

CONVERSÃO DA ENERGIA EÓLICA NOS ESTADOS BRASILEIROS: O PARADOXO DO RIO GRANDE DO NORTE

Maxwell Ferreira Lobato¹, Cynthia Valéria Barbosa Gomes Lobato²

¹*Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, RN, Brasil*
(Maxwell.ferreira@ufersa.edu.br)

²*PRODEMA, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, Brasil.*

Resumo: O estudo calcula e compara o fator de capacidade eólico dos estados brasileiros, com base nos dados do último Balanço Energético Nacional 2025. O Rio Grande do Norte, estado com maior capacidade instalada eólica do país (31,9%), apresenta fator de capacidade de 37,8%, abaixo da média nacional (41,6%) e significativamente inferior ao da Bahia (46,9%), segundo estado em capacidade. Em suma, se o RN operasse com o mesmo fator de capacidade da Bahia, produziria 7.548 GWh adicionais por ano.

Palavras-chave: energia eólica; fator de capacidade; eficiência energética; Balanço Energético Nacional.

INTRODUÇÃO

O ano de 2024 consolidou o Brasil como o principal polo eólico da América Latina e o sexto maior do mundo, alcançando 29.532,6 MW de capacidade instalada e geração anual de 107.654 GWh, resultado que reforça a crescente relevância das fontes renováveis na matriz energética nacional e evidencia o protagonismo brasileiro no cenário internacional (EPE, 2025; Cacciuttolo, Navarrete e Cano, 2025).

Entretanto, embora os números nacionais revelem um setor em franca expansão, a distribuição territorial dessa atividade permanece fortemente concentrada, já que os estados do Rio Grande do Norte e da Bahia respondiam, conjuntamente, por aproximadamente 62,0% da capacidade eólica instalada do país em 2024, configurando uma dinâmica espacial seletiva, marcada pela priorização de áreas com condições atmosféricas particularmente favoráveis à geração de energia.

Nesse contexto, torna-se fundamental diferenciar dois indicadores que frequentemente aparecem associados nas análises do setor, mas que representam dimensões distintas do desempenho energético: a capacidade instalada e a geração efetiva de eletricidade.

Enquanto a capacidade instalada expressa o potencial máximo teórico de produção de um parque eólico, a geração efetiva corresponde à quantidade real de energia convertida ao longo do tempo, diferença que conduz diretamente ao conceito de fator de capacidade

(FC), indicador amplamente utilizado na literatura internacional para avaliar a eficiência operacional dos empreendimentos eólicos e o grau de aproveitamento do recurso atmosférico disponível (Gurgel, Sales e Lima, 2024; Cacciuttolo, Navarrete e Cano, 2025).

No cenário internacional, o desempenho brasileiro nesse indicador destaca-se de maneira significativa, uma vez que o fator de capacidade médio nacional situa-se em torno de 42%, valor superior ao observado em importantes mercados eólicos globais, como Estados Unidos (37%), China (35%) e Alemanha (22%), diferença que reflete sobretudo a elevada qualidade do regime de ventos do Nordeste brasileiro, caracterizado por maior regularidade, menor turbulência atmosférica e reduzida sazonalidade ao longo do ano (Cacciuttolo, Navarrete e Cano, 2025).

Ainda assim, a média nacional tende a ocultar diferenças expressivas entre os estados produtores, sendo justamente nessa heterogeneidade regional que se encontra o problema central deste estudo, já que os dados do Balanço Energético Nacional 2025 (EPE, 2025) revelam um resultado aparentemente paradoxal, ou seja, embora o Rio Grande do Norte seja o líder nacional em capacidade instalada e responda por 31,9% da potência eólica do país, seu fator de capacidade permanece inferior à média brasileira e significativamente abaixo do registrado pela Bahia, segundo maior estado em capacidade instalada.

Essa aparente contradição revela que a liderança territorial na expansão da infraestrutura eólica não implica, obrigatoriamente, maior desempenho

operacional do sistema gerador, indicando a existência de fatores técnicos, espaciais e estruturais capazes de influenciar diretamente a eficiência dos empreendimentos instalados.

Apesar da relevância desse fenômeno para o planejamento energético nacional, para a formulação de políticas públicas e para a própria dinâmica de atração de investimentos no setor elétrico, ainda permanecem escassos os estudos que investigam de forma sistemática as diferenças interestaduais de desempenho da geração eólica a partir dos dados oficiais consolidados do Balanço Energético Nacional (BEN), sobretudo sob uma perspectiva comparativa envolvendo os principais estados produtores do país. Essa lacuna torna-se ainda mais significativa diante da rápida expansão das fontes renováveis na matriz eólica

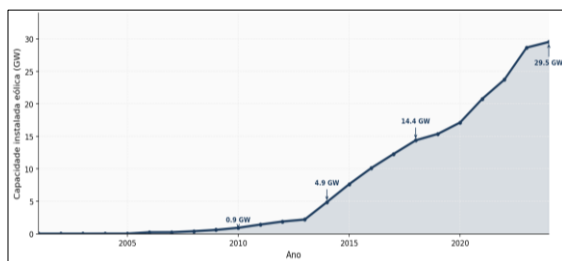


Figura 1. Evolução da capacidade instalada de energia eólica no Brasil

O país passou de 4,9 GW em 2014 para 29,5 GW em 2024, o que representa um incremento de mais de 500% em dez anos

O intervalo de crescimento mais acelerado ocorreu entre 2013 e 2016, quando a capacidade saltou de 2,2 GW para 10,1 GW, aumento de 360% em três anos, reflexo direto dos contratos firmados nos leilões de energia de 2009 a 2017 (Costa; Haddad; Yamachita, 2020; Pereira, 2025)

A partir de 2018, o crescimento prosseguiu em ritmo positivo, porém mais gradual, com a incorporação progressiva dos complexos eólicos localizados no semiárido nordestino.

Diante desse quadro, o presente estudo tem como objetivo calcular e comparar o fator de capacidade dos estados brasileiros com produção eólica relevante em 2024, utilizando exclusivamente dados do Balanço Energético Nacional 2025 (EPE, 2025), buscando, especificamente, calcular o fator de capacidade e a geração por MW instalado para cada estado produtor, identificar e quantificar o déficit relativo de geração dos estados, compará-los entre si, identificar os possíveis fatores técnicos, territoriais e estruturais associados às diferenças observadas e, por fim, contextualizar esses resultados no âmbito da recente

trajetória de expansão das energias renováveis no Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo tem caráter quantitativo e analítico-comparativo. Todos os dados provêm exclusivamente do último Balanço Energético Nacional (EPE, 2025), referente a 2024, utilizando duas tabelas do Capítulo 8 (Dados Estaduais) e uma do Capítulo 2 (Oferta e Demanda por Fonte).

O presente trabalho analisou todos os estados com produção eólica superior a 100 GWh em 2024 e foram calculados três indicadores para cada um deles.

Fator de Capacidade (FC): expressa a eficiência de conversão da capacidade instalada em geração real (Equação 1):

$$FC = \frac{G}{C \times 8.760} \times 100 \quad (Eq. 1)$$

em que G é geração eólica real anual do estado (GWh); C é a capacidade instalada eólica do estado (MW); e 8.760 é o número de horas em um ano. O resultado é multiplicado por 100 para expressão percentual.

O índice de especialização eólica (Eesp): expressa a participação da fonte eólica na geração total estadual (Equação 3):

$$E_{esp} = \frac{G_{eólica}}{G_{total}} \times 100 \quad (Eq. 2)$$

em que $G_{eólica}$ é a geração eólica estadual (GWh) e G_{total} é a geração elétrica total do estado (GWh).

Déficit potencial de geração (DP): quantifica, em termos relativos, quanto cada estado deixa de gerar em relação ao seu potencial instalado. É calculado tomando como referência o FC do estado de melhor desempenho (Equação 2):

$$DP = \frac{G_{pot} - G_{real}}{G_{pot}} \times 100 \quad (Eq. 3)$$

em que G_{pot} = geração hipotética do estado se operasse com o FC do estado de referência ($G_{pot} = C \times 8.760 \times FC / 100$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados

A Figura 2 apresenta a capacidade instalada eólica por estado, evidenciando a concentração entre Rio Grande

do Norte e Bahia, que juntos representam 62% do total nacional.

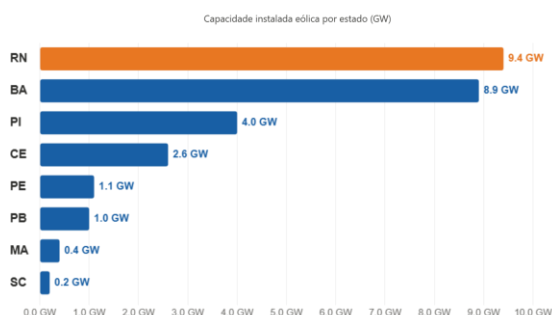


Figura 2. Capacidade eólica instalada por estado

O Rio Grande do Norte se destaca como o estado com a maior capacidade instalada de energia eólica do Brasil, com 9,4 GW, seguido de perto pela Bahia, com 8,9 GW. Juntos, esses dois estados concentram mais da metade da capacidade eólica nacional.

Na sequência, Piauí (4,0 GW) e Ceará (2,6 GW) consolidam o Nordeste como a principal região produtora de energia eólica do país.

Pernambuco e Paraíba aparecem com capacidades próximas, de 1,1 GW e 1,0 GW, respectivamente, enquanto Maranhão (0,4 GW) e Santa Catarina (0,2 GW) fecham o ranking com participações menores, sendo Santa Catarina o único estado fora do Nordeste entre os oito listados, o que evidencia a forte concentração geográfica dessa fonte de energia na região.

A Figura 3 apresenta um diagrama de dispersão relacionando a capacidade instalada (GW) e a geração eólica real (GWh) dos estados, permitindo identificar diferenças no aproveitamento do potencial instalado.

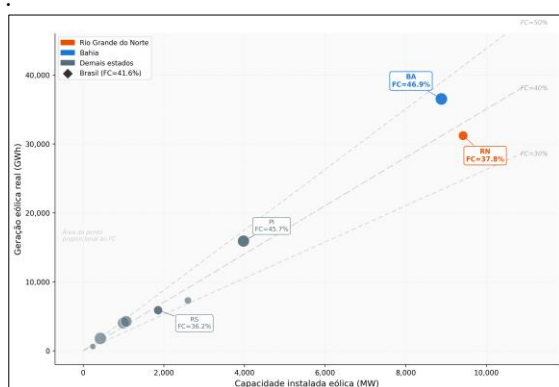


Figura 3. Diagrama de dispersão: capacidade instalada eólica vs. geração real por estado

A posição de cada estado em relação à linha de referência indica seu fator de capacidade (FC), ou seja, estados acima da linha geram proporcionalmente mais

energia do que a média, enquanto os abaixo geram menos.

As linhas de referência indicam isocurvas de FC constante (30%, 40% e 50%). Nesse contexto, chama atenção o fato de a Bahia (FC $\approx$ 49%) superar o Rio Grande do Norte (FC $\approx$ 37%) em termos de geração real, apesar de ter menor capacidade instalada entre os dois.

Isso indica que os parques eólicos baianos operam com ventos mais constantes ou mais intensos em relação à sua capacidade nominal. O Brasil como um todo apresenta um FC intermediário, refletindo a média ponderada entre estados com desempenhos distintos.

Adicionalmente, a tabela 1 apresenta os resultados do cálculo do Fator de Capacidade (FC) e do Índice de Especialização Eólica para todos os estados produtores.

Tabela 1. Fator de capacidade eólico e especialização da matriz por estado

Estado	C (MW)	G (GWh)	FC (%)	Eesp (%)
Maranhão	426,0	1.803	48,3	11,5
Bahia	8.881,3	36.520	46,9	61,8
Paraíba	992,2	4.049	46,6	63,4
Pernambuco	1.066,1	4.270	45,7	34,7
Piauí	3.974,6	15.898	45,7	76,7
Rio G. do Norte	9.420,6	31.190	37,8	89,2
Rio G. do Sul	1.858,2	5.886	36,2	14,4
Ceará	2.597,8	7.288	32,0	51,3
Santa Catarina	241,6	617	29,2	1,8
BRASIL	29.532,6	107.654	41,6	14,3

Os resultados revelam que o Rio Grande do Norte é apenas o sexto estado em Capacidade Eólica, ficando na frente somente do Ceará e Santa Catarina.

Essa colocação pode representar uma preocupação, pois o RN é o estado que apresenta o maior grau de especialização eólica do Brasil, com 89,2% em 2024, ou seja, é o estado que mais depende de energia eólica entre todos os avaliados.

Por fim, o segundo estado mais especializado, o Piauí, apresenta 76,7%, seguido pela Paraíba (63,4%) e pela Bahia (61,8%).

Devido ao alto grau de especialização do Rio Grande do Norte, a Figura 4 compara a composição da matriz elétrica do estado potiguar e do Brasil em 2024.

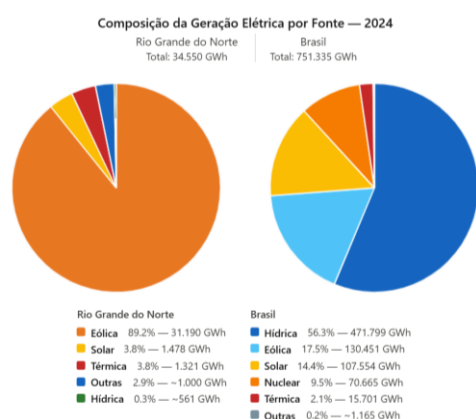


Figura 4. Composição da geração elétrica por fonte
Rio Grande do Norte e Brasil

Os resultados mostram que, enquanto a matriz nacional distribui-se entre hidrelétrica (56,1%), termelétrica (18,0%), solar (9,4%), eólica (14,3%) e nuclear (2,1%), a potiguar é, conforme citado anteriormente, essencialmente monofonte, com 89,2% eólica, 9,8% solar, 0,9% termelétrica e 0,04% hidrelétrica.

Por fim, aplicando a Equação 3 para calcular o déficit potencial dos estados em relação ao Maranhão (FC de referência 48,3%), observa-se o seguinte resultado (Tabela 2)

Tabela 2. Déficit potencial dos estados em relação ao Maranhão

Estado	Ger. real (GWh)	Ger. potencial (GWh)	DP (%)
Maranhão (referência)	1.803	1.802	—
Bahia	36.520	37.577	2,8%
Paraíba	4.049	4.198	3,6%
Pernambuco	4.270	4.511	5,3%
Piauí	15.898	16.817	5,5%
Rio G. do Norte	31.190	39.859	21,7%
Rio G. do Sul	5.886	7.862	25,1%
Ceará	7.288	10.991	33,7%
Santa Catarina	617	1.022	39,6%
Brasil	107.654	124.955	13,8%

Entre os estados com menor déficit potencial destacam-se Bahia (2,8%), Paraíba (3,6%), Pernambuco (5,3%) e Piauí (5,5%), todos operando próximo ao nível de referência.

Em termos relativos, os maiores déficits são registrados por Santa Catarina (39,6%), Ceará (33,7%) e Rio Grande do Sul (25,1%), contudo, em razão do

pequeno porte desses parques, os déficits absolutos são limitados.

Já o Rio Grande do Norte representa o caso mais expressivo ao combinar elevada capacidade instalada (9,4 GW) com déficit potencial de 21,7%. Além do mais, com geração real de 31.190 GWh frente a uma geração potencial de 39.859 GWh, o déficit absoluto do estado chega a 8.669 GWh, valor superior ao déficit de quase todos os demais estados somados, e equivalente a mais do que toda a produção eólica do Ceará em 2024 (7.288 GWh).

Por fim, a Bahia, único estado com capacidade instalada comparável à do RN (8,9 GW), registra déficit potencial de apenas 2,8%, evidenciando que o porte do parque, por si só, não determina o nível de aproveitamento do potencial instalado.

Discussão

Os dados não permitem, isoladamente, estabelecer as causas das diferenças de FC entre estados, uma vez que o BEN não desagrega geração por parque individual, velocidade média de vento ou geração de turbina. Contudo, a literatura oferece elementos interpretativos consistentes com os resultados encontrados.

Cacciuttolo, Navarrete e Cano (2025) documentam que o fator de capacidade dos parques eólicos brasileiros varia substancialmente com a altura do hub e a geração das turbinas. As de geração mais recente, instaladas a 120–150 m de altura, alcançam fatores de capacidade superiores a 50% nos melhores sítios do Nordeste.

O Rio Grande do Norte concentra os parques mais antigos do país, sendo parte significativa instalada entre 2009 e 2014, com turbinas de 70–90 m de hub e tecnologia menos eficiente (ABEEólica, 2022).

A Bahia e o Piauí, estados de expansão eólica mais recente e acelerada, instalaram proporção maior de turbinas de última geração, o que explicaria o FC superior.

Gurgel, Sales e Lima (2024), ao analisarem a densidade de potência eólica no Nordeste a partir de modelos climáticos regionais, demonstraram que o Rio Grande do Norte apresenta elevada qualidade do recurso eólico, especialmente na região semiárida, mas ressaltam que a distribuição espacial dos parques não corresponde perfeitamente às áreas de maior intensidade de vento, já que parte dos empreendimentos foi instalada em regiões litorâneas de menor velocidade média do que o interior.

Além disso, a alta especialização eólica do Rio Grande do Norte (Eesp = 89,2%) indica que praticamente toda a geração elétrica estadual depende da fonte eólica, o que amplifica o impacto do FC sobre a segurança energética regional.



Do ponto de vista do planejamento energético, os resultados sugerem que a discussão sobre a liderança eólica do Rio Grande do Norte deve incorporar não apenas a capacidade instalada, mas também a eficiência de conversão.

A expansão do parque instalado sem ganhos correspondentes de FC implica que o potencial da infraestrutura existente não está sendo plenamente aproveitado, dessa forma, a substituição progressiva das turbinas de primeira geração por equipamentos mais modernos pode representar uma alternativa para ampliar a geração sem necessariamente expandir a área ocupada pelos parques.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo calculou, a partir dos dados do BEN (EPE, 2025), o fator de capacidade eólico dos estados brasileiros em 2024 e o resultado central é paradoxal.

O Rio Grande do Norte, maior polo eólico do país, com 9.420,6 MW instalados (31,9% do total nacional) e especialização de 89,2% na fonte, apresenta fator de capacidade de 37,8%, valor abaixo da média nacional (41,6%) e 9,1 pontos percentuais inferior ao da Bahia (46,9%), que possui menor capacidade instalada, mas gera 5.330 GWh a mais por ano.

O déficit potencial calculado é expressivo. Caso o Rio Grande do Norte operasse com o fator de capacidade do Maranhão (48,3%, o maior do país), geraria 8.681 GWh adicionais por ano, volume superior a toda a produção eólica cearense.

A literatura aponta que as diferenças de fator de capacidade estão associadas à época de instalação e à geração das turbinas, dessa forma, já que o parque potiguar, em grande parte foi instalado entre 2009 e 2014, concentra máquinas de menor eficiência quando comparadas aos parques mais recentes da Bahia e do Piauí.

Os resultados apontam para duas agendas complementares. Do ponto de vista da pesquisa, estudos futuros com dados mensais do ONS permitirão calcular o fator de capacidade por parque individual e verificar, com maior precisão, a contribuição de fatores como localização, altura do hub, geração das turbinas e manutenção para as diferenças observadas. Do ponto de vista do planejamento, a política eólica no Rio Grande do Norte deveria incorporar metas de fator de capacidade, e não apenas de capacidade instalada, além de avaliar o potencial de *repowering* do parque existente como estratégia para ampliar a geração sem aumentar a pressão territorial sobre o semiárido potiguar.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA (ABEEólica). *Um pouco sobre a história da energia eólica no Brasil*. São Paulo: ABEEólica, 2022. 8 p.
- CACCIUTTOLO, C.; NAVARRETE, M.; CANO, D. Advances, Progress, and Future Directions of Renewable Wind Energy in Brazil (2000–2025–2050). *Applied Sciences*, v. 15, n. 10, p. 5646, 2025. DOI: 10.3390/app15105646.
- COSTA, A.; HADDAD, J.; YAMACHITA, R. A. ANÁLISE DOS LEILÕES DE ENERGIA EÓLICA BRASILEIRA NO PERÍODO DE 2009 A 2017. *UNESC em Revista*, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 18–35, 2020. Disponível em: <http://revista.unesc.br/ojs/index.php/revistaunesc/article/view/134>. Acesso em: 8 jun. 2026.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Balanço Energético Nacional 2025 – Ano Base 2024*. Rio de Janeiro: EPE/MME, 2025. (Capítulo 2, Tabelas 2.7 e 2.8; Capítulo 8, Tabelas 8.1e e 8.4).
- GURGEL, A. de R. C.; SALES, D. C.; LIMA, K. C. Wind power density in areas of Northeastern Brazil from Regional Climate Models for a recent past. *Plos One*, v. 19, e0307641, 2024. DOI: 10.1371/journal.pone.0307641.
- PEREIRA, A. K. O Setor eólico na transição energética brasileira: avanços, políticas e impactos ambientais. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, Rio de Janeiro, n. 35, p. 77-86, nov. 2025. Edição Especial COP 30. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/brua35art6>.