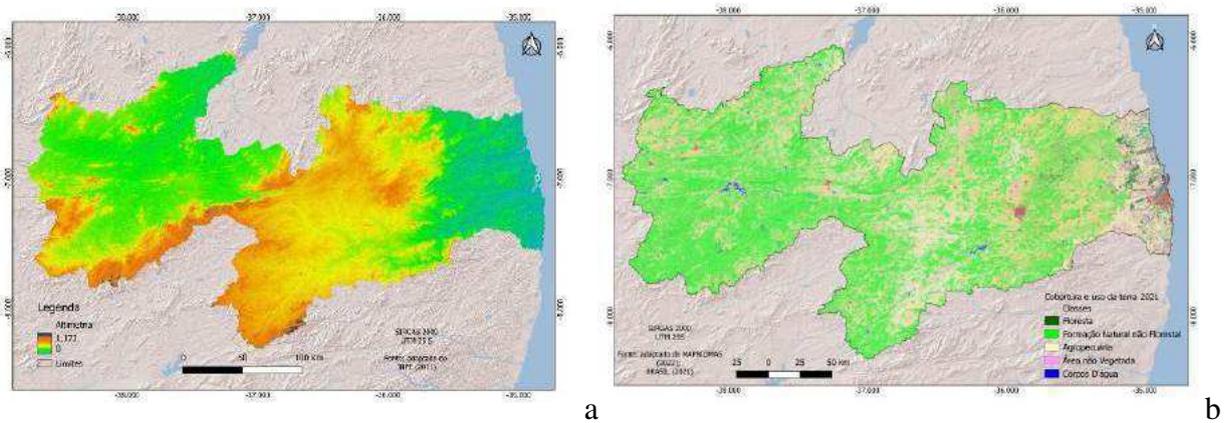


Figura 1. a) Altimetria do Estado da Paraíba; b) Cobertura e uso da terra do Estado da Paraíba. Fonte: adaptado de Francisco et al. (2013; 2023); IBGE (2022); MAPBIOMAS (2022); ESRI (2024).

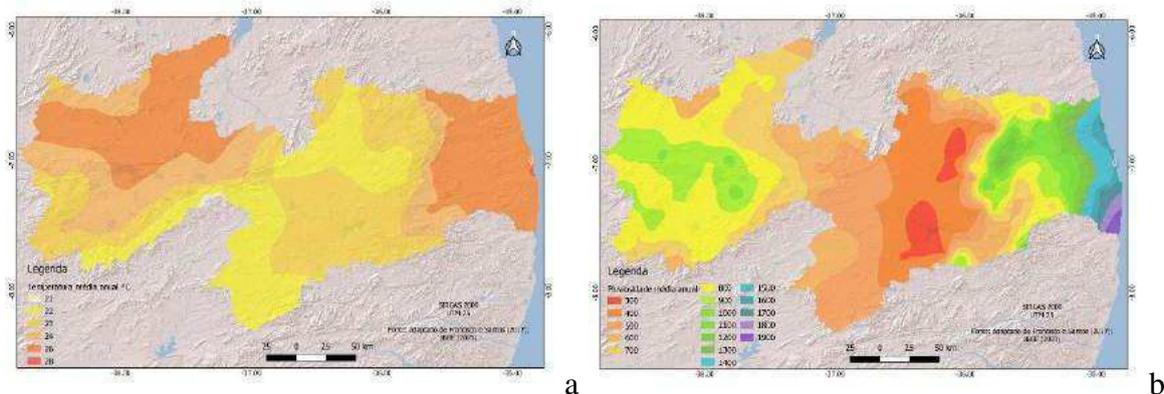


Figura 2. a) Temperatura média anual; b) Precipitação média anual. Fonte: adaptado de Francisco e Santos (2017); Francisco et al. (2015).

As microrregiões estipuladas pelo IBGE (2022) apresentam-se definidas em 23 áreas divididas geograficamente com diferentes características de relevo, vegetação e clima (Figura 3a).

De acordo com a ANEEL (2021) e a EPE (2021), o sistema de transmissão do Estado da Paraíba (Figura 3b) é constituído por linhas de 500kV e 230kV. O sistema de transmissão do Estado, operado pela CHESF, é

interligado em 230 kV ao Sistema Interligado Nacional – SIN, por meio de subestações nas cidades de João Pessoa, Campina Grande e Coremas. O sistema é distribuído primariamente em 69 kV para os demais centros de carga (ANEEL, 2015; ENERGISA, 2014), exceto por uma interligação em 138 kV com o Rio Grande do Norte operada pela CHESF (ONS, 2014).

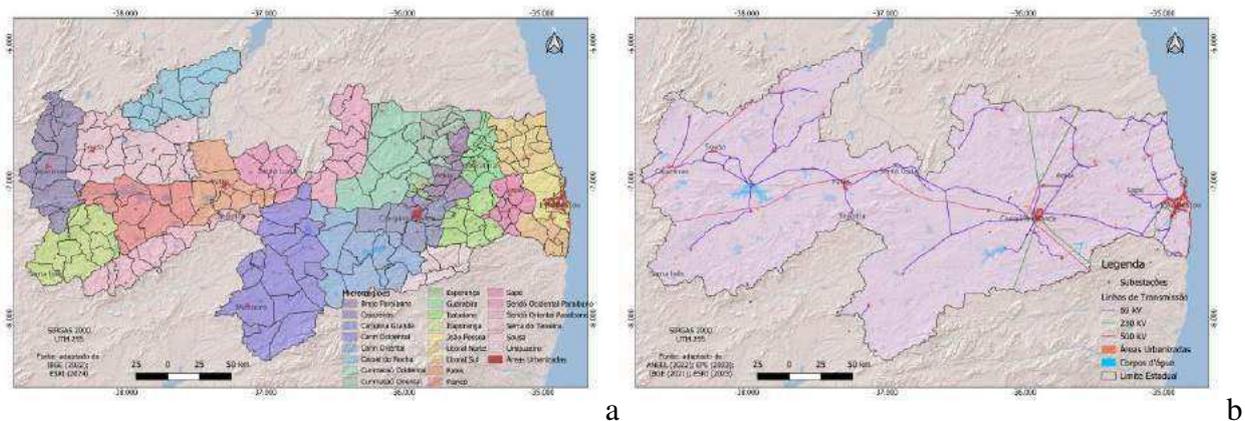


Figura 3. a) Microrregiões do Estado da Paraíba; b) Sistema elétrico de transmissão do Estado da Paraíba. Fonte: adaptado de Francisco et al. (2023); ANEEL (2022); EPE (2023); IBGE (2019; 2021); ESRI (2024).

Neste trabalho foi utilizado a base digital GWA[®] 3.3 de dados entre 2005 a 2023 estimados de velocidade média dos ventos (m/s) (potencial eólico) e da densidade média de energia eólica (W/m²) disponibilizados em formato *tif* com resolução de 250 m.

No GWA[®] 3.3 os recursos eólicos foram calculados utilizando métodos e dados de entrada com 10 anos de simulações de modelos de séries temporais em mesoescala com uma resolução de 250 m, e dados aprimorados de elevação e cobertura do solo na modelagem em microescala com alturas de 10, 50, 100, 150 e 200 m para reduzir a incerteza ao interpolar os resultados na vertical e validação do conjunto de dados (Davis et al., 2023).

Utilizando o QGIS[®] 3.34 e um arquivo digital no formato *shape* fornecido pelo IBGE (2021) foi recortado o limite estadual. Em seguida foram elaborados os mapas de velocidade média dos ventos e da densidade média de energia eólica, sendo classificados e gerados os respectivos histogramas.

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados utilizando o QGIS[®] (Hyndman & Fan, 1996) e a estatística zonal através do SAGA[®] 7.8.2, desenvolvido por Conrad et al. (2015), utilizando o mapa de microrregiões do Estado da Paraíba. A estatística zonal de acordo com Barbosa et al. (1998), permite estabelecer relações espaciais entre regiões de mapas distintos. As operações de transformações zonais ou por região operam sobre um mapa de origem e um conjunto de regiões delimitadas por polígonos na forma matricial ou vetorial. Isto permite materializar num SIG os conceitos de unidade de paisagem (Bertrand, 1981; Tricart, 1977; Tricart & KiewietdeJonge, 1992) e área- unidade (Hartshorne, 1978).

3 Resultados e discussão

Na Figura 4 observa-se a densidade média de potência (W/m²) de 10; 100; 150 e 200 m de altura da torre de geração de energia eólica. Verifica-se que, quanto maior é a altura, maior é a probabilidade de geração de

energia. Isto ocorre devido a configuração do relevo e da altitude das regiões do Estado, juntamente com a rugosidade do solo devido sua cobertura e uso da terra. Na Figura 4a de

10 m, apresenta-se a menor densidade média de potência, e a Figura 4d com estimativa de maior potencial em áreas mais elevadas do Estado.

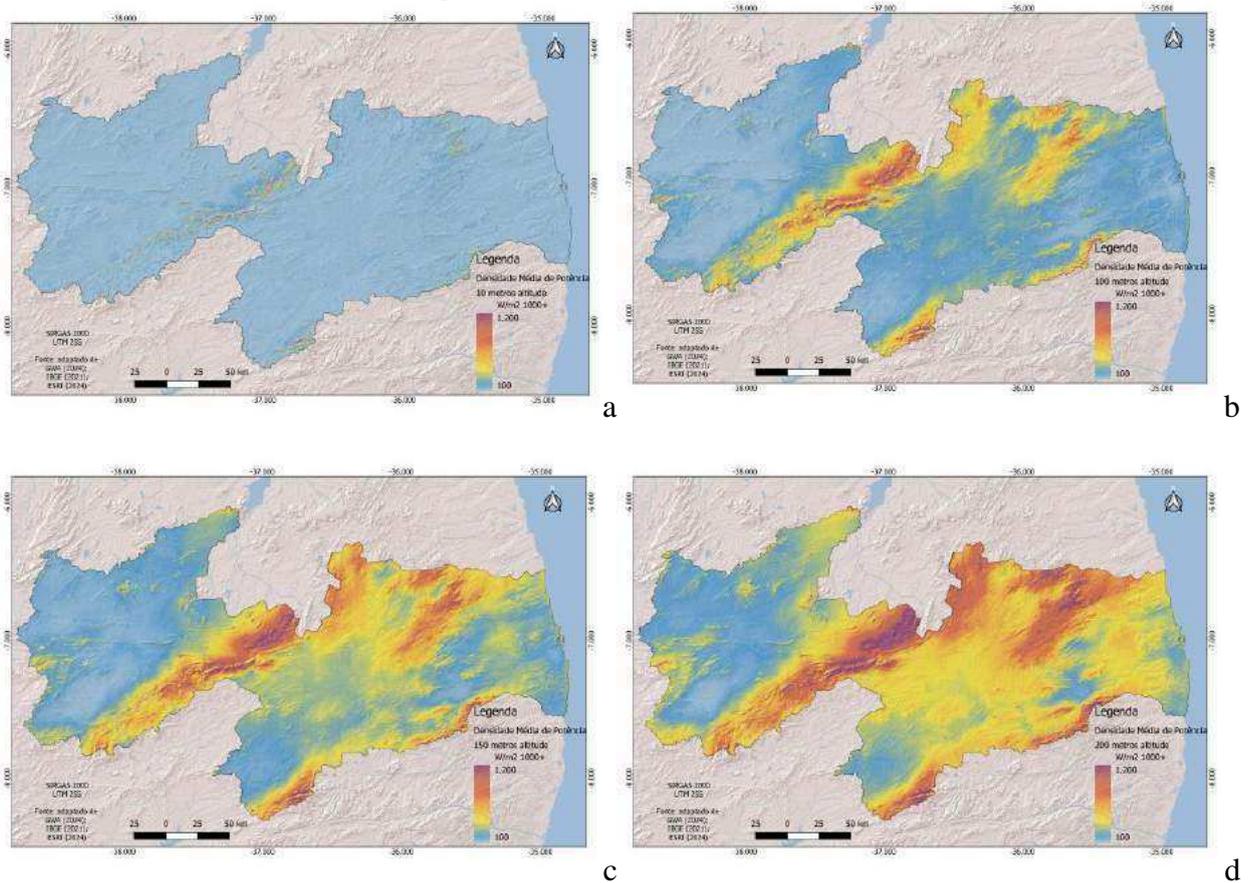


Figura 4. Densidade média de potência (W/m^2), a) 10 m, b) 100 m, c) 150 m, d) 200 m. Fonte: adaptado de GWA (2024); IBGE (2021); ESRI (2024).

Na Figura 5a pode-se observar o histograma do mapa da densidade média de potência com alta frequência acima de 2.800 e até em torno de $30 W/m^2$ com mínima variabilidade, concordando com os dados descritivos da Tabela 1, isto devido à altura simulada de uma torre e gerador de 10 m em que o vento geralmente apresenta as menores velocidades. As demais Figuras apresentam

frequências mais distribuídas, na Figura 5b com valores entre 200 a 280 em torno de $300 W/m^2$ na altura de 100 m de torre e gerador, na Figura 5c de altura de 150 m de torre e gerador a frequência apresenta valores entre 130 a 200 em torno de $400 W/m^2$. Na Figura 5d a frequência é menor em relação as demais em torno de 100 a 150, mas com valores maiores em torno de $500 W/m^2$.

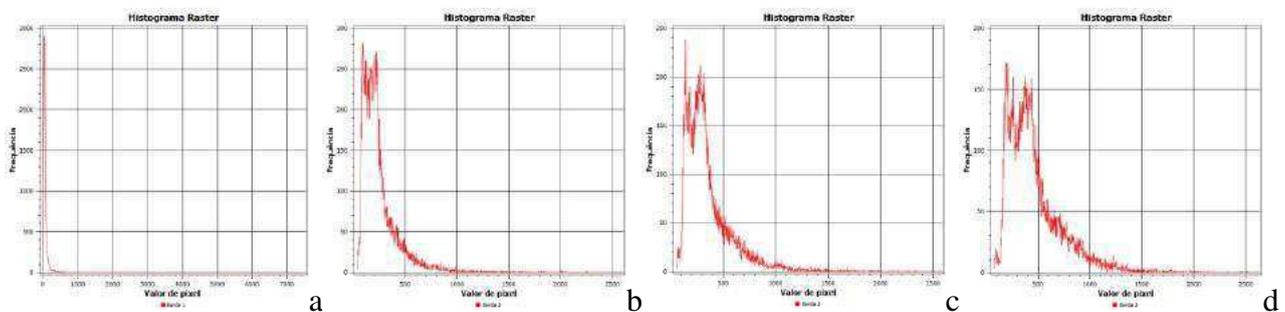


Figura 5. Histogramas da Densidade média de potência (W/m^2), a) 10 m, b) 100 m, c) 150 m, d) 200m.

Na Figura 5 observa-se a velocidade média do vento (m/s) de 10; 100; 150 e 200 m de altura da torre. Verifica-se que, quanto

maior é a altura da torre, maior é a probabilidade de geração de energia. Seguindo a mesma probabilidade da densidade média.

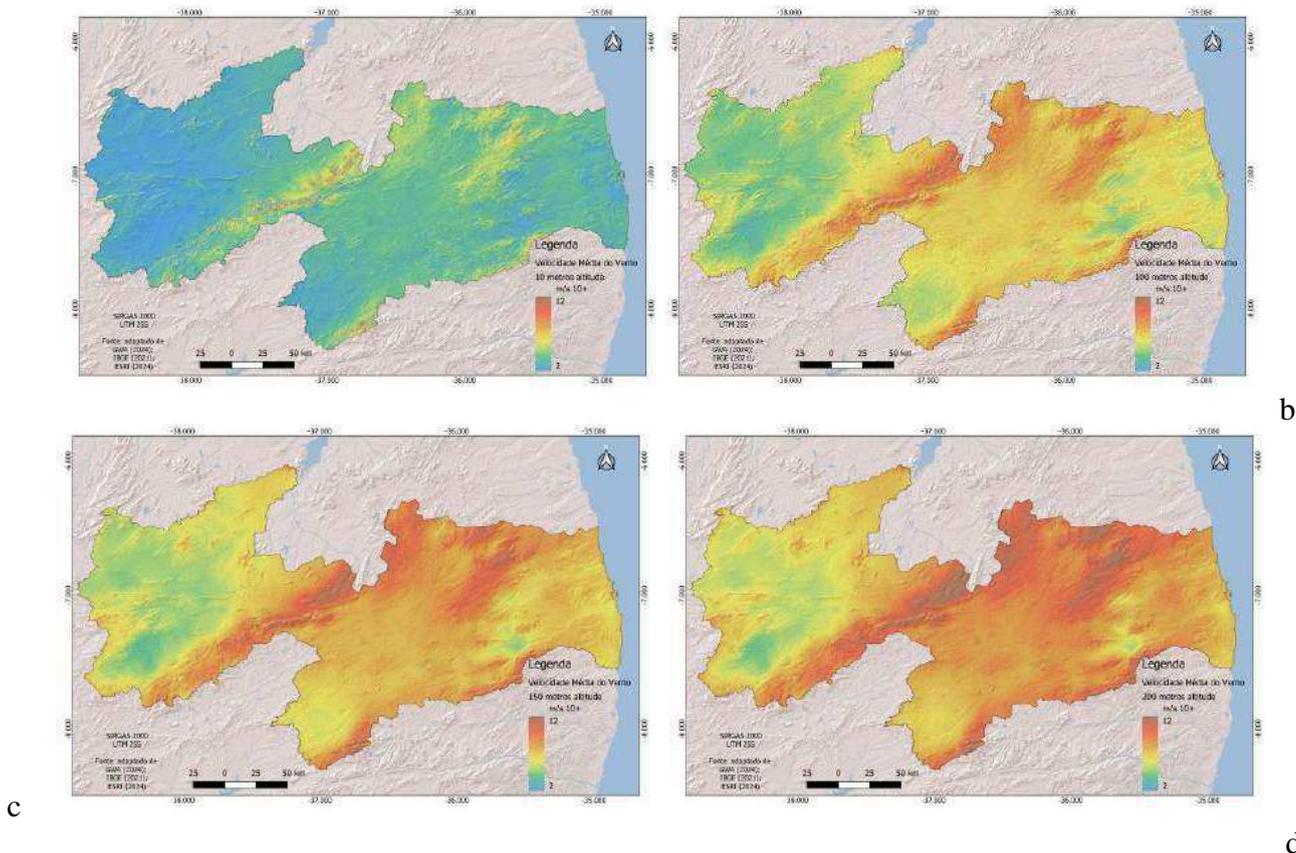


Figura 6. Velocidade média do vento (m/s), a) 10 m, b) 100 m, c) 150 m, d) 200 m. Fonte: adaptado de GWA (2024); IBGE (2021); ESRI (2024).

Na Figura 7a pode-se observar o histograma do mapa da velocidade média do vento com alta frequência acima de 10 entre 2 a 6 m/s com mínima variabilidade, concordando com os dados descritivos da Tabela 2, isto devido à altura simulada de um mastro de 10 m, em que, o vento geralmente apresenta as menores velocidades. As demais Figuras apresentam frequências mais

distribuídas, na Figura 7b com valores entre 40 a 100, em torno de 4 a 8 m/s na altura de 100 m de mastro, na Figura 7c de altura de 150 m de mastro, a frequência apresenta valores entre 35 a 100 em torno de 5 a 8 m/s. Na Figura 7d a frequência é menor em relação as demais em torno de 40 a 80, mas com valores maiores entre 5 a 10 m/s.

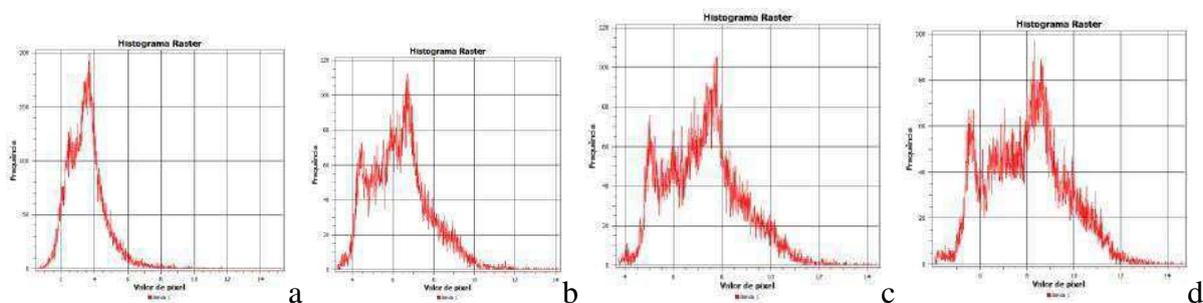


Figura 7. Histograma da Velocidade média do vento - Potencial eólico (m/s), a) 10 m, b) 100 m, c) 150 m, d) 200 m.

Nos dados estatísticos demonstrados na Tabela 1 verifica-se que, a densidade média de potência de altura de mastro de 200 m apresenta os maiores valores com maiores médias máximas (473,16 W/m²) seguido pela

mediana, desvio padrão e variabilidade. A mesma ocorrência apresenta-se nos resultados da análise da velocidade média do vento, diferenciando-se na altura de 10 m de mastro em que ocorre a maior variabilidade.

Tabela 1. Dados estatísticos descritivos da velocidade média do vento e densidade média de potência das diversas alturas

Atributo/Variável (m)	Altura	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variabilidade	Desv. Pad.	Q1	Q3	IQR
	10	65,91	46	0	7.489	1.801	106,16	29	69	40
Densidade média de potência (W/m ²)	100	256,44	211	28	4.029	2.158	181,59	146	302	156
	150	358,08	302	51	3.797	2.302	222,41	213	433	220
	200	473,16	414	71	3.491	2.335	259,77	290	583	293
	10	4,18	4	0	19	20	1,83	3	5	2
Velocidade média do vento (m/s)	100	7,55	7	3	17	15	1,99	6	9	3
	150	8,55	8	4	16	13	2,01	7	10	3
	200	9,20	9	4	16	13	2,09	8	11	3

Carneiro e Carvalho (2015), avaliando a velocidade do vento na região Nordeste na altura de 80 m observaram que, Parnaíba (PI) e Petrolina (PE) apresentaram médias acima de 7 e 6 m/s. Valores similares a este trabalho na altura de 100 m.

Silva et al. (2005) para altura de 10 m, verificaram que ao norte da Bahia apresentaram valores médios de 30 W/m², com máximo de 55 W/m² em torno de Paulistana- PI; também no interior, encontraram um máximo intenso localizado ao entorno de Caetité, no sul da Bahia, com 55 W/m². No sul da Bahia, ao entorno de Itaberaba, foram observados valores médios anuais muito baixos, inferiores a 10 W/m². Valores similares a este trabalho.

Silva et al. (2007), estimando o potencial eólico para a região litorânea do Estado de Alagoas, encontraram valores a 75 m de 100 W.m⁻² e velocidade de ventos na faixa de 4 a 5 m.s⁻¹.

Amarante et al. (2003), elaborando o Atlas Eólico para o Estado do Rio Grande do Norte concluíram que, a região litorânea do Nordeste da área de estudo apresenta extensa e promissora área para aproveitamento eólico, com velocidades médias anuais entre 8,0 e 8,5m/s, a 50 m de altura.

Conforme ELETROBRÁS (2008), que elaboraram o Atlas Eólico do Estado de Alagoas constataram que, a região do litoral sul apresenta o melhor potencial eólico com velocidade média de 7 m/s com altura de 75 m.

Tuchtenhagen et al. (2014) observaram para o Brasil que, a média anual da intensidade dos ventos para os níveis de 40 e 70 m, os locais mais favoráveis à instalação de fazendas para geração de energia eólica se encontram nas regiões Nordeste e Sul do país, onde as intensidades médias sobre essas regiões estão entre 8 e 10 ms⁻¹.

Lima et al. (2010), observaram que a distribuição de frequência da velocidade dos ventos com altura de 10 m, em São Gonçalo-PB, localizada na microrregião de Sousa, em que a maior ocorrência de ventos se apresentava na faixa de 1,5 a 3,5 m/s,

enquanto que para as demais estações, os ventos foram superiores a 4 m/s em especial para Patos, Campina Grande e João Pessoa. Os mesmos autores observaram que, o teor médio de energia para a estação de São Gonçalo para ventos 10; 50 e 110 m de 159; 331 e 449 kWh/m²/ano, respectivamente. Campina Grande apresentou os melhores resultados dentre as outras estações com valores de 443 kWh/m²/ano, e para as simulações de 50 m e 110 m com valores de teor médio de energia de 922 e 1258 kWh/m²/ano, respectivamente.

De acordo com Grubb e Meyer (1993), para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m², a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s.

Observa-se, de acordo com a Tabela 1, que a estimativa de densidade média de potência quanto a altura de 200 m é a que melhor se adequa, e a estimativa de velocidade média do vento que as alturas de 100, 150 e 200 m atingem o valor mínimo de 7 m/s, portanto adota-se a avaliação pela

microrregião de maior destaque na altura de 200 m.

Pode-se observar na Tabela 2 que, a média da velocidade do vento encontra-se entre 5,88 a 10,61 m/s com os menores valores, que não atingem o recomendado de 7 m/s, que ocorrem nas microrregiões de Itaporanga, Sousa, Cajazeiras, Piancó e Catolé do Rocha, em que a mediana também segue o mesmo padrão. Os maiores desvio padrão de

1,5 a 1,6 ocorrem na microrregião do Seridó, Ocidental Paraibano, Brejo Paraibano e Patos. Os maiores valores acima de 7 m/s ocorrem nas microrregiões de Sapé, Seridó Ocidental Paraibano, Curimataú Ocidental, Curimataú Oriental, Seridó Oriental Paraibano e Esperança, respectivamente. Os maiores valores de variância ocorrem nas microrregiões do Seridó Ocidental Paraibano, Brejo Paraibano e Patos, respectivamente.

Tabela 2. Dados estatísticos descritivos por microrregião da velocidade média (m/s) a 200 m

Microrregião	Área (km ²)	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Alcance	Variância
Catolé do Rocha	3.035,98	6,90	6,87	0,52	5,43	11,19	5,76	0,27
Cajazeiras	3.419,47	6,13	5,94	0,69	5,03	9,76	4,73	0,48
Sousa	4.801,80	6,04	5,87	0,65	5,02	11,11	6,09	0,42
Patos	2.539,07	8,76	8,22	1,60	6,00	16,22	10,22	2,57
Piancó	3.296,78	6,37	5,87	1,26	4,87	13,15	8,28	1,58
Itaporanga	3.036,59	5,88	5,83	1,02	3,94	9,56	5,62	1,05
Serra do Teixeira	2.617,28	9,24	9,15	1,01	6,50	15,21	8,71	1,03
Seridó Ocidental Paraibano	1.738,47	10,13	9,99	1,51	7,22	15,71	8,49	2,28
Seridó Oriental Paraibano	2.595,14	10,21	10,27	0,71	8,21	12,78	4,57	0,50
Cariri Ocidental	7.012,18	8,04	8,04	1,10	6,03	15,99	9,97	1,22
Cariri Oriental	4.224,21	8,47	8,44	0,45	6,75	11,29	4,54	0,20
Curimataú Ocidental	3.910,31	9,43	9,29	0,77	7,38	12,45	5,07	0,59
Curimataú Oriental	1.351,76	10,36	10,27	0,91	7,80	13,09	5,29	0,83
Esperança	271,82	10,61	10,56	0,45	9,28	12,06	2,78	0,20
Brejo Paraibano	1.168,33	9,18	9,41	1,55	6,03	13,33	7,30	2,40
Guarabira	1.297,67	8,77	8,59	1,00	6,74	11,83	5,09	1,00
Campina Grande	2.092,33	8,69	8,74	0,72	6,29	10,71	4,42	0,52
Itabaiana	1.655,00	7,66	7,71	1,24	5,03	12,80	7,77	1,54
Umbuzeiro	1.173,86	9,30	9,23	1,08	6,11	13,12	7,01	1,17
Litoral Norte	1.961,38	8,41	8,34	0,71	6,68	10,68	4,00	0,50
Sapé	1.138,93	8,30	8,26	0,43	7,06	9,67	2,62	0,18
João Pessoa	1.251,26	7,46	7,44	0,50	6,15	8,89	2,75	0,25
Litoral Sul	877,52	7,62	7,59	0,66	6,13	9,06	2,93	0,44

Quanto a densidade média de potência, ocorrem os valores médios acima de 500 W/m² nas microrregiões de Guarabira, Curimataú Ocidental, Brejo Paraibano, Umbuzeiro, Serra do Teixeira, Patos, Seridó Oriental Paraibano, Curimataú Oriental, Esperança e Seridó Ocidental Paraibano, respectivamente (Tabela 3).

A mediana segue os valores médios. Os maiores valores de desvio padrão ocorrem em Piancó, Brejo Paraibano e Seridó Ocidental Paraibano, 224,27; 283,24 e 378,06, respectivamente. Dos valores mínimos, somente a microrregião de Esperança atinge os 500 W/m² de potência favorável a instalação de geradores eólicos. Quanto aos valores máximos, todas as regiões superam os 500 W/m² e os valores de alcance segue a mesma

flutuação. Os maiores valores de variância ocorrem na microrregião do Brejo Paraibano seguida do Seridó Ocidental Paraibano entre 80.223,82 e 142.930,16, respectivamente.

No mapeamento eólico do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 2014) evidenciou-se sete áreas de relevante potencial, Mataraca, Curimataú, Serra da Borborema, Seridó Oriental, Seridó Ocidental, Serra do Teixeira, São João do Tigre e Camalaú, sendo que aproximadamente 89% do potencial estimado encontram-se nas regiões da Serra do Teixeira e Planalto da Borborema. Resultados similares a este trabalho, no entanto, com valores maiores de potencial devido este trabalho ter adotado a altura de 200 m, maior que o adotado por PARAÍBA (2014) de 120 m de altura.

Tabela 3. Dados estatísticos descritivos por microrregião da densidade média de potência (W/m^2) a 200 m

Microrregião	Área (km ²)	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Alcance	Variância
Catolé do Rocha	3.035,98	302,53	290,73	72,41	143,40	1.312,58	1.169,18	5.242,65
Cajazeiras	3.419,47	249,93	216,95	92,27	144,01	1.167,26	1.023,26	8.513,91
Sousa	4.801,80	240,47	216,97	73,03	143,76	1.251,38	1.107,62	5.333,53
Patos	2.539,07	675,48	571,18	35,24	187,75	3.420,80	3.233,05	12.416,38
Piancó	3.296,78	344,55	249,76	224,27	126,58	1.971,76	1.845,19	50.296,15
Itaporanga	3.036,59	243,22	219,96	120,41	71,02	1.153,06	1.082,04	14.499,74
Serra do Teixeira	2.617,28	666,03	638,45	215,54	232,53	2.748,16	2.515,64	46.455,93
Seridó Ocidental Paraibano	1.738,47	944,44	895,59	378,06	260,82	3.369,08	3.108,26	142.930,16
Seridó Oriental Paraibano	2.595,14	746,63	750,13	156,30	374,23	1.493,12	1.118,88	24.430,48
Cariri Ocidental	7.012,18	416,24	380,52	203,48	184,66	3.491,30	3.306,64	41.403,39
Cariri Oriental	4.224,21	421,54	410,10	69,68	218,54	976,04	757,51	4.854,74
Curimataú Ocidental	3.910,31	584,25	543,88	155,26	276,04	1.335,59	1.059,55	24.106,97
Curimataú Oriental	1.351,76	816,31	785,71	209,69	338,46	1.663,01	1.324,55	43.969,51
Esperança	271,82	823,95	807,00	107,86	553,36	1.220,33	666,96	11.633,51
Brejo Paraibano	1.168,33	615,62	604,94	283,24	164,15	1.723,90	1.559,75	80.223,82
Guarabira	1.297,67	536,74	485,13	188,92	250,32	1.263,58	1.013,26	35.691,53
Campina Grande	2.092,33	450,38	445,65	102,85	191,38	808,57	617,19	10.577,49
Itabaiana	1.655,00	382,95	358,32	190,81	141,63	1.642,59	1.500,96	36.408,26
Umbuzeiro	1.173,86	623,72	584,15	214,96	204,91	1.743,53	1.538,61	46.208,40
Litoral Norte	1.961,38	455,95	437,33	117,39	220,82	894,00	673,19	13.779,69
Sapé	1.138,93	438,01	431,30	63,87	257,95	694,55	436,60	4.079,63
João Pessoa	1.251,26	319,56	314,90	61,92	172,31	549,63	377,32	3.834,66
Litoral Sul	877,52	347,51	336,37	84,09	179,47	557,93	378,46	7.071,82

No Brasil, a tendência das maiores velocidades do vento, ocorrerem no litoral brasileiro e também em áreas do interior favorecidas por relevo e baixa rugosidade (ELETROBRÁS, 2008).

De acordo com Sauer et al. (2006), a Paraíba é um Estado privilegiado tanto pela localização geográfica, pois está em uma área banhada pelos ventos Alísios, que são praticamente constantes em direção e velocidade, quanto pela topografia que favorece sua distribuição no Estado.

Conforme Oliveira e Sousa (2017), a proximidade/afastamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) atua como um dos fatores de intensificação/desintensificação dos ventos. Juntamente com a migração da ZCIT ocorre o deslocamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), cuja configuração faz com que o vento de grande escala sobre paralelo à costa leste do Nordeste (Hastenrath & Heller, 1977; Kousky & Chu, 1978; Ferreira & Mello, 2005).

Além disso, os mecanismos de brisas marítimas no litoral e de vale-montanha no

continente, formados pelo gradiente de temperatura originado a partir das diferenças de aquecimento, contribuem fortemente para o aumento na intensidade e na variação da direção dos ventos alísios (Silva, 2003; Valença, 2010).

Conclusão

Pôde-se concluir que o uso de geotecnologias pôde mapear o potencial eólico com rapidez e precisão.

Os resultados da geostatística demonstraram a variabilidade do potencial eólico.

Os maiores valores de velocidade do vento (16,22 m/s) e de densidade média de potência (3.491,29 W/m²) ocorreram na simulação para mastro com 200 metros de altura.

As microrregiões de Esperança, Curimataú Oriental e Seridó Ocidental Paraibano apresentaram os maiores potenciais com probabilidade de instalação de aerogeradores.

Referências

- Amarante, O.A.C. do; Brower, M.; Zack, J.; Sá, A.L. 2001. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, Ministério de Minas e Energia. Eletrobrás, CEPEL. Brasília. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/atlas_eolico_brasil/atlas.htm. Acesso em: 22 de janeiro de 2024.
- Amarante, O.A.C. do; Schultz, D.J. 1999. Wind energy resource map of the state of Paraná, Brazil. Dewi Magazin 15 70-75.
- Amarante, O.A.C. do; Silva, F. de J.L. da; Andrade, P.E.P. de. 2009. Atlas eólico: Espírito Santo. Vitória: ASPE. 100p. Disponível em: <https://arsp.es.gov.br/Media/arsp/Energia/Estudos%20Energ%C3%A9ticos/2009/Atlas%20EolicoES.pdf>. Acesso em: 22 de janeiro de 2024.
- Amarante, O.A.C. do; Silva, F. de J.L. da; Andrade, P.E.P. de. 2010. Atlas eólico: Minas Gerais. Belo Horizonte: CEMIG. 84p. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_MG.pdf. Acesso em: 22 de janeiro de 2024.
- Amarante, O.A.C. do; Silva, F. de J.L. da; Rios Filho, L.G. 2003. Potencial Eólico do Estado do Rio Grande do Norte. Companhia Energética do Rio Grande do Norte. 47p. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_RN.pdf. Acesso em: 22 de janeiro de 2024.
- ANEEL. 2015. Agência Nacional de Energia Elétrica. Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico. Disponível em: www.sigel.aneel.gov.br. Acesso em: 19 jul. 2015.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2021. BDGD - Base de Dados Geográfica da Distribuidora conforme PRODIST. Módulo 10 – Sistema de Informação Geográfica Regulatório. Disponível em: ftp://ftp.aneel.gov.br/srd/LAI/BDGD_LAI. Acesso em: 12 de dezembro de 2023
- ANEEL. Resolução Normativa n. 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições

- gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <http://aneel.gov.br/cedo/ren2012482.pdf>. Acesso em: 15 novembro 2023.
- Archer, C.L.; Jacobson, M.Z. 2005. Evaluation of global wind power. *Journal of Geophysical Research* 110 e12110.
- Badger, J.; Davis, N.; Hahmann, A.N.; Olsen, B.; Larsén, X.G.; Kelly, M.C.; Volker, P.; Badger, M.; Ahsbabs, T.T.; Mortensen, N.G.; Ejsing Jørgensen, H.; Lundtang Petersen, E.; Lange, J.; Fichaux, N. 2015. The new worldwide microscale wind resource assessment data on IRENA's Global Atlas. The EUDP Global Wind Atlas. European Wind Energy Association. 42p. Disponível em: <https://research.cbs.dk/en/publications/the-new-worldwide-microscale-wind-resource-assessment-data-on-ire>. Acesso em 23 de janeiro de 2024.
- Badger, J.; Ejsing Jørgensen, H.; Kelly, M.C.; Bingöl, F.; Mortensen, N.G.; Hahmann, A.N.; Badger, M.; Mallafre, I.M.; Arent, D. 2012. Discovering the true wind resource: Including hi-res terrain effects for a new and Global Wind Atlas. In: European Wind Energy Conference & Exhibition European Wind Energy Association, 2012, Copenhagen. Anais...Copenhagen.
- Barbosa, C.C.; Câmara, G.; Medeiros, J.S. de; Crepani, E.; Novo, E.; Cordeiro, J.P.C. 1998. Operadores zonais em álgebra de mapas e sua aplicação no Zoneamento Ecológico Econômico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, 1998, Santos. Anais...Santos.
- Benelli, S.L.; Dorweiler, R.P.; Procopiak, L.A.J. 2009. Evolução tecnológica do mapeamento do potencial eólico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. Anais.Natal.
- Bertrand, G. 1981. Paisagem e Geografia Física Global: Esboço Metodológico. Caderno de Ciências da Terra, 13. Inst. de Geografia-USP. São Paulo.
- Bowen, A.; Mortensen, N.G. 2004. WAsP prediction errors due to site orography. *Forskningssenter Risoe Rep.* 65p. Disponível em: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/7711496/ris_r_995.pdf. Acesso em: 23 de janeiro de 2024.
- Carneiro, T.C.; Carvalho, P.C.M. de. 2015. Caracterização de potencial eólico: estudo de caso para Maracanaú (CE), Petrolina (PE) e Parnaíba (PI). *Revista Brasileira de Energia Solar* 6(1) 1-10.
- COELBA. Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia. 2002. Atlas do Potencial Eólico do Estado da Bahia. (Org). Amarante, O.A.C. do; Silva, F. de J.L. da. Salvador. 61p. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_BA.pdf. Acesso em: 22 de janeiro de 2024.
- Conrad, O.; Bechtel, B.; Bock, M.; Dietrich, H.; Fischer, E.; Gerlitz, L.; Wehberg, J.; Wichmann, V.; Böhner, J. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, *Geosci. Model Dev.* 8 1991-2007.
- Davis, N.N.; Badger, J.; Hahmann, A.N.; Hansen, B.O.; Mortensen, N.G.; Kelly, M.; Larsén, X.G.; Olsen, B.T.; Floors, R.; Lizcano, G.; Casso, P.; Lacave, O.; Bosch, A.; Bauwens, I.; Knight, O.J.; Loon, A.P. Van; Fox, R.; Parvanyan, T.; Hansen, S. Bo K.; Heathfield, D.; Onninen, M.; Drummond, R. 2023. The Global Wind Atlas: A high-resolution dataset of climatologies and associated web-based application. *Bulletin of the American Meteorological Society* 104(8) e1507-1525. ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. 2008. Atlas Eólico do Estado de Alagoas. 67p. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_AL.pdf. Acesso em: 23 de janeiro de 2024.
- ENERGISA PARAÍBA. 2021. Disponível em: www.energisa.com.br. Acesso em: 1 jul. 2014.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. 2021. Anuário Estatístico de Energia Elétrica

- 2021 ano base 2020. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 255p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio_2021.pdf. Acesso em: 14 de dezembro de 2023.
- ESRI. Mapa Topográfico Mundial. 2024. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: janeiro de 2024.
- Ferreira, A.G.; Mello, N.G.S. 2005. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia* 1(1) 15-28.
- Francisco, P.R.M. 2010. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Lima, E.R.V. de. 2013. Classificação de terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. *Revista Educação Agrícola Superior* 28(1) 30-35.
- Francisco, P.R.M.; Medeiros, R.M. de; Santos, D.; Matos, R.M. de. 2015. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8(4) 1006-1016.
- Francisco, P.R.M.; Santos, D. 2017. *Climatologia do Estado da Paraíba*. 1ª ed. Campina Grande: EDUFPG. 75p.
- Francisco, P.R.M.; Santos, D.; Ribeiro, G. do N.; Silva, V.F.; Ayres, G.D.J.; Rodrigues, R.C.M. 2023. Dinâmica temporal da cobertura e uso das terras do Estado da Paraíba utilizando Mapbiomas®. *Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology*, 9(3) 56-65.
- Francisco, P.R.M.; Sousa, J.H.S. de; Ribeiro, G. do N.; Rodrigues, R.C.M. 2023. Potencial fotovoltaico de áreas urbanizadas do Estado da Paraíba utilizando geotecnologias. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 13(4) 484-496.
- Geller, H.; Schaeffer, R.; Szklo, A.; Tolmasquim, M. 2004. Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil. *Energy Policy* 32(12) 1437-1450.
- Grubb, M.J.; Meyer, N.I. 1993. Wind energy: resources, systems and regional strategies. In: Jo-Hansson, T.B. et al. *Renewable energy: sources for fuels and electricity*. Washington, D.C.: Island Press.
- Gruber, K.; Klöckl, C.; Regner, P.; Baumgartner, J.; Schmidt, J. 2019. Assessing the Global Wind Atlas and local measurements for bias correction of wind power generation simulated from MERRA-2 in Brazil. *Energy* 189 e116212.
- Gruber, K.; Regner, P.; Wehrle, S.; Zeyringer, M.; Schmidt, J. 2022. Towards a global dynamic wind atlas: A multi-country validation of wind power simulation from MERRA-2 and ERA-5 reanalyses bias-corrected with the Global Wind Atlas. *Energy* 238(Part A) e121520.
- GWA. Global Wind Atlas. 2024. Disponível em: <https://globalwindatlas.info/en>. Acesso em: 22 de janeiro de 2024.
- Hartshorne, R. 1978. *Propósitos e Natureza da Geografia*. São Paulo, HUCITEC/EDUSP.
- Hastenrath, S.; Heller, L. 1977. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society* 103 77-92.
- Hyndman, R.J.; Fan, Y. 1996. Sample Quantiles in Statistical Packages. *The American Statistician* 50(4) 361-365.
- IBGE. Diretoria de Geociências. Coordenação de Meio Ambiente. *Áreas Urbanizadas do Brasil* 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/carta-s-e-mapas/redes-geograficas/15789->

- areas-urbanizadas.html?=&t=downloads. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas territoriais. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de dezembro de 2023.
- Kousky, V.E.; Chu, P.S. 1978. Fluctuations in annual rainfall for Northeast Brazil. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 57 457-465.
- Lima, F.J.L. de; Cavalcanti, E.P.; Souza, E.P. de. 2010. Avaliação do potencial eólico em cinco regiões do Estado da Paraíba. *Revista de Geografia (Recife)* 27(1) 138-153.
- Mortensen, N.G.; Badger, J.; Hansen, J.C.; Mabilille, E.; Spamer, Y. 2014. Large-scale, high-resolution wind resource mapping for wind farm planning and development in South Africa. In: *European Wind Energy Conf. and Exhibition, 2014, Barcelona, Spain*. Anais...Barcelona: European Wind Energy Association.
- Mortensen, N.G.; Davis, N.; Badger, J.; Hahmann, A.N. 2017. *Global Wind Atlas – validation and uncertainty*. 2017. In: *Wind Europe Resource Assessment Workshop, 2017, Edinburgh, United Kingdom*. Anais...Edinburgh.
- Niyomtham, L.; Waewsak, J.; Chuncham, C. 2020. Avaliação do potencial da energia eólica através do método de mapeamento eólico. *Journal of Universidad Thaksin*, 23(1) 39-48.
- Oliveira, S.S. de; Souza, E.P. de. 2017. Análise de modelos de mesoescala para caracterização do potencial eólico do Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(2) 277-291.
- ONS. Operador Nacional do Sistema. Sistema de Informações Geográficas Cadastrais do Sistema Interligado Nacional - SINDAT. Disponível em: www.aplicsindat.ons.org.br/sindat. Acesso em: 14 de dezembro de 2014.
- Ortiz, G.P.; Kampel, M. 2011. Potencial de energia eólica offshore na margem do Brasil. In: *Simpósio Brasileiro de Oceanografia*, 5, 2011, Santos. Anais...Santos.
- Otto, A. 2015. *Wind Atlas for South Africa: Phase 1*. South African National Energy Development Institute Doc. 50p. Disponível em: <https://wasaproject.info/docs/WASABooklet.pdf>. Acesso em: 23 de janeiro de 2024.
- PARAÍBA. 2006. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF. 112p.
- PARAÍBA. 2014. Secretaria de Infraestrutura, Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Camargo Schubert Engenheiros Associados. Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior, ATECEL. Atlas eólico: Paraíba. Campina Grande: ATECEL/UFCG. 104p. Disponível em: <https://paraiba.pb.gov.br/diretas/secretaria-de-infraestrutura-e-dos-recursos-hidricos/arquivos/atlas-pb-2017.pdf/view>. Acesso em: 22 de janeiro de 2024.
- PERNAMBUCO. Governo do Estado de Pernambuco. Secretaria de Desenvolvimento Econômico. Atlas Eólico e Solar de Pernambuco. Disponível em: <http://www.atlaseolicosolar.pe.gov.br>. Acesso em: 22 de janeiro de 2024.
- Pimenta, F.; Kempton, W.; Garvine, R.W. 2008. Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of Southeastern Brazil. *Renewable Energy* 33(11) 2375-2387.
- Ramdas, B.; Bastin, J.; Krishnan, B.; Kumar, T.S.; Solomon, J.C.D.; Balaraman, K. 2022. Validation of Global Wind Atlas for India. In: *International Power and Renewable Energy Conference, 2022, Kollam, India*. Anais...Kollam.

- SAGA. System for Automated Geoscientific Analyses. 2024. Disponível em: <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>. Acesso em: 24 de janeiro de 2024.
- Sauer, I.L.; Queiroz, M.S.; Miragaya, J.C.G.; Mascarenhas, R.C.; Quintino Júnior, A.R. 2006. Energias Renováveis: Ações e Perspectivas na Petrobras. *Análise e Dados* 16 (1) 9-22.
- Silva, B.B. da; Alves, J.J.A.; Cavalcanti, E.P. Caracterização do potencial eólico da direção predominante do vento no Estado da Bahia. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz de Iguaçu. Anais...Foz de Iguaçu, 2002.
- Silva, D.G.; Lopes, R.P.; Carvalho, D.F. 2013. Caracterização do potencial eólico em Seropédica (RJ). *Revista Energia na Agricultura* 28(3) 185-192.
- Silva, G.R. 2003. Características de Vento da Região Nordeste. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Pernambuco.
- Silva, J. K. A. da. 2007. Caracterização do vento e estimativa do potencial eólico para a região de tabuleiros costeiros (Pilar, Alagoas). 64f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Ciências Atmosféricas. Universidade Federal de Alagoas. Maceió.
- Souza, A.; Oliveira, S.S.; Ozonur, D. 2019. Análise da estimativa dos parâmetros da distribuição de Weibull para velocidade do vento em Campo Grande-MS. *Journal of Environmental Analysis and Progress* 4(3) 168-179.
- Tammelin, B.; Vihma, T.; Atlaskin, E.; Badger, J.; Fortelius, C.; Gregow, H.; Horttanainen, M.T.; Hyvönen, R.; Kilpinen, J.; Latikka, J.; Hämäläinen, K.; Mortensen, N.G.; Niemelä, S.; Ruosteenoja, K.; Salonen, K.; Suomi, I.; Venäläinen, A. 2012. Production of the Finnish Wind Atlas. *Wind Energy* 16 19-35.
- Tricart, J. 1977. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro. IBGE-SUPREN.
- Tricart, J.; KiewietdeJonge, C. 1992. *Ecogeography and Rural Management: A Contribution to the International Geosphere-Biosphere Programme*. Essex. Longman Scientific & Technical.
- Troen, I. 1990. A high resolution spectral model for flow in complex terrain. In: Symposium on Turbulence and Diffusion, 9, 1990, Roskilde, Denmark. American Meteorological Society 417-420.
- Troen, I.; Petersen, E.L. 1989. *European Wind Atlas*. Riso National Laboratory Rep. 657p. Disponível em: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/112135732/European_Wind_Atlas.pdf. Acesso em: 23 de janeiro de 2024.
- Tuchtenhagen, P.; Basso, J.; Yamasaki, Y. 2014. Avaliação do potencial eólico no Brasil em 2011. *Ciência e Natura* 36(2) 390-401.
- Valença, D.A.A. 2010. Proposição de uma metodologia para a avaliação do aproveitamento da energia eólica em ambiente urbano. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Pernambuco.
- Varejão-Silva M.A.; Braga, C.C.; Aguiar M.J.N.; Nietzsche M.H.; Silva, B.B. 1984. *Atlas Climatológico do Estado da Paraíba*. UFPB, Campina Grande.
- Zuluaga, M.M.; Dyner, I. 2007. Incentives for renewable energy in reformed Latin-American electricity markets: the Colombian case. *Journal of Cleaner Production* 15(2) 153-162.