

Energia eólica no Ceará: seus parques e sua contribuição para a matriz energética do Estado

Paula Meyer Soares¹, Danylo Carvalho Mucury², Marcus Vinícius de Holanda Bonifácio³

Resumo

A matriz energética brasileira, comparada com a de alguns países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), é considerada uma das mais limpas do mundo. A geração de eletricidade concentra-se, em 67%, nas fontes renováveis, dentre elas, a fonte eólica. A Região Nordeste reúne a maior parte dos empreendimentos eólicos do País, com destaque para o Estado do Ceará. Atualmente, a referida unidade da Federação ocupa a segunda posição na geração de energia elétrica. Além de seus 81 parques eólicos em operação, o Ceará vem construindo: um empreendimento com capacidade de 19,2 megawatts (MW); e outros 12 com capacidade total de 315 MW. O presente estudo faz uma avaliação do Estado do Ceará em relação à geração de energia elétrica com uso

Abstract

The Brazilian energy matrix, compared to some Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) countries, is considered one of the cleanest in the world. 67% of electricity generation is concentrated on renewable sources, including wind power. The Northeast region concentrates most of the country's wind projects, especially the state of Ceará. Currently, Ceará occupies the second position in the generation of electric energy. In addition to its 81 operating wind farms, Ceará has been building: an enterprise with a capacity of 19.2 megawatts (MW); and another 12 with a total capacity of 315 MW. This study makes an assessment of the state of Ceará in the generation of electric energy using the wind

1 Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade de Fortaleza (Unifor) (1990), mestre e doutora em Economia pela Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas (FGV-Eaesp). Professora da Universidade de Brasília (UnB) na Faculdade UnB Gama (FGA) e do Programa de Pós-graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação (Profnit) da UnB.

2 Mestre em Inovação pelo Profnit da UnB.

3 Engenheiro de Energia pela UnB, com intercâmbio na Austrália. Integrante da equipe de comercialização da Norte Energia S.A., empresa empreendedora da Usina Belo Monte.

da fonte eólica, observando os aspectos tecnológicos e de capacidade de geração. A metodologia utilizada toma como base uma análise quali-quantitativa de dados secundários e primários de: capacidade de geração, patentes, investimentos realizados e equipamentos utilizados na construção dos parques eólicos.

source, observing the technological aspects and generation capacity. The methodology used is based on a quali-quantitative analysis using secondary and primary data on generation capacity, number of patents, investments made, and equipment used in the construction of wind farms.

Palavras-chave: Energia eólica. Ceará. Leilões. Matriz energética. Inovação.

Keywords: Wind energy. Ceará. Auctions. Energy matrix. Innovation.

1. Introdução

A expansão da geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis é uma tendência mundial. A crescente pressão da sociedade para a redução dos gases de efeito estufa (GEE), corroborada pelo compromisso firmado por alguns países na COP 21⁴, em Paris, e pelo aumento da demanda por energia, tem conduzido as nações a repensarem seus modelos de setor elétrico.

Mesmo considerando: a redução dos custos de implantação de fontes alternativas de energia renovável; a maior automação das redes; e o crescimento da capacidade de armazenagem de energia, é importante verificar, ainda, o papel da inovação, no Brasil e no mundo, dentro desse contexto.

A participação dessas fontes na matriz energética brasileira é crescente, com destaque para a fonte eólica, cuja parcela é de 9%, o correspondente a 14,49 gigawatts (GW) de energia gerados na referida matriz.

Em 2018, foram instalados 14,721GW de potência eólica, representando uma expansão de 15,3%, se comparada com a do ano anterior. A maioria dos empreendimentos eólicos brasileiros está localizada na Região Nordeste do País, com destaque para os estados do Ceará, do Rio Grande do Norte e da Bahia (ABEEÓLICA, 2019).

Em 2018, havia 574 parques aptos funcionando no Brasil. Nos anos seguintes, foram instaladas 71 novas usinas eólicas no País, com acréscimo de 3.179,1 megawatts (MW) de potência contratada.

4 Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP-21), realizada em dezembro de 2015.

Os estados do Rio Grande do Norte e do Ceará são os que mais receberam empreendimentos eólicos, reunindo 46 dessas usinas construídas mais recentemente (ABEEÓLICA, 2019).

O período de maior potencial eólico brasileiro se dá nos meses de junho a dezembro, justamente quando o índice de chuvas é menor. Dessa forma, a utilização de energia eólica propicia uma maior segurança energética em um período historicamente marcado por instabilidades na fonte com maior participação na matriz energética nacional (EVOLUÇÃO ENERGIA EÓLICA, 2014).

As iniciativas de expansão da geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis visam à consolidação desse segmento na matriz energética brasileira, em uma perspectiva de longo prazo. Leilões de energia têm sido realizados, contemplando as fontes renováveis - eólica e solar, respectivamente - de modo a garantir o suprimento energético por meio do uso dessas fontes.

O presente artigo expõe dados de um estudo sobre: o potencial energético da Região Nordeste brasileira, com ênfase no Estado do Ceará; além das inovações tecnológicas ocorridas nesse segmento de energias renováveis no Brasil e no mundo.

2. Metodologia

Para a realização do mencionado estudo, foi utilizada uma abordagem qualitativa e quantitativa. De acordo com KNECHTEL (2014), as pesquisas quantitativas tomam como base verificações de uma teoria, em conjunto com a observação das tendências das variáveis examinadas. Este estudo é feito, portanto, a partir de análises estatísticas, com o objetivo de determinar se as generalizações previstas na teoria se sustentam ou não. A pesquisa qualitativa, por sua vez, não busca enumerar ou mensurar os eventos estudados, nem emprega instrumentos estatísticos na análise dos dados, priorizando, desse modo, o processo da pesquisa e não simplesmente os resultados. Assim, o significado é a preocupação essencial na abordagem qualitativa.

Na condução do estudo, foi realizada, ainda, uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto, de modo a se compreender os aspectos técnicos, tecnológicos e regionais da geração de energia eólica no Estado do Ceará. Foram utilizados, ainda, dados primários e secundários relativos à geração de energia elétrica e constantes nos registros sobre os leilões de energia de reserva, energia nova e energia estruturante, informações estas divulgadas nos Boletins Técnicos da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) do Ministério de Minas e Energia (MME), durante o período de 2010 a 2018. A análise também envolveu dados disponíveis no site Orbit Intelligence sobre patentes e invenções.

Ainda dos documentos de leilões da Aneel, foram compilados dados relativos ao potencial eólico, aos empreendimentos habilitados e aos investimentos realizados por parte das empresas geradoras de energia com uso de fonte eólica no Estado do Ceará.

Do mesmo modo, houve análise de dados geográficos e climáticos do Estado, que o colocam como um dos grandes promissores para a geração de energia elétrica a partir da utilização de fontes eólicas.

3. Resultados e discussão

3.1. Aspectos técnicos da geração de energia utilizando a fonte eólica

A conversão da energia disponível nos ventos em capacidade de trabalho, conhecida como energia mecânica se dá por meio um processo relativamente simples, sendo necessário, porém, haver um bom potencial eólico e também que o sistema esteja preparado para lidar com as variações climáticas impostas pela natureza. Esse aproveitamento da fonte eólica em energia mecânica é feito desde épocas medievais, quando a força dos ventos era utilizada para mover a indústria de forjaria e, em períodos posteriores, empregada em moinhos de cereais e bombas d'água, por exemplo (RUNCOS, 2006).

Durante o funcionamento de uma turbina eólica, o vento movimenta as hélices, fazendo com que as forças aerodinâmicas passem a movimentar o rotor, de forma que o eixo da turbina alcance altas rotações (DA SILVA, 2013).

Nos ventos que varrem a área do rotor, a turbina eólica capta uma fração da energia cinética que é transformada em energia mecânica. No eixo do rotor, está acoplado um gerador elétrico com a função de transformar essa energia mecânica em energia elétrica, de maneira que haja a potência elétrica, dada em watts (RUNCOS, 2006).

3.1.1. Classificação das turbinas eólicas

Os aerogeradores podem ser classificados em relação à diversos fatores, tais como:

- Capacidade de geração;
- Tipo de terreno instalado (terra ou mar);
- Características de projeto de rotor.

3.1.1.1. Quanto à capacidade de geração

Turbinas eólicas são consideradas de pequeno porte quando têm capacidade de geração de até 20 kilowatts (kW). Possuem sistemas indicados para instalações residenciais e aplicações em localidades isoladas, como zonas rurais. Normalmente, são utilizadas em conjunto com um sistema de armazenamento de energia para uso posterior, como baterias (PUC-RS, 2010).

Em relação à classificação de médio porte, esta corresponde aos aerogeradores com capacidade entre 20 kW e 250 kW. Estes equipamentos são comumente utilizados em sistemas de geração híbrida, em conjunto com outro tipo de fonte de energia, como a solar. Podem ser aplicados para sistemas isolados ou ligados diretamente na rede. Um bom exemplo onde esse tipo de turbina é usado diz respeito aos sistemas de geração distribuída (DA SILVA, 2013).

As turbinas eólicas de grande porte são aquelas que possuem capacidade de geração acima de 250 kW, mas a grande maioria dos fabricantes trabalha com turbinas na faixa entre 1,5 MW e 4 MW. Esse tipo de turbina é utilizada principalmente em grandes empreendimentos, como usinas eólicas, que são ligadas diretamente na rede para o transporte de energia elétrica. O custo desse tipo de turbina é consideravelmente maior que o de outros tipos desse equipamento, tanto na fase de fabricação quanto nas etapas de transporte e instalação (DA SILVA, 2013).

3.1.1.2. Quanto ao tipo de terreno instalado

Os sistemas eólicos podem ser instalados tanto sobre terra (*onshore*) quanto no mar (*offshore*).

Sistemas *onshore* são os mais utilizados, pois possuem uma tecnologia mais desenvolvida e utilizada há mais tempo. Tais sistemas também propiciam facilidade no processo de instalação e

manutenção. Entretanto, esse tipo de empreendimento apresenta mais impactos relacionados à poluição visual e sonora, ao uso da terra e a problemas sociais (DA SILVA, 2013).

Sistemas *offshore* são os instalados nos oceanos e não possuem tecnologia totalmente desenvolvida, porém, já existem usinas eólicas *offshore* em operação no mundo. Entre as vantagens consideráveis desse tipo de sistema está o fato de que, com o mesmo trabalho com ventos mais fortes e constantes, o impacto relacionado com poluição visual e sonora é reduzido, se comparado com o sistema *onshore* (DA SILVA, 2013).

Contudo, ainda existem grandes desafios para o pleno desenvolvimento desse tipo de tecnologia: a estrutura de fundação para as torres no mar é mais cara e desafiadora; os materiais utilizados têm que ser especiais para resistir à corrosão e erosão provenientes da salinidade do mar; e as condições de instalação, operação e manutenção são bem mais complexas. Outro desafio para esse tipo de tecnologia é a transmissão para o sistema de consumo final (BRASIL, 2012).

3.1.1.3. Quanto à característica de projeto rotor

Em relação às características de projeto de rotor, as turbinas possuem dois tipos de classificação: turbinas de eixo horizontal e de eixo vertical (ACKERMAN, 2000).

As turbinas de eixo horizontal são as mais apropriadas e, conseqüentemente, mais utilizadas em sistemas de geração de energia elétrica para aplicações comerciais. Esse tipo de turbina pode variar de acordo com a quantidade de pás que o rotor possui, sendo o tipo mais comum o de 3 pás. Isso se dá porque o rotor de duas pás, apesar de mais barato, produz velocidade de rotação mais alta, o que implica na perda de estabilidade para a turbina (DA SILVA, 2013).

Por sua vez, como o nome diz, turbinas de eixo vertical têm rotação em torno de seu próprio eixo. Sua altura é limitada e seu movimento ocorre com ventos de velocidades menores. Uma vantagem desse tipo de turbina é que o gerador pode ser colocado na base da torre, facilitando a operação do sistema. Entretanto, esse tipo de equipamento possui eficiência reduzida e sua capacidade é consideravelmente menor em comparação a turbinas de eixo horizontal (ACKERMAN, 2000). Assim, esse tipo de turbina é tida como pouco rentável, sendo utilizada principalmente em locais remotos, sem acesso à rede elétrica (DA SILVA, 2013).



Foto 1. Turbina de eixo vertical (esquerda) e turbina de eixo horizontal (direita)

Fonte: Banco de imagens GettyImages.

3.2. Funcionamento de uma turbina eólica

As turbinas eólicas de eixo horizontal possuem componentes básicos, entre os quais podem ser citados:

- Rotor;
- Nacele;
- Torre e fundação.

O rotor é composto basicamente pelas pás da turbina e o cubo onde elas são acopladas. As pás são estruturas aerodinâmicas reforçadas com fibra de vidro, produzidas a partir de materiais compósitos, resina epóxi ou poliéster e representam cerca de 22% do custo total da turbina (ABDI, 2014). As pás possuem formas de aerofólio, de maneira que estão sujeitas a forças e tensões relacionadas a aerodinâmicas para aerofólios (DA SILVA, 2013).

Além das pás, existe o cubo do rotor, que é responsável pela transmissão do movimento proveniente das pás, como torque, para o sistema interno da turbina, mais especificadamente a caixa multiplicadora (ACKERMAN, 2000).

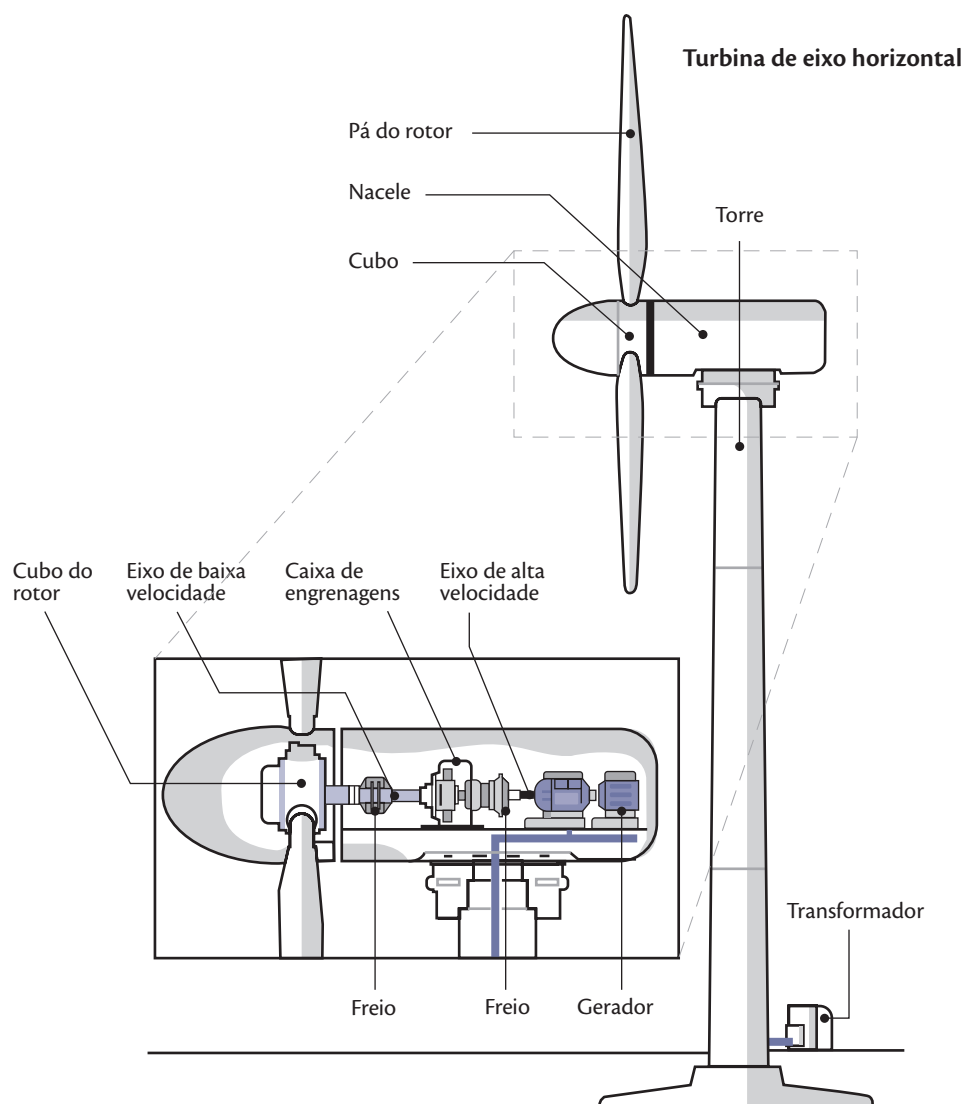


Figura 1. Aerogerador e suas partes

Fonte: Elaboração CGEE.

A nacele, que pode ser considerada como o componente principal da turbina eólica, é a carcaça onde está contida uma série de elementos mecânicos e elétricos, responsáveis pela conversão de energia elétrica a partir do torque do rotor (ACKERMAN, 2000). Entre esses elementos, se destacam a caixa multiplicadora, o eixo, o gerador, o sistema yaw, o sistema de freios e o transformador.

A caixa multiplicadora é localizada entre o rotor e o gerador e é responsável pela conversão da rotação baixa, proveniente do rotor, para a velocidade de rotação mais alta que o gerador necessita para gerar energia (DA SILVA, 2013).

O gerador é responsável pela conversão de energia mecânica de rotação em energia elétrica e pode ser de diferentes tipos. O transformador é responsável pela elevação da tensão gerada para a tensão adequada à rede elétrica a qual a turbina está conectada. O sistema *yaw* é responsável pelo alinhamento da turbina com a direção do vento (ABDI, 2014). Esse sistema, com o auxílio de um anemômetro, identifica as mudanças na direção do vento e guia a nacelle para que a mesma se posicione na direção apropriada (SPERA, 1998).

Outro componente importante é o sistema de freios, necessário para cessar o movimento da turbina em momentos de ventos extremos, de forma que os equipamentos não sejam danificados (DA SILVA, 2013).

O princípio de funcionamento da turbina eólica baseia-se na conversão da energia cinética - que é resultante do movimento de rotação causado pela incidência do vento nas pás do rotor da turbina - em energia elétrica. Na Figura 1, há uma representação de todos os componentes básicos para o funcionamento de uma turbina eólica ou aerogerador.

As condições de funcionamento de uma turbina eólica dependem principalmente das condições de vento. Este pode ter comportamento uniforme ou não, dependendo da localidade do empreendimento eólico e da proximidade com fatores que impactem diretamente na sua velocidade.

3.3. Panorama da energia eólica no Brasil

O avanço das fontes de energias alternativas no Brasil ocorreu após o a promulgação da Lei n.º 10.438/2002, que criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), cujo objetivo foi fomentar o aumento da participação dessas fontes (pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas e empreendimentos termelétricos a biomassa) na produção de energia elétrica.

Em 2020, o setor eólico brasileiro finalizou o ano com uma potência instalada total de 17,75 GW distribuídos por 686 usinas, o que representou um crescimento de 14,89 % de potência em relação a dezembro de 2019 (ABEEÓLICA, 2020).

A expansão da capacidade geradora de energia da fonte eólica deve-se ao aumento da participação da referida fonte nos leilões de energia. Em 2018 por exemplo, foram realizados dois leilões de energia

nova, denominados A-4 e A-6, ambos envolvendo fonte eólica. No leilão A-4, foram viabilizados quatro projetos (de 114,4 MW de potência e 33,4 MW médios de garantia física contratada) que deverão iniciar o fornecimento de energia elétrica a partir de 1º de janeiro de 2022. Por sua vez, o leilão A-6 viabilizou 44 projetos eólicos (correspondentes a 1.136,30 MW de potência e 420,10 MW médios de garantia física contratada). Neste segundo certame, as usinas devem iniciar a operação comercial a partir de 1º de janeiro de 2024. Ao todo, foram contratados 1,70 GW de capacidade instalada, em 48 parques, nos leilões regulados de 2018 (SOARES e MUCURY, 2018).

Em 2020, a capacidade instalada foi de 17,75 GW, sendo 17,16 GW distribuídos em parques em operação comercial (96,72%) e 0,58 GW de operação em teste (3,28%) (ABEEÓLICA, 2020).

A geração média de energia dos estados da Região Nordeste é de 849,70 MW. A capacidade instalada desses empreendimentos está distribuída entre 430 parques eólicos, totalizando 2.013,9 MW. Em 2018, 53 novos empreendimentos iniciaram a sua operação o País, sendo a maioria localizada no Nordeste.

A distribuição de potência instalada concentra-se na Região Nordeste, especialmente nos Estados do Ceará, da Bahia e do Rio Grande do Norte (Gráfico 1), devido às características dos ventos encontrados nessa Região, que são mais regulares e intensos, o que propicia a geração de energia ao longo do ano, de forma mais previsível.



Gráfico 1. Geração em MW médio por Estado da Região Nordeste – 2020

Fonte: ABEEÓLICA (2020).

No que tange à parte tecnológica, as turbinas eólicas representam cerca de 70% do investimento total da instalação de uma usina. As características mais relevantes dos equipamentos, verificadas na análise dos projetos, são o diâmetro do rotor, a altura do cubo e a potência unitária, parâmetros estes determinantes na estimativa de produção de energia de um empreendimento (além da curva de potência do equipamento) (BONIFACIO, 2016).

Em 2007, predominavam, nos projetos, turbinas com altura de cubo e diâmetro do rotor da ordem de 70 metros (m). Em 2018, esses números chegaram à média de 110 m, com alguns equipamentos ainda maiores (ANEEL, 2014).

Ao longo da última década, o desenvolvimento tecnológico dos materiais construtivos propiciou o aumento da altura das torres e do diâmetro dos aerogeradores, elevando o fator de capacidade das usinas.

Em 2007, quase 90% dos aerogeradores dos projetos habilitados possuíam diâmetro inferior a 80 m. Em 2010, esse percentual passou para 5%. Por outro lado, diâmetros acima de 110 m passaram a ser disponibilizados com maior frequência a partir de 2010, representando, em 2013, mais de 60% do total e, em 2018, 97% (ANEEL, 2014).

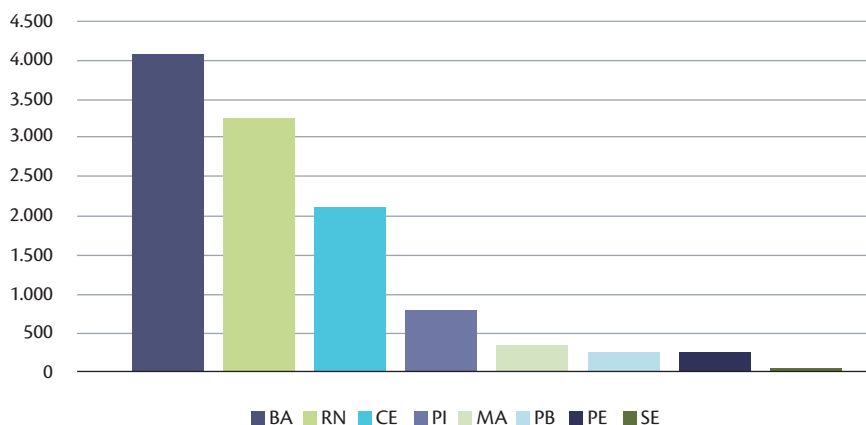


Gráfico 2. Total de empreendimentos eólicos cadastrados na Região Nordeste

Fonte: ANEEL, 2014.

A maior parte dos empreendimentos eólicos cadastrado na Região Nordeste concentra-se nos estados da Bahia, do Rio Grande do Norte e do Ceará (Gráfico 2). Na Região Sul do País, por sua vez, a concentração é maior, sobretudo, no Rio Grande do Sul, com 2.559 parques no total (Gráfico 3) (ABEEÓLICA, 2019).

Apesar do protagonismo da Bahia, do Rio Grande do Norte e do Ceará na geração de energia elétrica, por meio do uso da fonte eólica, as exigências ambientais, sobretudo no litoral, onde as condições de vento são mais favoráveis, estão mais rigorosas, o que, de certa maneira, contribuiu para a realocação de alguns projetos em outros estados (DIÁRIO DO NORDESTE, 2019).

Além disso, a Bahia e o Rio Grande do Norte vêm concedendo incentivos fiscais que o Ceará não oferece. Tal iniciativa reduz o custo da operação nos dois primeiros estados e, assim, viabiliza os projetos de geração (DIÁRIO DO NORDESTE, 2019).

Na atualidade, além dos 81 parques eólicos em operação, o Ceará tem e 13 empreendimentos com construção iniciada, sendo um com capacidade de 19,2 MW e os demais com capacidade em conjunto de 315 MW. O Rio Grande do Norte, além de 152 parques em operação, tem dois em construção e 60 com construção não iniciada que, juntos, somam 1.903,3 MW. Por sua vez, a Bahia deverá adicionar 1.523,6 MW à sua matriz eólica nos próximos anos, com 38 parques em construção e 47 com construção não iniciada (DIÁRIO DO NORDESTE, 2019).

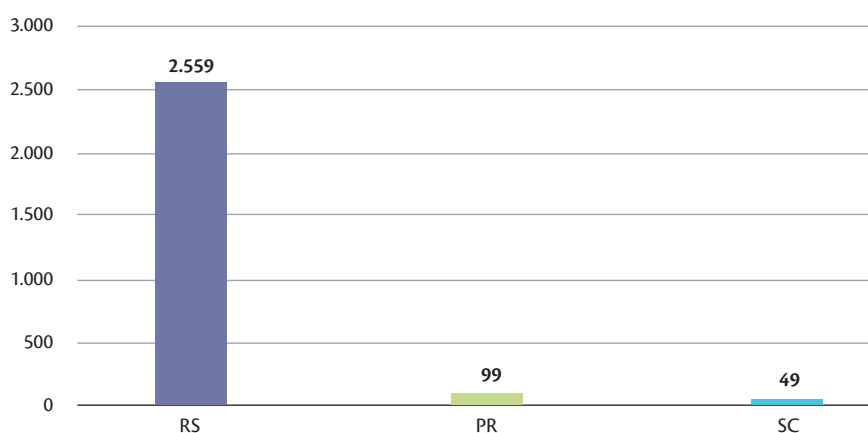


Gráfico 3. Total de empreendimentos eólicos cadastrados na Região Sul

Fonte: ANEEL, 2014.

A partir dos anos 2000, após a criação do Proinfa, o País experimentou uma expansão na geração de energia elétrica por meio do uso da fonte eólica.

De acordo com dados da Aneel, a maioria das inabilitações decorre do não atendimento das exigências para o cadastramento dos empreendimentos no leilão. Tais exigências perpassam: i) desde a apresentação do comprovante do direito de usar ou dispor do local a ser destinado ao empreendimento; ii) até as autorizações de acesso à Rede Básica, às Demais Instalações de Transmissão (DIT) ou às Instalações de Interesse Exclusivo das Centrais de Geração para Conexão Compartilhada (ICG) ou, ainda, às Redes de Distribuição locais; iii) além da Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI), Licença de Operação (LO) emitida pelo órgão ambiental; iv) e, ainda, a apresentação dos estudos de impacto ambiental exigidos no processo de licenciamento ambiental (ANEEL, 2014).

A partir de 2009, houve mudança na regra quanto à apresentação dos registros anemométricos, de 12 para 24 meses consecutivos, em 2011, e 36 meses, a partir de 2017. Tais mudanças impactaram no volume de projetos inabilitados, uma vez que seria necessária a entrega de registros com prazo maior das medições (ANEEL, 2014).

4. Patentes e sua evolução desde 1998

A partir de pesquisas no *site* do Orbit Intelligence - sistema produzido pela Questel Orbit, de busca, seleção, análise e exportação de informações contidas acerca de patentes –, com base nos levantamentos da área, especificamente em temas como aerogeradores, constata-se, a partir de 1998, uma expansão ao longo dos anos em relação às patentes concedidas para turbinas eólicas e rotores.

Tabela 1. Número de publicações/patentes a partir de 1998

Título, Resumo	Total
Turbina e vento	276.357
Turbina eólica	226.631
Turbina e vento e rotor	7.186
Turbina e vento e rotor e torre	19.838
Turbina e vento e rotor e nacelle	13.963
Turbina e vento e rotores e nacelle e torre	10.984

Fonte: Orbit Intelligence (2018).

Do total de solicitações dessas patentes, cerca de 50% obtiveram concessão, estando o remanescente com pendências, em análise ou caducado. Evidenciam-se, conforme esses dados, a importância e o crescimento dessa inovação tecnológica para a geração de energia elétrica.

Ao realizar o refinamento da busca, observa-se que a concessão das publicações/patentes é significativa para as turbinas eólicas, havendo um afunilamento desses registros quando analisado o aparato tecnológico como um todo, ou seja, *turbina eólica + rotor + nacelle + torre*. A concentração de patentes em cada uma dos componentes da usina eólica reforça a instauração de institutos de pesquisa tecnológicos especializados e que buscam melhorar a eficiência do uso da tecnologia empregada nesse segmento.

Na verificação dos componentes, por exemplo, a turbina eólica e o rotor separadamente, não há uma tendência na concessão dessas patentes, o que significa dizer que a evolução tecnológica desses equipamentos ocorre dentro de uma dinâmica própria, ou seja, em um ecossistema onde os *players* interagem entre si de forma dinâmica, mas não previsível. O domínio dessas tecnologias, no entanto, concentra-se em centros de pesquisa tecnológico de países desenvolvidos e que dominam o mercado e a comercialização dessas tecnologias, como China, Dinamarca, Estados Unidos e Alemanha.

Dessas 7.180 famílias de patentes, 18% estão concentradas em 10 grandes empresas. Essa concentração do *know-how* tecnológico suscita a formação de monopólio e oligopólios tecnológicos no contexto global. O Brasil, mesmo detentor de um potencial eólico acima da média mundial, fica, de certo modo, à mercê da evolução perpetrada pelos institutos de inovação espalhados pelo mundo.

Dentre os principais países que concentram esse *know-how*, estão Estados Unidos, Alemanha, China e Dinamarca. Tal concentração deve-se à dinâmica do próprio ecossistema de inovação, que permite o compartilhamento de *know-how* de elevado teor tecnológico e bastante específico. Os maiores números de patentes estão concentrados nas empresas Midea e General Electric com, respectivamente, 270 e 267 patentes na área de turbinas eólicas + rotores relativos a usinas eólicas. Observa-se o avanço da China no aprimoramento e no patenteamento dessas tecnologias, reunindo, desta forma, mais de 300 patentes. Esse agrupamento e a integração tecnológica nas mãos de poucas nações suscita a concentração de poder econômico e a elevação de barreiras à entrada de concorrentes. Ao Brasil, mesmo com seu enorme potencial eólico e a ser explorado, resta o papel de usuário de tecnologias de ponta dominadas e desenvolvidas por centros de pesquisa sediados em outros países.

5. Considerações finais

A expansão da energia eólica é uma realidade no Brasil. O País possui um potencial eólico considerável e, desde a regulamentação do uso das fontes alternativas para a geração de energia elétrica, por meio da Lei no 10.438/2002, que criou o Proinfa, essa expansão do uso dessa fonte tem sido crescente.

Em 2018, foram gerados 48,8 Terawatt-hora (TWh) de energia ao longo do ano, o que resultou em uma capacidade de abastecimento de 25 milhões de residências no mesmo período ou, ainda, energia para 80 milhões de habitantes (ABEEÓLICA, 2019).

Diante dessa evolução e internalização do uso dessa fonte, é crucial efetuar uma análise dos principais desafios enfrentados pelo segmento, bem como propor soluções para que essa fonte de energia possa cada vez mais ser utilizada no País, considerando o seu expressivo potencial eólico.

O Ceará, a Bahia e o Rio Grande do Norte são as unidades da federação que mais geram energia elétrica utilizando a fonte eólica. O aumento das exigências ambientais e a concessão de isenções fiscais por parte da Bahia e do Rio Grande do Norte provocaram a migração de alguns projetos eólicos para estes últimos estados.

O Ceará possui, na atualidade, além dos 81 parques eólicos em operação, outros 13 em construção, sendo um com capacidade de 19,2 MW e 12 empreendimentos que, em conjunto, deverão reunir capacidade total de 315 MW (DIÁRIO DO NORDESTE, 2019).

Diferentemente do que ocorria há 20 anos, a expansão do parque eólico no Ceará não depende exclusivamente das condições climáticas, de vento ou de incidência solar para captar investimentos. É crucial observar as condições de infraestrutura, como as linhas de conexão. A melhora da transmissão amplia a atratividade de investimentos e, consequentemente, empreendimentos para a Região.

A capacidade média de geração eólica do Ceará é superior à nacional e mundial, ficando em torno de 43,4%, enquanto, no Brasil, é de 35,2% e, no mundo, de 28% (DIÁRIO DO NORDESTE, 2019).

Apesar do potencial de geração, o segmento enfrenta desafios na área tecnológica. A maior parte da tecnologia utilizada para a geração de energia elétrica concentra-se nos países asiáticos e nos Estados Unidos.

De acordo com os dados obtidos do Orbitt Intelligence, há uma concentração do domínio da tecnologia do segmento eólico. Esse agrupamento de *know how* leva à criação de barreiras à entrada, no setor, de outros centros de estudo e de inovação.

Como observado no estudo, a Midea detém 270 patentes e a General Electric, 267, na área de turbinas eólicas + rotores relativos a usinas eólicas. A China vem avançando no patenteamento dessas tecnologias, reunindo mais de 300 registros.

A concentração tecnológica nas mãos de alguns países, mesmo considerando o enorme potencial existente no Brasil, pode culminar, no longo prazo, na redução da expansão nacional do uso da fonte eólica.

O posicionamento brasileiro nessa seara tecnológica é crucial para que possamos garantir a referida expansão da geração eólica, com queda de custos operacionais e, consequentemente, de tarifas de energia elétrica.

Referências

ACKERMAN, T.; SODER, L. Wind energy technology and current status. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.4, n.º 4, 2000. p. 315-374. Disponível em: [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364-0321\(00\)00004-6](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364-0321(00)00004-6)

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL - ABDI. **Mapeamento da cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil**. Brasília: 2014. 152 p. Disponível em: <https://www.cier.org/es-uy/Lists/Informes/Mapeamento%20da%20Cadeia%20Produtiva%20da%20Ind%C3%BAstria%20E%C3%B3lica%20no%20Brasil.pdf>

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA – ANEEL. **Informações gerenciais**. mar. 2014. Disponível em : http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/IG_Mar_14.pdf Acesso em: 17 jul. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA - ABEEÓLICA. **Boletim anual de geração eólica 2019**. São Paulo: 2019. 15 p. Disponível em: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/06/PT_Boletim-Anual-de-Gera%C3%A7%C3%A3o-2019.pdf, Acesso em: 12 jan. 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA - ABEEÓLICA. **Boletim anual de geração eólica 2020**. São Paulo: 2020. 15 p. Disponível em: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/06/PT_Boletim-Anual-de-Gera%C3%A7%C3%A3o-2019.pdf, Acesso em: 30 jul.2021

BEZERRA, F.D.; SANTOS, L.S. Potencialidades da energia eólica no Nordeste. **Caderno Setorial ETENE**, Nordeste, v. 2, n.º 5, p. 1–19, mai. 2017. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/documents/80223/1910830/Eolica.pdf/9d7251e0-4c94-4570-b223-df7820b50d4d>. Acesso em: 11 jun. 2019.

BONIFÁCIO, Marcus Vinícius de Holanda. **Avaliação técnica e econômica aplicada a uma usina eólica no estado do Rio Grande do Norte**. 103f. 2016. Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília, Faculdade do Gama, Brasília, 2016. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/13255/1/2016_MarcusViniciusdeHolandaBonifacio.pdf

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Energias renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade**. relator: Pedro Uczai; equipe técnica: Wagner Marques Tavares (coord.), Alberto Pinheiro de Queiroz Filho. Brasília: 2012. p.271 p. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/altosestudios/pdf/energias-renovaveis-riqueza-sustentavel-ao-alcance-da-sociedade>. Acesso em: 20 jul. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. **Portal virtual**. 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br>. Acesso em: 06 jun. 2019.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CCEE. **Portal virtual**. 2018. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/noticias-opiniao/noticias/noticia leitura?contentid=CCEE_640347. Acesso em: 2 maio 2019.

DA SILVA A.B. **Projeto aerodinâmico de turbinas eólicas**, Rio de Janeiro: s.n, 2013.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Como o Ceará perdeu o protagonismo no mercado de energia eólica no País**. 04 maio 2019. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/como-o-ceara-perdeu-o-protagonismo-no-mercado-de-energia-eolica-no-pais-1.2095517>

DEMO, Pedro. **Metodologia do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2013.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO ENERGETICO – EPE. **Flexibilidade e capacidade**: Conceitos para a incorporação de atributos ao planejamento. (Nota Técnica n.º EPE-DEE-NT-067/2018-ro). 2018, 23 p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-316/NT_EPE_DEE-NT-067_2018-ro.pdf

EVOLUÇÃO ENERGIA EÓLICA. **Energia eólica no Brasil**. 2014. Disponível em: <https://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/energia-eolica-no-brasil/>

KNECHTEL, Maria do Rosário. **Metodologia da pesquisa em educação**: uma abordagem teórico-prática dialogada. Curitiba: Intersaberes, 2014.193 p.

MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.A.; PEREIRA, E.B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 1, p. 1–13, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Martins-5/publication/235933127_O_aproveitamento_da_energia_eolica/links/09e4151470e93675cd000000/O-aproveitamento-da-energia-eolica.pdf. Acesso em: 18 ago. 2018.

ORBIT INTELLIGENCE. **Questel**: base de dados on-line. 2018. Disponível em: <https://www.questel.com/business-intelligence-software/orbit-intelligence/>. Acesso em: 17 jul. 2019.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL - PUC-RS. **Perguntas frequentes sobre energia eólica**. 2010. Disponível em: https://pt.slideshare.net/fpv_transilvania/energia-elica-perguntas-frequentes-pucrs

RESENDE, F. de O. **Evolução tecnológica dos sistemas de conversão de energia eólica para ligação à rede**. Universidade Lusófona do Porto, Porto, 2011. 15 p. Disponível em: <https://recil.grupolusofona.pt/bitstream/10437/2861/1/EVOLU%C3%87%C3%83O%20TECNOL%C3%93GICA%20DOS%20SISTEMAS%20DE%20CONVERS%C3%83O%20DE%20ENERGIA%20E%C3%93LICA%20PARA%20LIGA%C3%87%C3%83O%20%C3%80%20REDE.pdf>

RUNCOS, F.A.A. *et al.* **Geração de energia eólica, tecnologias atuais e futuras**. Florianópolis: s.n. 2010. Disponível em: <http://sinueloagropecuaria.com.br/wp-content/uploads/2016/09/energia-eolica.pdf>

SOARES, Paula. MUCURY, Danylo. **Energia eólica no Ceará**: seus parques e sua contribuição para a matriz energética do estado. Brasília: 2018.

SOL CENTRAL. **Bahia será líder em energia eólica em 2020**. 28 fev. 2018. Disponível em: <http://www.solcentral.com.br/news/bahia-sera-lider-em-energia-eolica-em-2020/>

SPERA, D. **Wind turbine technology**, USA: 1998.