

PANORAMA DAS USINAS HÍBRIDAS EÓLICO-SOLARES NO BRASIL

JOSÉ ALEXANDRE FERRAZ DE ANDRADE SANTOS¹, EDINILDO ANDRADE TORRES²

¹Doutorando e Mestre em Eng. Industrial, pesquisador, UFBA, Salvador-BA, alex_caeel@yahoo.com.br;

²Dr. em Eng. Mecânica, Prof. Titular DEQ, UFBA, Salvador-BA, ednildo@ufba.br.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021.

RESUMO: A Matriz Elétrica Brasileira necessita de ampliação e diversificação para preservar a segurança energética nacional e manter ou aumentar sua predominância renovável. Neste contexto, este trabalho objetivou fazer um estudo exploratório sobre geração centralizada combinada via usinas híbridas eólico-solares no Brasil visando elaborar seu panorama atual e perspectivas. A metodologia utilizada foi busca e análise de informações via pesquisa bibliográfica de documentos técnicos nacionais e artigos acadêmicos. Os resultados confirmam que ainda não existe regulação específica sobre usinas híbridas eólico-solares no Brasil, porém há potencial para implantação deste tipo de empreendimento, especialmente na Região Nordeste. A conclusão obtida é que o uso de usinas híbridas no Brasil pode ser uma oportunidade relevante para o Setor Elétrico Brasileiro, mas ainda precisa de um avanço regulatório para preencher o vácuo do atual marco regulatório sobre este tema.

PALAVRAS-CHAVE: Potenciais Eólico e Solar, Geração Centralizada, Usinas Híbridas, Brasil.

OVERVIEW ABOUT WIND-SOLAR HYBRID POWER PLANTS IN BRAZIL

ABSTRACT: The Brazilian Electric Matrix needs expansion and diversification to preserve national energy security and maintain or increase its renewable predominance. In this context, this work aimed to carry out an exploratory study on combined centralized generation via wind-solar hybrid power plants in Brazil, aiming to elaborate its current panorama and perspectives. The methodology used was information search and analysis through bibliographic research of national technical documents and academic articles. The results indicate that there is still no specific regulation of wind-solar hybrid plants in Brazil, but there is potential for implementing this type of enterprise, especially in the Northeast region. The conclusion reached is that the use of hybrid power plants in Brazil can be a relevant opportunity for the Brazilian Electric Sector, but it needs a regulatory advance to fill the vacuum of the current regulatory framework on this issue.

KEYWORDS: Wind and Solar Potentials, Centralized Generation, Hybrid Power Plants, Brazil.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de mais de uma fonte de energia em uma mesma localidade abre a possibilidade da combinação de recursos energéticos para potencialização da geração de energia elétrica, desde que haja complementariedade energética entre estas respectivas fontes.

Segundo Jurasz *et al.* (2020), as tendências globais e regionais indicam que a demanda de energia em breve será coberta por uma ampla implantação de fontes de energia renováveis. Todavia, as fontes de energia renováveis que são dependentes do clima e do tempo são caracterizadas por variabilidades espaciais e temporais (intermitências). Uma das soluções comumente mencionadas para superar o descompasso demanda-oferta proporcionada pela geração renovável é a hibridização de duas ou mais fontes de energia em uma única usina (como eólica-solar, solar-hidro ou solar-eólica-hidro), onde a operação de fontes híbridas de energia é baseada na complementariedade das fontes renováveis.

Barbosa *et al.* (2016) definem um *sistema híbrido de energia* (SHE) como um sistema que utiliza mais de uma fonte de energia para produzir eletricidade. Um SHE abre a possibilidade da geração combinada de energia elétrica via implantação de empreendimentos híbridos eólico-solares.

Comumente, os SHE são mais usados em aplicações em geração distribuída (GD), porém, mais recentemente eles começaram a ser usados na geração centralizada (GC) via usinas de grande porte, denominadas de usinas híbridas. No Brasil, usinas de GD vão até 5 MW de capacidade instalada e as usinas de GC tem capacidade instalada superior a 5 MW. Segundo a ANEEL (2020) e a EPE (2019) existem experiências com usinas híbridas na Índia, nos Estados Unidos, no Reino Unido, na China e na Austrália. Assim, considerando-se a necessidade que matriz elétrica brasileira tem de ampliação e diversificação para preservar a segurança energética nacional e manter ou aumentar sua predominância renovável para ajudar no combate às mudanças climáticas, a GC combinada das energias eólica e solar via usinas híbridas é uma possibilidade interessante para o Brasil.

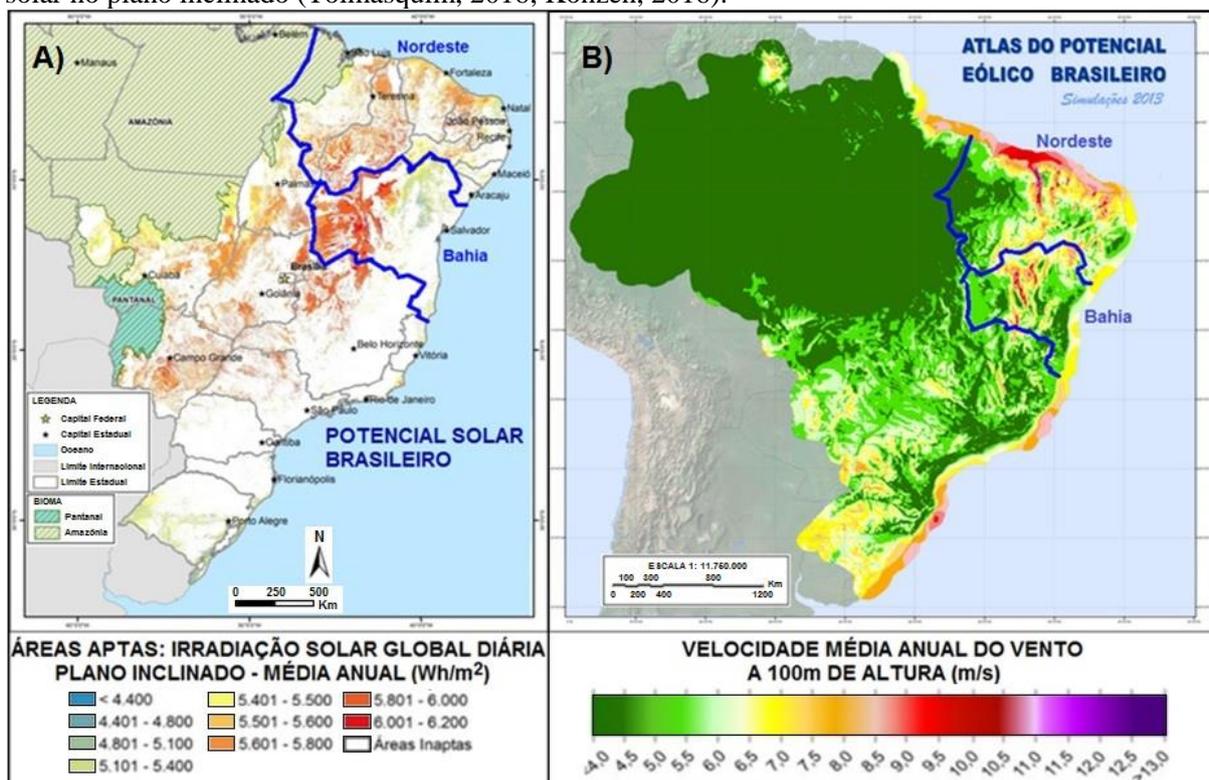
MATERIAL E MÉTODOS

Este artigo realizou uma pesquisa exploratória embasada em informações de estudos técnicos de institutos nacionais de pesquisa, órgãos governamentais e em outros documentos e pesquisas acadêmicas. Também houve uma busca por exemplos de localidades com complementariedade energética eólica e solar e exemplos de usinas híbridas eólico-solares (fotovoltaicas) no Brasil.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

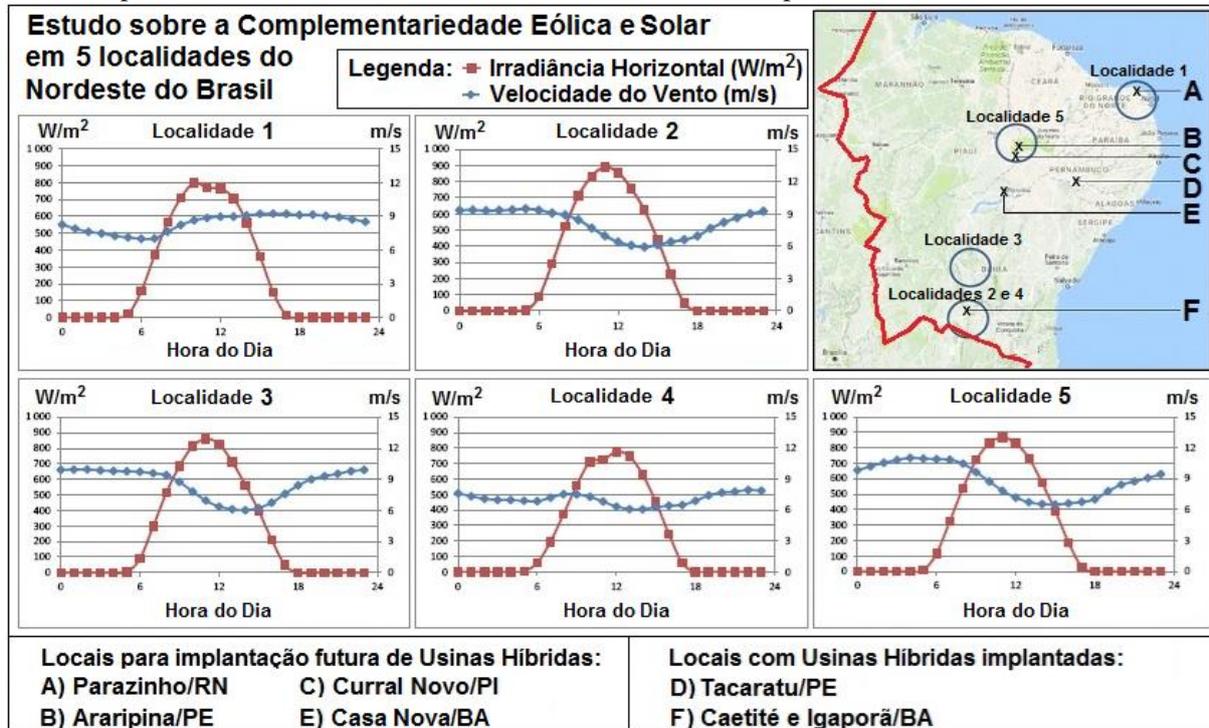
Os estudos do CEPEL (2017, 2001), da EPE (Tolmasquim, 2016; Konzen, 2016) e de Pereira (2016) informam que o Brasil dispõe de significativos potenciais solares e eólicos (Figura 01). Em relação ao potencial solar bruto (fotovoltaico), a EPE (Tolmasquim, 2016; Konzen, 2016) realizou um estudo técnico considerando restrições ambientais entre outras e a maior faixa de radiação solar (6.000 a 6.200 Wh/m²*dia) apresenta um potencial solar para GC de 307 GWp em áreas antropogênicas (já utilizadas por atividades humanas), com mais de 90% deste potencial no Nordeste (Figura 01-A). Segundo a EPE (2012) as áreas de maior irradiação solar teriam produtividade média entre 1.260,0 e 1.420,0 Wh/Wp/ano. Conforme informações de Pereira *et al.* (2017), Tolmasquim (2016) e Konzen (2016) os potenciais solares são mais elevados na região Nordeste. Em relação ao potencial eólico bruto (Figura 01-B), o CEPEL (2001) estimou 143,5 GW para 50 m de altura e Pereira (2016) estimou em 880,5 GW (com 522,0 GW tecnicamente viáveis) para 100 m de altura, concentrados no Nordeste. Todavia, além dos elevados potenciais eólico e solar, é necessário existir uma *complementariedade* energética entre eles para poder se utilizar usinas híbridas.

Figura 01. Potenciais Brasileiros: (A) dos ventos a 100 m de altura (CEPEL, 2017); (B) da irradiação solar no plano inclinado (Tolmasquim, 2016; Konzen, 2016).



A EPE (2017) identificou localidades com complementariedade relevante no Nordeste brasileiro (Figura 02). Santos *et al.* (2020) informa que existem 2 exemplos de usinas híbridas eólico-solares implantadas nos municípios de *Tacaratu* (Pernambuco) e de *Caetitê* e *Igaporã* (Bahia). Além deste, também existem outros 4 exemplos de estudos prévios e/ou propostas de projetos-pilotos para futuras usinas híbridas eólico-solares respectivamente nos municípios de: *Parazinho* (Rio Grande do Norte); *Araripina* (Pernambuco); *Curral Novo do Piauí* (Piauí) e *Casa Nova* (BA).

Figura 02. Complementariedade em 5 localidades da Região Nordeste (EPE, 2017) e localização dos seis exemplos de usinas híbridas eólico-solares fotovoltaicas. Adaptado.



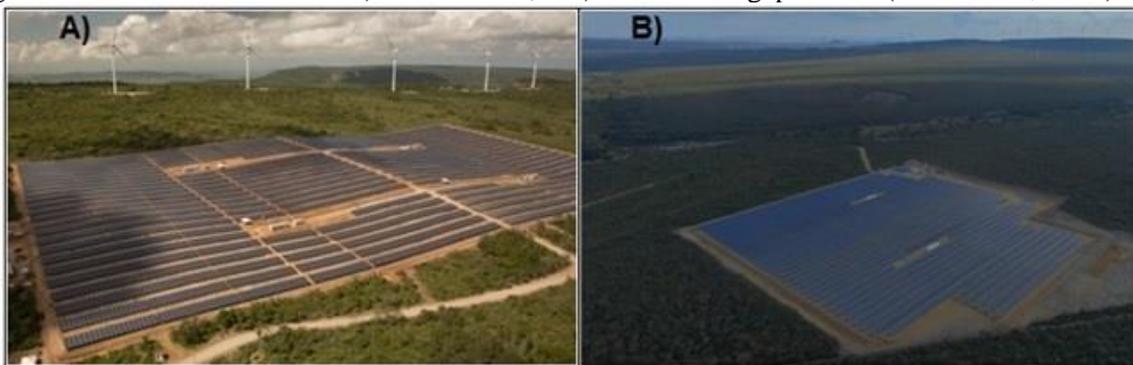
A EPE (2018) criou 4 tipos de definição de usinas híbridas (Tabela 01): *adjacentes*, *associadas*, *híbridas* e *portfólios comerciais*. A EPE (2019, 2020) e a ANEEL (2020a) consideram que as *usinas híbridas* e as *associadas* sejam os tipos com maior potencial de benefícios para setor elétrico brasileiro. O Brasil já dispõe de muitas usinas eólicas e solares implantadas no Nordeste e, muitas destas têm possibilidade de serem hibridizadas futuramente.

Tabela 01. Definições de Tipos de Usinas Híbridas.

Tipos de Usinas	Descrição
1 Adjacentes	Usinas construídas em locais próximos e que podem compartilhar fisicamente os mesmos terrenos e instalações de interesse restrito, porém cada usina contrata uma capacidade exclusiva de uso de rede compatível com sua potência instalada nominal.
2 Associadas	Decorrem de duas fontes energéticas distintas, com características de produção complementar, que compartilham fisicamente e contratualmente a infraestrutura de conexão e acesso aos sistemas de transmissão ou de distribuição, podendo ser contratada uma capacidade de escoamento menor que a soma das potências nominais das usinas.
3 Híbridas	Quando fontes energéticas distintas são combinadas ainda no processo de produção da energia elétrica, dispondo somente de uma única medição para a produção da eletricidade.
4 Portfólios Comerciais	Caso em que as usinas não estão necessariamente próximas e nem há compartilhamento de instalações, sendo uma organização apenas contratual.

A usina híbrida localizada em Tacaratu/PE (Figura 03-A) pertence à Enel Green Power do Brasil (EGPB) e tem capacidade instalada de 80 MW eólicos e 11 MWp solares. Ela pode ser classificada como uma *usina associada*, pois resultou da junção de três usinas eólicas com duas usinas solares, onde as eólicas e as solares usinas foram contratadas em leilões de energia distintos, um nacional e outro estadual, respectivamente. Por decisão técnico-comercial da EGPB, as usinas foram hibridizadas via compartilhamento da mesma subestação e das linhas de transmissão. A usina híbrida localizada em Caetitê e Igaporã/BA (Figura 03-B) pertence a Renova Energia e tem capacidade instalada de 21,6 MW eólicos e 4,8 MWp solares. Esta pode ser classificada como uma *usina híbrida*, pois foi experimentalmente implantada ser híbrida desde o princípio como um projeto de pesquisa e desenvolvimento financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

Figura 03. Usinas Híbridas em: A) Tacaratu/PE; e B) em Caetit -Igaporã/BA (Santos *et al*, 2020).



No Brasil, atualmente há dois mercados para comercializa o de energia: o *ambiente de contrata o regulada* (ACR) e *ambiente de contrata o livre* (ACL). O ACR   regulado pela ANEEL e realiza leilões de energia para firmar contratos de comercializa o de energia elétrica no ambiente regulado (CCEAR). J  o ACL permite a livre negocia o entre compradores e vendedores, que realizam contratos de compra e venda de energia elétrica (*Power Purchase Agreements – PPAs*). Os CCEARs e os PPAs são registrados na Câmara de Comercializa o de Energia Elétrica (CCEE). Os leilões de energia são atualmente a principal forma de contrata o de energia elétrica realizada pelo Governo Federal para suprir a demanda do país. O Brasil ainda não dispõe de regula o específica para contrata o de usinas híbridas nos leilões, mas estas usinas vêm sendo estudadas e discutidas recentemente pela EPE (2017; 2018; 2019; 2020; 2021) e pela ANEEL (2019a; 2019b; 2020a; 2020b; 2020c) e foram citadas no Plano Nacional de Energia 2050 (MME/EPE, 2020).

Alguns benefícios das usinas híbridas eólico-solares são: (i) compartilhamento da infraestrutura (transmissão, subesta es, etc.); (ii) maior uso da capacidade disponível do sistema de transmissão; (iii) redu o de custos no uso dos sistemas, na opera o & manuten o e nas garantias financeiras; (iv) otimiza o de uso de terrenos arrendados; (v) ganho de logística e de planejamento da implanta o das usinas; (vi) unifica o de licenças ambientais; (vii) redu o da intermitência e aumento da média de energia produzida; e (viii) maior competitividade e eficiência dos projetos de gera o. Entretanto, também existem desafios como: (i) incertezas em rela o   demanda de futuros leilões; (ii) linhas de financiamento e políticas de conteúdo nacional; (iii) cria o de uma regula o favorável em rela o às contrata es e aos cortes de energia (*curtailment*) de usinas híbridas; (vi) limita es das margens de escoamento das LTs. Segundo a EPE (2019), as principais necessidades regulatórias para viabiliza o de usinas híbridas seriam a possibilidade de contrata o de montante do uso do sistema de transmissão/distribui o (MUST/MUSD) inferior   potência instalada da usina e a avalia o das perdas por *curtailment* por discretiza o temporal. Ainda segundo da EPE (2019), mesmo sem uma regula o específica já seria possível implantar usinas híbridas no ACL por conta e risco das empresas interessadas.

CONCLUSÃO

Este trabalho evidencia que as usinas híbridas eólico-solares são factíveis no Brasil e podem ser uma op o para o abastecimento da demanda elétrica nacional. As usinas híbridas são uma inova o que pode se tornar uma tendência capaz de ajudar o Brasil: (i) a combater as mudanças climáticas e o aquecimento global; (ii) a reduzir as intermitências inerentes as energias eólica e solar; e (iii) otimizar o uso da infraestrutura, entre outros fatores.

As perspectivas são favoráveis   implanta o futura de usinas híbridas e/ou a hibridiza o de usinas preexistentes e, eventualmente, as empresas atuantes no mercado podem assumir o pioneirismo desta implanta o via ACL, antes mesmo antes da cria o de uma regula o pertinente. Assim sendo, esta questão   relevante e deve continuar a ser bem discutida para que, futuramente, uma regula o adequada venha a ser criada para viabilizar a implanta o de usinas híbridas no país.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da *Coordena o de Aperfei amento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001*.

REFERÊNCIAS

- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Relatório de Análise de Impacto Regulatório Nº 002/2020-SRG/SRT/SCG/ANEEL. Relatório: Adequações regulatórias para implantação de usinas híbridas – Aprimoramento da regulação relacionada à contratação de acesso de múltiplas centrais geradoras. Brasília, 2020a.
- _____. Nota Técnica Nº 079/2020-SRG-SRT-SCG/ANEEL. Processo: 48500.005625/2018-91 e 48500.001027/2020-67. Assunto: Proposta de abertura de Consulta Pública com vistas a colher subsídios para a Análise de Impacto Regulatório – AIR e a minuta de ato normativo acerca do tratamento regulatório para o estabelecimento de usinas híbridas e associadas. Brasília, 2020b.
- _____. Nota Técnica Nº 051/2019-SRG-SCG-SRD-SRT/ANEEL. Processo: 48500.005625/2018-91. Assunto: Instauração de Consulta Pública visando colher subsídios para elaboração de proposta de normativo sobre o estabelecimento de usinas híbridas e/ou associadas. Consulta Pública 014/2019. Brasília, 2019a.
- _____. Consulta Pública 014/2019: Objeto - obter subsídios para a elaboração de proposta de Resolução Normativa que discipline a implantação e operação de usinas híbridas. Brasília, 2019b.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética); *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) GmbH; *German-Brazilian Energy Partnership*; *Federal Ministry for Economic Affairs and Energy* (BMWi); Ministério de Minas e Energia (MME); MRTS Consultoria. *Combined Wind and Solar Auctions*. GIZ; Bonn e Eschborn, 2021.
- EPE. Expansão da Geração: Usinas associadas eólico-fotovoltaicas – Considerações para cálculo de garantia física de energia. Rio de Janeiro, 2020.
- _____. Estudos de Planejamento da Expansão da Geração: Usinas Híbridas no Contexto do Planejamento Energético. Rio de Janeiro, 2019.
- _____. Estudos de Planejamento da Expansão da Geração – Usinas Híbridas: Uma análise qualitativa de temas regulatórios e comerciais relevantes ao planejamento. Rio de Janeiro, 2018.
- _____. Estudos de Planejamento da Expansão da Geração – Avaliação da Geração de Usinas Híbridas Eólico-Fotovoltaicas: Proposta metodológica e estudos de caso. Rio de Janeiro, 2017.
- Barbosa, Claudomiro Fábio de Oliveira, PINHO, João Tavares, GALHARDO, Marcos André Barros, Pereira, Edinaldo José da Silva. Conceitos sobre Sistemas Híbridos de Energia para Produção de Eletricidade. In: VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belo Horizonte, 2016.
- CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica). Atlas do Potencial Eólico Brasileiro: Simulações 2013. Rio de Janeiro, 2017.
- _____. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Brasília, 2001.
- Jurasz, J.; Canales, F. A.; Kies, A.; Guezgouz, M.; Beluco, A.. *A review on the complementarity of renewable energy sources: concept, metrics, application and future research directions*. *Solar Energy*, vol. 195, n. 1, pp. 703–724, 2020.
- Konzen, Gabriel. A Fonte Fotovoltaica no Planejamento Energético Nacional. In: 1º Encontro Baiano de Energia Solar. Palestra da EPE, Salvador, 2016.
- Lima, Juaceli Araújo de. Análise da viabilidade da geração híbrida de energia solar e eólica no Nordeste brasileiro. 2016. 138 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016.
- MME (Ministério de Minas e Energia); EPE. PNE 2050 – Plano Nacional de Energia 2050. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020b.
- Pereira, Ênio Bueno; *et al.*. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2ª. Ed., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2017.
- Pereira, Ênio Bueno. Segurança Energética: perspectivas no enfrentamento às mudanças climáticas globais. In: Conferência Internacional do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-Clima). São Paulo, 2016.
- Santos, José Alexandre Ferraz de Andrade; De Jong, Pieter; Costa, Caiuby Alves; TORRES, Ednildo Andrade. *Combining Wind and Solar Energy Sources: Potential for Hybrid Power Generation in Brazil*. *Utilities Policy*, vol. 67, 101084, 2020.
- Tolmasquim, Maurício Tomio. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. EPE, Rio de Janeiro, 2016.