A CADEIA PRODUTIVA DO SETOR EÓLICO BRASILEIRO E A PRODUÇÃO NACIONAL DE COMPONENTES

The production chain of the Brazilian wind power sector and the domestic production of components

Liane Cassol Cella
Universidade de São Paulo | São Paulo, SP | lianecassol@usp.br

Francisco Ferreira Cardoso
Universidade de São Paulo | São Paulo, SP | ff.cardoso@usp.br

Luiz Reynaldo A. Cardoso
Universidade de São Paulo | São Paulo, SP | luizcardoso@usp.br

RESUMO

Diante da atual situação climática global e da necessidade de impulsionar o crescimento de fontes de geração de energias renováveis, a energia eólica destaca-se como uma fonte promissora. Um fator importante para o sucesso da indústria da energia eólica é o aprimoramento da sua cadeia produtiva, principalmente dos principais componentes para construção das turbinas eólicas, que são gargalo na construção de parques eólicos. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar o panorama da energia eólica no Brasil, os principais componentes de construção das turbinas eólicas e os possíveis benefícios gerados pela fabricação local, no Brasil, desses componentes, por meio de um estudo de caso da produção local de gaiolas de ancoragem, componente indispensável e usualmente importado, que possui extenso prazo de fabricação e logística de entrega complexa até os parques eólicos. A iniciativa de fabricação deste componente no Brasil, iniciada em 2019 e impactada pela pandemia COVID-19, mostra um resultado positivo no cronograma, reduzindo significativamente o prazo de entrega do projeto como um todo. Isto destaca a importância da produção local para fortalecer a cadeia produtiva e melhorar a competitividade do setor.

Palavras-chave: Energia eólica; Setor eólico; Cadeia produtiva; Gaiolas de ancoragem.

ABSTRACT

Given the current global climate situation and the need to boost the growth of renewable energy generation sources, wind energy stands out as a promising option. An important factor for the success of the wind energy industry is the improvement of its supply chain, especially regarding the main components used in the construction of wind turbines, which often represent bottlenecks in the development of wind farms. Thus, the objective of this study is to present an overview of wind energy in Brazil, the key components involved in turbine construction, and the potential benefits of local manufacturing of these components in Brazil, through a case study on the domestic production of anchor cages—an essential component that is usually imported and has a long manufacturing lead time and complex delivery logistics to wind farms. The initiative to manufacture this component in Brazil, which began in 2019 and was impacted by the COVID-19 pandemic, has shown positive results in terms of scheduling, significantly reducing the overall project delivery time. This highlights the importance of local production in strengthening the supply chain and improving the sector's competitiveness.

Keywords: Wind power; Wind power sector; Productive chain; Anchor cage.

1 INTRODUÇÃO

O cenário global enfrenta desafios climáticos cada vez mais urgentes, evidenciados por mudanças significativas nas condições ambientais, incluindo recordes alarmantes de temperatura e catástrofes causadas por eventos naturais extremos. Em 4 de julho de 2023, o planeta registrou uma média global de temperatura de 17,18°C, superando os anteriores picos de 17,01°C, estabelecido no dia anterior, e 16,92°C, registrado em 2016, e reafirmado em 2022 (Figueiredo, 2023).

À medida que eventos climáticos extremos e projeções de temperaturas ainda mais elevadas se tornam uma realidade iminente, a necessidade de fontes de energia limpa e sustentável tornou-se mais premente.

Segundo Costa, Casotti e Azevedo (2009), as formas usuais de geração de energia elétrica e de calor contribuíram em larga escala para as emissões de gases geradores de efeito estufa e para o aquecimento global ao longo do último século. Por isso, fontes como a energia eólica emergem como uma das soluções para mitigar este problema, pois, além de esta ser renovável, não emite gases do efeito estufa durante toda sua fase de geração.

Um grupo de 118 países, incluindo o Brasil, se comprometeu, durante a COP 28, no final de 2023 a triplicar suas capacidades para energias renováveis até 2030. O texto assinado prevê que os países devem "trabalhar juntos" para aumentar as capacidades renováveis globais (energia eólica, solar, hidroelétrica, entre outras) até os 11.000 gigawatts (GW), em comparação com os cerca de 3.400 GW atuais (Peixoto, 2023).

Impulsionada por essa crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental e a redução das emissões de gases de efeito estufa, a demanda por fontes de energia limpa e sustentável teve um aumento considerável nas últimas décadas. Neste cenário, entre as fontes de energia renováveis mais importantes, a energia eólica já ocupa uma posição importante no sistema de energia (Liu; Ren; Jiang, 2023).

Não obstante, o Brasil possui a matriz energética majoritariamente composta por energias renováveis. O Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (PDE 2030) do Ministério de Minas e Energia (MME, 2021) indica que o percentual de energias renováveis na matriz energética brasileira atingirá o patamar de 48% em 2030. Isto é explicado, tanto na esfera nacional quanto na internacional, pelo tema da transição energética que vem sendo tratado nos últimos anos, com foco na descarbonização das matrizes das diferentes fontes. Assim, os desafios tanto nos aspectos comerciais e regulatórios quanto construtivos relacionados ao aumento da participação das energias renováveis como a eólica estão cada vez mais presentes.

Sendo assim, contribuir para o avanço do conhecimento no setor de energia eólica reforça a base teórica e prática desse campo, possibilitando o desenvolvimento de abordagens mais eficazes e eficientes para o fortalecimento do setor no Brasil. Identificar e analisar desafios específicos relacionados à sua cadeia produtiva, como, por exemplo, prazos para produção de componentes da turbina eólica são passos fundamentais para aprimorar processos existentes e desenvolver novas abordagens que permitam a maximização do desempenho e a minimização de riscos na cadeia produtiva do setor eólico.

Este artigo aborda a cadeia produtiva no setor eólico, justificado pelo crescimento notável dessa fonte de energia renovável, destacando os principais agentes que nela atuam e dificuldades enfrentadas.

Dentre os componentes envolvidos na execução dos parques eólicos, há um que é usualmente importado, a gaiola de ancoragem, o que representa um gargalo no processo de construção dos parques por possuir um prazo total de fornecimento de aproximadamente 42 semanas.

As gaiolas de ancoragem são componentes estruturais utilizados na fase de construção dos parques eólicos, especificamente durante a concretagem das fundações. Por essa razão, sua entrega deve ocorrer com antecedência significativa em relação aos demais componentes das turbinas, pois após a sua utilização, há que se esperar os prazos das etapas subsequentes como cura do concreto, reaterro e finalização de caminhos de serviço.

Além de exigirem prazos de fornecimento mais curtos, esses itens acarretam custos logísticos adicionais, uma vez que demandam transporte exclusivo. No caso do transporte marítimo, modal comumente utilizado para esse tipo de carga, não é possível consolidar o envio das gaiolas com os demais componentes das turbinas no mesmo navio, devido prazos distintos de entrega, o que eleva substancialmente os custos de transporte e torna o planejamento logístico do projeto mais complexo.

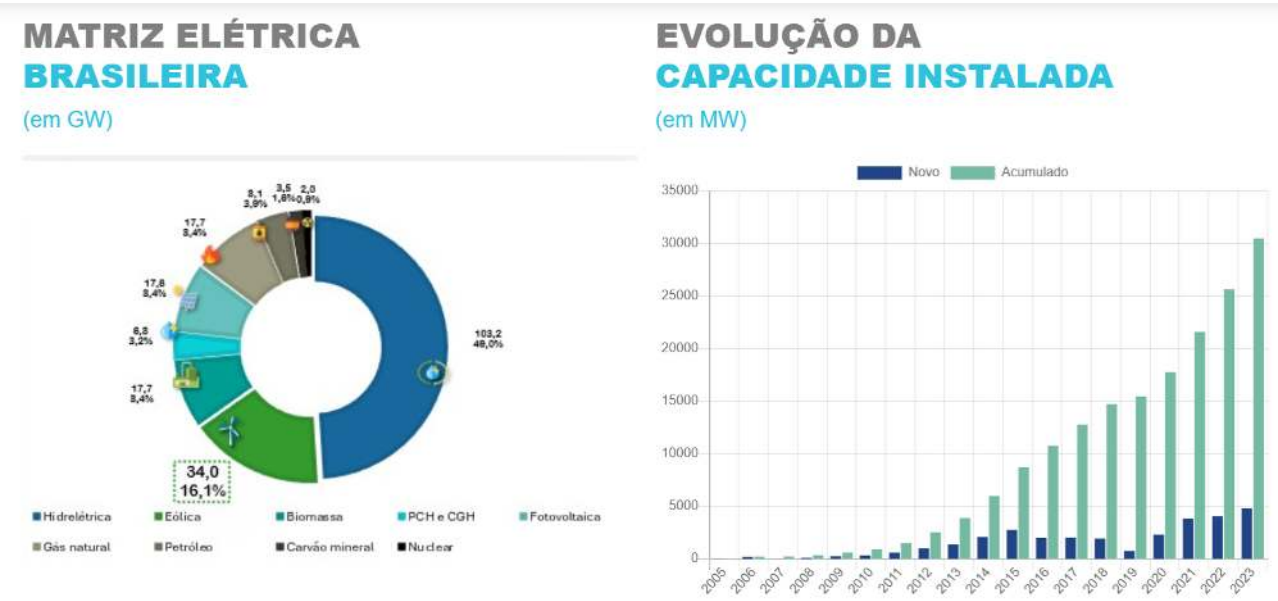
Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar o panorama da energia eólica no Brasil, os principais componentes de construção das turbinas eólicas e possíveis benefícios gerados pela fabricação local, no Brasil, destes componentes, por meio de estudo de caso da fabricação das gaiolas de ancoragem em uma fábrica brasileira.

2 SITUAÇÃO DO SETOR EÓLICO NO BRASIL E PRINCIPAIS AGENTES DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

2.1 CONTEXTO E SITUAÇÃO ATUAL DO SETOR EÓLICO BRASILEIRO

Atualmente, no Brasil, a fonte de energia eólica responde por 16,1% da geração de energia que o país precisa, conforme ilustra a Figura 1 (ABEEÓLICA, 2025).

Figura 1: Situação atual da matriz elétrica brasileira.



Fonte: ABEEÓLICA (2025)

Apesar desta participação significativa na matriz energética brasileira e da sua importância na contribuição como uma importante fonte de energia renovável diante do contexto climático mundial, o setor eólico ainda é considerado em desenvolvimento quando comparado aos demais setores envolvidos na construção de obras de infraestrutura. A construção dos primeiros parques eólicos é recente. Segundo Gouvêa e Silva (2018), a primeira instalação de um aerogerador no Brasil ocorreu em 1992, em Fernando de Noronha/PE, uma turbina de 225 kW, e somente em 1999 entrou em operação a primeira usina, no Ceará, com capacidade de 5 MW, dez aerogeradores de 44 m de altura e 500 kW instalados.

Portanto, ainda existe muito a ser desenvolvido e explorado no que tange ao desenvolvimento da cadeia produtiva do setor.

2.2 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA TURBINA EÓLICA E FORNECEDORES

Os principais componentes de uma turbina eólica dividem-se em:

I. Pacote de sustentação:
   a. Gaiolas de Ancoragem – faz a ligação entre a torre e a fundação, no caso de torres de material metálico.
   b. Torre – normalmente em estrutura metálica e dividida em secções.
II. Pacote aerodinâmico: pás.
III. Pacote de conversão eletromecânica: rotor e nacele.

Um dado importante é a quantidade de fornecedores dos componentes da turbina eólica, que ainda é pequena no Brasil. Alguns, em função das oscilações de mercado, acabam interrompendo fornecimento, como é o caso das empresas G&E, que anunciou a saída do Brasil em 2022, e da Siemens Gamesa, que suspendeu sua linha de produção de aerogeradores em 2023.

No Quadro 1 encontram-se os principais fornecedores destes componentes na cadeia produtiva brasileira.

Quadro 1: Fornecedores de componentes da turbina eólica

ITEM	Fornecedor
Gaiolas de Ancoragem	Importado
Torres metálicas	GRI. Torrebras
Rotor e nacele	Goldwind, Nordex Acciona, Vestas, WEG
Pás	Aeris, LM

Fonte: autores, 2025

Como pode ser observado, a oferta de fornecedores para componentes de turbinas eólicas não é extensa.

Além disso, há uma instabilidade no mercado, refletindo na cadeia de abastecimento de energia eólica, sendo difícil prever a sua evolução e o contexto em que ela muda e se desenvolve. As empresas atuantes no setor eólico precisam manter o foco na identificação de fornecedores que possam prover equipamentos e componentes de qualidade e no prazo necessário, inclusive os que atuam em outros países (Prostean *et al*., 2014).

As limitações da cadeia de suprimentos influenciam na capacidade de entrega, nas estratégias de produtos e nos preços de cada componente. Mesmo no exterior, as empresas atuantes no setor eólico buscam encontrar o equilíbrio mais sustentável e competitivo para a terceirização completa de componentes para atender aos seus projetos de turbinas eólicas (Karuranga *et al*., 2008).

3 METODOLOGIA

A abordagem metodológica adotada neste trabalho é a de estudo de caso único, de caráter descritivo, sobre um processo de mudança no fornecimento de gaiolas de ancoragem, com foco na transição da importação para a fabricação local no Brasil e seus efeitos sobre o cronograma dos projetos eólicos.

O processo em pauta ocorreu em empresa parceira da empresa objeto do estudo de caso, que atua na fabricação de aerogeradores, logística, instalação e manutenção de parques eólicos, na qual um dos autores trabalha. A empresa parceira fornecia serviços que foram aplicados na fabricação das gaiolas de ancoragem. Estes serviços compreendem usinagem, montagem de equipamentos, corte, dobra e solda de aço.

Os procedimentos metodológicos envolveram:

I. Levantamento de literatura sobre o panorama da energia eólica no Brasil e os principais componentes de construção das turbinas eólicas.
II. Análise de conteúdo para os dados qualitativos obtidos nos documentos e informações fornecidas por profissionais diretamente envolvidos no projeto, engenheiros e planejadores, e análise comparativa entre os prazos da fabricação local versus importação.

4 PROJETO PARA PRODUÇÃO DE COMPONENTE IMPORTADO NO BRASIL

Um dos componentes que impacta significativamente no prazo de fornecimento de projetos envolvendo a construção de parques eólicos é a gaiolas de ancoragem, componente usualmente importado de fábricas situadas em países como a Índia. Como exemplo, a logística do transporte é usualmente feita via marítima e exige 16 semanas de tempo médio de transporte do ponto de coleta na fábrica de origem até o porto brasileiro localizado no estado do Ceará.

Para ilustrar este impacto e a oportunidade de desenvolvimento da cadeia produtiva no Brasil, a fim de contribuir com o desenvolvimento do setor eólico e com a competitividade de projetos de energia eólica, apresenta-se neste artigo o estudo de caso de uma iniciativa de produção nacional de gaiolas de ancoragem.

O projeto de produção deste componente no Brasil surgiu inicialmente devido à necessidade da empresa do setor eólico, objeto do estudo de caso, tornar suas ofertas mais competitivas no que se refere ao prazo do projeto, o que possibilita ao cliente a geração de energia num período menor e consequentemente também antecipa sua receita.

Esta empresa, de origem europeia, é a maior companhia mundial produtora de turbinas de energia eólica. Dedica-se ao desenvolvimento, manufatura, venda e manutenção de aerogeradores. Atua no Brasil no fornecimento de equipamentos, montagem e manutenção e operação de parques eólicos.

Possui, segundo dados informados no site da própria empresa em abril de 2024, 14,4 GW de capacidade eólica instalada na América Latina, com mais de 4.500 turbinas eólicas distribuídas em 21 países, reunindo

cerca de 2.000 colaboradores. Mantém 1 fábrica própria para produção local, no Brasil, no estado do Ceará, outras 8 fábricas associadas (Argentina, Brasil e México), e 8 centros de serviços (Argentina, Brasil, Caribe, Chile, México e Uruguai).

As etapas do projeto foram:

I. Identificação da oportunidade de ganho de prazo;
II. Pesquisa com fornecedores de matéria prima no Brasil;
III. Interação com possível fabricante para formar parceria no processo de fabricação;
IV. Definição do cronograma do projeto desde o design até a expedição;
V. Implantação de projeto piloto

O projeto iniciou em 2019 e a fase de implantação de projeto piloto deveria ter ocorrido em 2020. Porém, devido aos impactos da pandemia do COVID-19 e o grande aumento do preço do aço, principal matéria prima utilizada na fabricação do componente, não foi realizado no ano de 2019, sendo retomado no ano de 2023.

A empresa parceira onde foi fabricado o protótipo e posteriormente as peças em série, como mencionado anteriormente, já era um fornecedor de serviços como usinagem, solda, montagem para a empresa do estudo de caso. Esta empresa realizou investimentos na adaptação de espaço próprio e equipamentos para a fabricação dos componentes e a contrapartida foi a negociação de uma produção mínima de quantidade dos componentes.

As condições do local de fabricação adaptado podem ser verificadas na Figura 2, que fica localizado em uma cidade do interior do estado de São Paulo, local onde ficam as instalações da empresa parceira. A distância é aproximadamente 3.000 quilômetros da cidade no Rio Grande do Norte onde fica o parque eólico a serem instalados os componentes. Esta situação viabiliza o tempo total de logística: coleta, expedição e entrega no parque de no máximo 3 semanas. O prazo quando considerado componente importado é em média 16 semanas.

Além do ganho de prazo, a produção nacional do componente elimina alguns riscos da logística internacional. Alguns exemplos destes riscos são: demora no desembaraço aduaneiro no porto de chegada dos componentes e atrasos de rota marítima como ocorrido no ano de 2024 ocasionados pela necessidade de desvio de rotas feitas pelo Mar Vermelho, após crise iniciada em 2023 devido ataques às embarcações efetuados por grupos envolvidos no conflito Israel-Gaza.

Figura 2: Instalações da fábrica das gaiolas de ancoragem, situada no interior do estado de São Paulo.



Fonte: a autora

Na Figura 3 pode ser verificado uma peça do componente fabricado, do lado esquerdo o design e do lado direito a peça real fabricada. Ela dá uma ideia das suas dimensões. A peça, fabricada em aço, possui peso total de aproximadamente 12,5 toneladas e diâmetro 4,7 metros.

Figura 3: Protótipo da gaiola de ancoragem fabricada no Brasil.



Fonte: a autora

O prazo de fornecimento, quando era considerado no cronograma o componente importado, desde a fase de design até a expedição era de 42 semanas. Na primeira análise feita para o primeiro projeto piloto mencionado, antes da pandemia, chegou-se a um prazo de 38 semanas. Neste segundo estudo, conseguiu-se chegar num prazo de 22 semanas, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4: Cronograma do projeto de fabricação de gaiola de ancoragem no Brasil.

ETAPAS	Semana 01	Semana 02	Semana 03	Semana 04	Semana 05	Semana 06	Semana 07	Semana 08	Semana 09	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17	Semana 18	Semana 19	Semana 20	Semana 21	Semana 22
Engenharia/Design																						
Compra matéria prima																						
Fabricação																						
Qualidade e Expedição																						

Fonte: a autora

Atualmente o projeto está na fase de implantação em uma construção de um parque de 168 turbinas eólicas no estado do Rio Grande do Norte, dos quais 57 unidades foram utilizadas componentes fabricados no Brasil. O critério para selecionar estas 57 turbinas foi devido aos cálculos de engenharia durante o *business case* terem sido realizados com um modelo de nacele que será montada nestas turbinas.

O impacto pode ser verificado com o ganho de tempo no cronograma oferecido ao cliente, sendo que foi possível apresentar um prazo menor para início construção das fundações das torres eólicas e consequente entrega final para início da geração de energia.

A entrega dos componentes iniciada em dezembro de 2023 foi concluída no mês de maio de 2024 e a instalação no local está em curso. Durante o processo não houve problemas logísticos detectados, o que foi considerado internamente na empresa como um projeto bem-sucedido, visto o atendimento satisfatório do cliente no que se refere a tempo de execução. O prazo de entrega previsto contratualmente para todos os componentes, conforme a demanda da construção das fundações das torres eólicas, era de 25 semanas e foi realizado em 20 semanas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a energia eólica tenha se firmado como uma alternativa promissora diante dos desafios climáticos globais e da urgência em transitar para fontes de energia limpa e destacando seu papel crucial na matriz energética brasileira, este estudo revelou lacunas na compreensão dos desafios específicos da sua cadeia produtiva. A instabilidade do mercado, a limitada oferta de fornecedores e a dependência de componentes importados destacam a necessidade de identificar e analisar tais desafios para otimizar processos e impulsionar inovações.

A análise dos principais componentes de uma turbina eólica e seus fornecedores ressalta a importância de fortalecer a cadeia produtiva local.

A pesquisa abordou o panorama da energia eólica no Brasil, os principais componentes de construção das turbinas eólicas e possíveis benefícios gerados pela fabricação local, no Brasil, destes componentes por meio da iniciativa de produção local das gaiolas de ancoragem, um componente usualmente importado. O

projeto, embora afetado pela pandemia e variações nos preços do aço, demonstrou um impacto positivo no cronograma, reduzindo significativamente o prazo de entrega.

A redução no cronograma de fornecimento das gaiolas de ancoragem reduz o prazo de construção dos parques eólicos e consequentemente proporciona a geração de energia antecipada. Por isso, há um ganho financeiro significativo para o cliente, pois antecipa sua receita com a venda de energia. Desta forma, evidencia-se aumento da competitividade para a empresa atuante na construção de parques eólicos ao oferecer a opção de fabricação nacional dos componentes, viabilizada junto a um de seus fornecedores.

Um aspecto crucial para a competitividade da empresa ao oferecer projetos de fornecimento e montagem de componentes de turbinas eólicas é a capacidade de adaptar-se às necessidades do cliente, considerando o custo no momento da proposta. Devido às flutuações do mercado, tanto componentes nacionais quanto importados podem ser mais vantajosos em diferentes períodos. Assim, a flexibilidade em escolher o item mais conveniente para o cliente torna-se fundamental.

Oferecer a opção de fabricação nacional dos componentes não apenas aumenta a competitividade da empresa na construção de parques eólicos, como também fortalece a cadeia produtiva nacional. Isso se traduz no desenvolvimento de novos fornecedores, na geração de empregos e no aumento do consumo de materiais locais, como o aço, por exemplo.

Este trabalho ressalta a necessidade contínua de aprimoramento na cadeia produtiva do setor eólico brasileiro, com ênfase na produção local como estratégia eficaz. A produção local de componentes, como evidenciado pelo estudo de caso das gaiolas de ancoragem, emerge como uma estratégia eficaz para mitigar riscos, otimizar prazos e fortalecer a competitividade do setor. O desenvolvimento sustentável desse setor não apenas contribui para a transição energética, mas também impulsiona o crescimento econômico, gera empregos e promove a resiliência diante dos desafios climáticos em curso.

REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA. **Associação Brasileira de Energia Eólica**. Disponível em: https://abeeolica.org.br/. Acesso em: 15 abr. 2025.

COSTA, Rafael Alves da; CASOTTI, Bruna Pretti; AZEVEDO, Rodrigo Luiz Sias de. **Um panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica**. 29. ed. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, 2009.

FIGUEIREDO, Ana Luiza. **Novo recorde! 4 de julho foi o mais quente já registrado na Terra**. 2023. Disponível em: https://olhardigital.com.br/2023/07/05/ciencia-e-espaco/novo-recorde-4-de-julho-foi-o-mais-quente-ja-registrado-na-terra/. Acesso em: 16 jul. 2023.

GOUVÊA, Renato Luiz Proença de; SILVA, Paulo Azzi da. **Desenvolvimento do setor eólico no Brasil**. R. BNDES. Rio de Janeiro, p. 81-118. jun. 2018.

KARURANGA, Égide et al. **Measurement and Determinants of Supply Chain Collaboration**. Cirrelt-17: Social and Behavioral Sciences. Montreal, p. 1-31. Maio. 2008.

LIU, Shu; REN, Siwei; JIANG, Hongliang. **Predictive maintenance of wind turbines based on digital twin technology**. Energy Reports, [S.L.], v. 9, p. 1344-1352, out. 2023. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.egyr.2023.05.052.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2021. Disponível em www.epe.gov.br.

PEIXOTO, Roberto. **COP 28: Brasil e mais de 110 países prometem triplicar produção de energia renovável até 2030**. 2023. Disponível em: https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2023/12/02/cop-28-brasil-e-mais-de-110-paises-prometem-triplicar-producao-de-energia-renovavel-ate-2030.ghtml. Acesso em: 05 dez. 2023.

[PROSTEAN, Gabriela et al. **Risk Variables in Wind Power Supply Chain**. Procedia - Social and Behavioral Sciences, [S.L.], v. 124, p. 124-132, mar. 2014. Elsevier BV. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.02.468