

CRIAÇÃO DA REGULAÇÃO BRASILEIRA PARA USINAS HÍBRIDAS E A GERAÇÃO COMBINADA DAS ENERGIAS EÓLICA E SOLAR

JOSÉ ALEXANDRE FERRAZ DE ANDRADE SANTOS¹, EDNILDO ANDRADE TORRES²

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

²Dr. em Eng. Mecânica, Prof. Titular da Escola Politécnica, UFBA, Salvador–BA, ednildo@ufba.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
04 a 06 de outubro de 2022

RESUMO: A geração centralizada combinada com diferentes fontes de energia via usinas híbridas é uma inovação no Mundo. Este trabalho objetivou apresentar a evolução das discussões, a atual regulação sobre as usinas híbridas no Brasil. A metodologia utilizada foi de pesquisa e análise de informações via levantamento bibliográfico de documentos e relatórios técnicos nacionais e artigos acadêmicos. As informações obtidas e os resultados confirmam que: (i) as usinas híbridas vem sendo estudadas no Brasil desde 2017; (ii) a regulação específica foi criada em 2021 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); (iii) usinas híbridas eólico-solares já existiam no Brasil anteriormente a regulação e tenderão a otimizar futuramente a produção das energias eólica e solar. A principal conclusão obtida é que o uso de usinas híbridas no Brasil poderá ser plenamente aplicado para as energias eólica e solar, destacando-se a Região Nordeste e beneficiando o setor elétrico brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: Geração Centralizada Combinada, Usinas Híbridas, Energias Eólica e Solar, Regulação, Região Nordeste.

BRAZILIAN REGULATION FOR HYBRID POWER PLANTS AND WIND AND SOLAR ENERGY COMBINED CENTRALIZED GENERATION

ABSTRACT: The centralized generation combined with different energy sources carried out through hybrid plants is an innovation in the World. This work aimed to present the evolution of the discussions, the current regulation on hybrid plants in Brazil. The methodology used was for research and analysis of information through a bibliographic survey of documents and national technical reports and academic articles. The information obtained and results confirm that: (i) hybrid plants have been studied in Brazil since 2016; (ii) the specific regulation was established in 2021 by the National Electric Energy Agency; (iii) wind-solar hybrid plants already existed in Brazil prior to regulation and will tend to optimize the future production of wind and solar energy. The main conclusion obtained is that the use of hybrid plants in Brazil can be fully applied to wind and solar energy, highlighting the Northeast Region and benefiting the Brazilian electricity sector.

KEYWORDS: Combined Centralized Generation, Hybrid Power Plants, Wind and Solar Energy, Regulation, Northeast Region.

INTRODUÇÃO

O uso das fontes renováveis de energia é tendência mundial para combater o aquecimento global, a poluição e as mudanças climáticas via redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Neste contexto, o Brasil dispõe de diversidade de fontes renováveis (Eólica, solar, hídrica e biomassa) e tem a possibilidade de combinar mais de uma fonte para a produção nacional de energia elétrica.

“No entanto, as fontes de energia impulsionadas pelo clima são caracterizadas por uma variabilidade espacial e temporal significativa. Uma das soluções comumente mencionadas para superar o descompasso entre demanda e oferta proporcionada pela geração renovável é a hibridização de duas ou mais fontes de energia em uma única usina (como eólica-solar, solar-hídrica ou solar-eólica-hídrica). A operação das fontes híbridas de energia baseia-se na complementaridade das fontes renováveis.” (JURASZ et al., 2020).

Barbosa *et al.* (2016) definiram um sistema híbrido de energia (SHE) como um sistema que utiliza mais de uma fonte de energia para produzir eletricidade. O SHE possibilitaria a geração combinada de energia elétrica, no caso de existir complementariedade energética numa mesma localidade entre duas ou mais destas fontes.

Segundo Santos *et al.* (2020, 2021), comumente, os SHE são usados para a geração distribuída (GD). Todavia, mais recentemente, eles começaram a ser usados na geração centralizada (GC) via usinas de grande porte, denominadas de “usinas híbridas”. No Brasil, as usinas GD vão até 5 MW de potência e as usinas GC têm potência superior a 5 MW. Assim, as usinas híbridas ou a hibridização de usinas existentes são oportunidades para otimizar a produção de eletricidade através da redução do impacto da intermitência de algumas fontes renováveis, destacando-se a eólica e a solar.

MATERIAL E MÉTODOS

Este artigo realizou uma pesquisa exploratória de documentos governamentais nacionais e estudos técnicos e em outros documentos e pesquisas acadêmicas focando nas usinas híbridas e energias eólica e solar. Em seguida, realizaram-se breves análises e comentários respectivos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

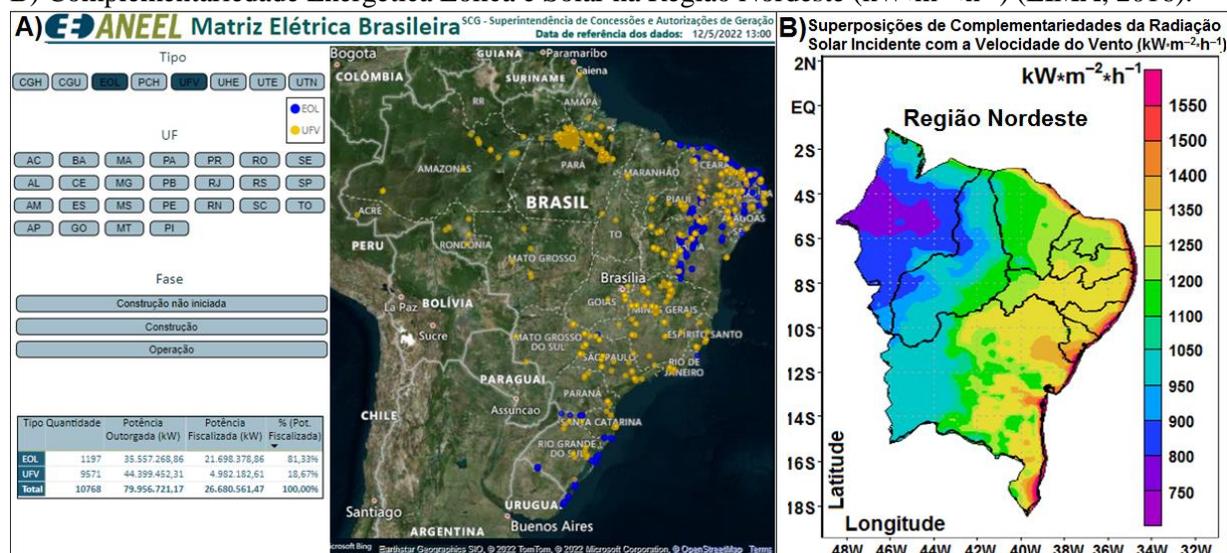
Os potenciais energéticos brasileiros das energias eólica e solar a serem explorados são amplos (Tabela 1). A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2022) disponibiliza informações georeferenciadas (Figura 1-A) das usinas eólicas (em azul) e solares fotovoltaicas (FV) (em amarelo) em operação, em construção e em construção não iniciada. Em 12/05/2022, havia um total de 1.197 usinas eólicas (35,6 GW) e um total de 9.671 solares FV (44,4 GW). As usinas eólicas se concentram nas regiões Nordeste e Sul, enquanto as usinas solares FV encontram-se mais dispersas, mas com uma significativa concentração no Nordeste. Segundo Lima (2016), De Jong *et al.* (2021) e Santos *et al.* (2020, 2021a), as fontes eólica e solar apresentam relevantes complementariedades, sendo que o Nordeste concentra as maiores complementariedades no Brasil (Figura 1-B). As significativas coincidências geográficas eólico-solares tornam atrativas as possibilidades de implantação de usinas híbridas e de hibridização de parte das usinas pré-existentis.

Tabela 1. Síntese dos Potenciais Energéticos da Energia Eólica e Solar (FV) no Brasil.

Energia	Altura	Potencial Nacional para Geração Centralizada	Referências
Eólica	50m	143,5 GW	CEPEL (2001)
	100m	880,5 GW (com 522 GW tecnicamente viáveis)	Pereira (2016)
Solar	Nível do solo	307 GWp (em áreas já com atividades humanas)	Tolmasquim (2016), Konzen (2016)

Figura 1. A) Localização das usinas eólicas e solares no Brasil em 12/05/2022 (ANEEL, 2022);

B) Complementariedade Energética Eólica e Solar na Região Nordeste ($\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) (LIMA, 2016).



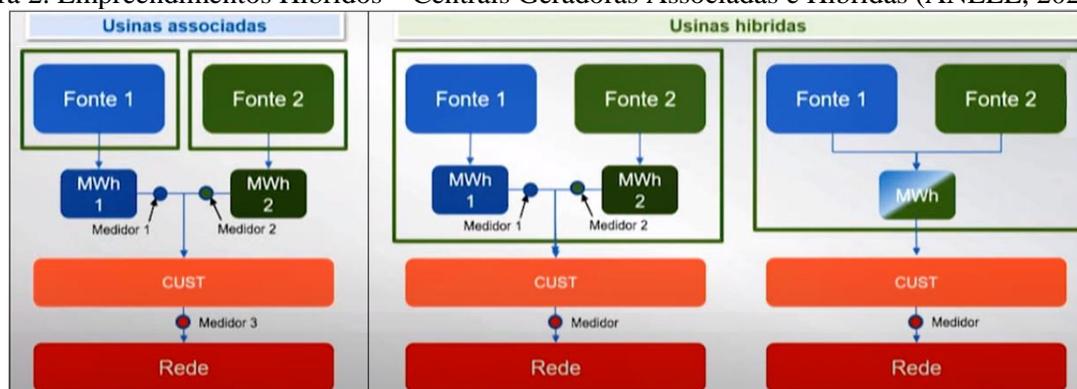
A partir de 2017, a *Empresa de Pesquisa Energética* (EPE) realizou alguns estudos sobre as usinas híbridas. A partir de 2019, a ANEEL realizou consultas públicas sobre este tema visando obter subsídios para criar uma regulação específica via *resolução normativa* (REN) (Tabela 2).

Tabela 2. Evolução das Discussões Técnicas sobre as Usinas Híbridas no Brasil.

Nº	Documentação	Detalhamento	Agentes	Data
1º	Nota Técnica Nº. EPE-DEE-NT-025/2017-r0	<i>Estudos de Planejamento da Expansão da Geração</i> : Avaliação da Geração de Usinas Híbridas Eólico-Fotovoltaicas – Proposta metodológica e estudos de caso.	EPE	24/04/2017
2º	Nota Técnica Nº. EPE-DEE-NT-011/2018-r0	<i>Estudos de Planejamento da Expansão da Geração</i> : Usinas Híbridas – Uma análise qualitativa de temas regulatórios e comerciais relevantes ao planejamento.	EPE	11/06/2018
3º	Nota Técnica Nº. EPE-DEE-NT-029/2019-r0	<i>Estudos de Planejamento da Expansão da Geração</i> : Usinas Híbridas no Contexto do Planejamento Energético.	EPE	07/06/2019
4º	Nota Técnica Nº. 051/2019-SRG-SCG-SRD-SRT/ANEEL	<i>Processo</i> : 48500.005625/2018-91. <i>Assunto</i> : Instauração de Consulta Pública visando colher subsídios para elaboração de proposta de normativo sobre o estabelecimento de usinas híbridas e/ou associadas.	ANEEL	17/06/2019
5º	Consulta Pública Nº. 014/2019	<i>Processo</i> : 48500.005625/2018-91. <i>Objeto</i> : Obter subsídios para a elaboração de proposta de REN que discipline a implantação e operação de usinas híbridas. <i>Período</i> : 19/06/2019 a 03/08/2019.	ANEEL	19/06/2019
6º	Nota Técnica Nº. 133/2019-SRG-SCG-SRD/ANEEL	<i>Processos</i> : 48500.005625/2018-91. <i>Assunto</i> : Tratamento regulatório para o estabelecimento de usinas híbridas e/ou associadas. Consolidação das 202 contribuições recebidas de pessoas físicas e jurídicas.	ANEEL	30/12/2019
7º	Nota Técnica Nº 079/2020-SRG-SRT-SCG/ANEEL	<i>Processos</i> : 48500.005625/2018-91 e 48500.001027/2020-67. <i>Assunto</i> : Proposta de abertura de Consulta Pública com vistas a colher subsídios para a <i>Análise de Impacto Regulatório</i> – AIR e minuta de ato normativo acerca do tratamento regulatório para o estabelecimento de usinas híbridas e associadas.	ANEEL	23/07/2020
8º	Relatório de Análise de Impacto Regulatório Nº. 002/2020-SRG/SRT/SCG/ANEEL	Adequações regulatórias para implantação de usinas híbridas – Aprimoramento da regulação relacionada à contratação de acesso de múltiplas centrais geradoras. Documento juntado à Nota Técnica Nº 079/2020-SRG-SRT-SCG/ANEEL, <i>Processo</i> nº 48500.005625/2018-91 e <i>Processo</i> nº 48500.001027/2020-67.	ANEEL	23/07/2020
9º	Consulta Pública Nº. 061/2020	<i>Processos</i> : 48500.005625/2018-91 e 48500.001027/2020-67. <i>Objeto</i> : obter subsídios para a <i>Análise de Impacto Regulatório</i> – AIR acerca do tratamento regulatório para o estabelecimento de usinas híbridas e associadas. Modalidade: Intercâmbio de documentos. <i>Período</i> : 21/10/2020 a 04/12/2020.	ANEEL	21/10/2020
10º	<i>Energy Systems of the Future: Integrating Variable Renewable Energy Sources in Brazil's Energy Matrix</i>	Aborda a integração das fontes renováveis variáveis (FRV) sob a ótica dos aspectos tecnológicos, de procedimento de rede, de estudos energéticos e elétricos, metodológicos e de ferramentas de planejamento para sistemas elétricos, incluindo resultados de um estudo de caso hipotético que realizou uma análise eletro-energética do SIN para um horizonte futuro, sob a ótica da segurança e confiabilidade, usando metodologias e ferramentas analíticas de estado-da-arte sob o paradigma da massiva inserção de FRV na matriz elétrica.	GIZ/ Cooperação Aleml/ MME/ EPE/ONS	30/10/2020
11º	Nota Técnica Nº. EPE-DEE-NT-084/2020-r0	<i>Expansão da Geração</i> : Usinas associadas eólico-FV – Considerações para cálculo de garantia física de energia.	EPE	16/12/2020
12º	Nota Técnica Nº. 048/2021-SRG-SRT-SCG-SGT/ANEEL	<i>Processo</i> : 48500.005625/2018-91 e 48500.001027/2020-67. <i>Assunto</i> : Análise das contribuições recebidas na Consulta Pública Nº 061/2020 e proposta de abertura de segunda fase da Consulta Pública com vistas ao tratamento regulatório para o estabelecimento de usinas híbridas e associadas. Consolidação das 140 contribuições recebidas de 28 entre agentes e associações do setor elétrico e do ONS.	ANEEL	14/05/2021
13º	<i>Paper: Combined Wind and Solar Auctions</i>	Parceria Brasil-Alemanha, coordenada pelo Ministério de Economia e Energia da Alemanha (BMWi) e MME/EPE, onde o relatório final é um artigo conjunto relatando as experiências de 3 países (Brasil, Alemanha e Índia) em leilões e usinas híbridas, com recomendações para o avanço deste tema.	EPE/MME/ BMWi	18/05/2021
14º	Consulta Pública Nº. 061/2020 – 2ª Fase	<i>Objeto</i> : obter subsídios para a AIR acerca do tratamento regulatório para o estabelecimento de usinas híbridas e associadas. Modalidade: Intercâmbio de documentos. <i>Período</i> : 18/08/2021 a 16/09/2021.	ANEEL	18/08/2021
15º	Resolução Normativa (REN) Nº. 954/2021	Altera as REN nº 77, de 18/08/2004, nº 247, de 21/12/2006, nº 559, de 27/06/2013, nº 583, de 22 de outubro de 2013, nº 666, de 23 de junho de 2015 e nº 876, de 10 de março de 2020, para estabelecer tratamento regulatório para a implantação de Centrais Geradoras Híbridas e centrais geradoras associadas.	ANEEL	30/11/2021

Em 30/11/2021, a ANEEL (2021a) editou a *REN N.º. 954/2021*, que permite a outorga das usinas híbridas com potências superiores a 5.000 kW a partir de 03/01/2022 e criou as definições das *Centrais Geradoras Híbridas (UGH)* (outorga única) e *Centrais Geradoras Associadas* (outorgas distintas) (Figura 2).

Figura 2. Empreendimentos Híbridos – Centrais Geradoras Associadas e Híbridas (ANEEL, 2021b).



“Central Geradora Híbrida (UGH): instalação de produção de energia elétrica a partir da combinação de diferentes tecnologias de geração, com medições distintas por tecnologia de geração ou não, objeto de outorga única; e Centrais Geradoras Associadas: duas ou mais instalações, com a finalidade de produção de energia elétrica com diferentes tecnologias de geração, com outorgas e medições distintas, que compartilham fisicamente e contratualmente a infraestrutura de conexão e uso do sistema de transmissão.” (ANEEL, 2021a).

A *REN N.º. 954/2021* também traz as definições e as regras para a outorga desses empreendimentos e para *contratos de uso do sistema de transmissão (CUST)* de energia elétrica e define a forma de tarifação destas usinas e da aplicação dos descontos legais nas *tarifas de uso do sistema de transmissão (TUST)* de energia elétrica. Para a obtenção de outorga, cada fonte segue as regras específicas definidas em regulação própria. Na definição dos *montantes de uso do sistema de transmissão (MUST)* não pode ocorrer redução de montantes previamente contratados e o novo valor deve estar na faixa entre a potência da tecnologia de GC de maior participação no conjunto, e a soma das potências de todas as tecnologias de geração utilizadas. Os descontos percentuais finais são proporcionais à energia gerada por cada fonte para as medições individualizadas ou equivalentes aos menores percentuais das fontes do conjunto híbrido para as medições unificadas.

A partir da publicação da *REN N.º. 954/2021*, em 30/11/2021, a ANEEL determinou um prazo de até 120 dias para a apresentação de propostas para a revisão dos procedimentos de rede pelo *Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)* e das regras de comercialização de energia pela *Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)*. Já a aplicação da norma referente aos pedidos de informação de acesso no ONS e às solicitações de outorga na ANEEL está em vigência desde 03/01/2022.

“Alguns benefícios das usinas híbridas eólico-solares são: (i) compartilhamento da infraestrutura (transmissão, subestações, etc.); (ii) maior uso da capacidade disponível do sistema de transmissão; (iii) redução de custos no uso dos sistemas, na operação & manutenção e nas garantias financeiras; (iv) otimização de uso de terrenos arrendados; (v) ganho de logística e de planejamento da implantação das usinas; (vi) unificação de licenças ambientais; (vii) redução da intermitência e aumento da média de energia produzida; e (viii) maior competitividade e eficiência dos projetos de geração.” (SANTOS e TORRES, 2021).

Antes da publicação da *REN N.º. 954/2021*, já havia alguns empreendimentos de GC combinada eólico-solares implantados ou em fase de planejamento no Brasil, todos localizados na região Nordeste. Segundo Santos *et al.* (2020) e Santos e Torres (2021), existiam: (i) uma usina híbrida implantada no município de *Tacaratu* (Pernambuco) em 2015 e outra híbrida implantada em *Caetitê e Igaporã* (Bahia) em 2016; (ii) quatro estudos prévios e/ou propostas de projetos-pilotos para implantação de usinas híbridas nos municípios de *Parazinho* (Rio Grande do Norte), *Araripina*

(Pernambuco), *Curral Novo do Piauí* (Piauí) e *Casa Nova* (Bahia). Tal fato, já comprovava o interesse da iniciativa privada em investir em usinas híbridas eólico-solares.

CONCLUSÃO

As usinas híbridas têm sido estudadas e discutidas no Brasil desde 2017 por parte do poder público. Com isto, houve uma melhor compreensão e maturidade de suas implicações, abrangência e de sua aplicabilidade. Consequentemente, em 2021, a ANEEL considerou o tema suficientemente amadurecido e editou a REN N°. 954/2021 para permitir a implantação deste tipo de empreendimento energético no Brasil. Todavia, já existiam duas usinas híbridas implantadas e mais quatro projetos em fase de propostas de implantação, explicitando o interesse das empresas neste tipo de usinas.

Desta forma, as usinas híbridas configuram efetivamente mais uma nova oportunidade para ampliação da segurança de abastecimento com diversificação e expansão da matriz elétrica nacional. Seu uso poderá ser plenamente aplicado para as energias eólica e solar a partir de 2022, destacando-se a Região Nordeste, e contribuirá com a descarbonização do setor elétrico brasileiro e com o combate ao aquecimento global e às mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Ferramenta SIGA, Brasília, 2022. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWVhM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSI6ImMiOjR9>. Acesso em 12/05/2022.
- ANEEL. Resolução Normativa N° 954/2021. ANEEL, Diretoria Geral, Brasília, 2021a.
- ANEEL. 45ª Reunião Pública Ordinária ANEEL – 30/11/2021 – Parte 1. ANEEL. Sessão pública, Brasília, 2021b.
- 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 em Energia Elétrica). Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Brasília, 2001.
- De Jong, Pieter; Santos, José Alexandre Ferraz de Andrade; Cunha, Felipe Barroco Fontes; Kiperstok, Asher; Torres, Ednildo Andrade. *The Complementarity of Wind and Solar Power with Hydroelectricity in the State of Bahia*. In: *Brazil Windpower 2021*, São Paulo, 2021.
- 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.
- 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.
- Santos, José Alexandre Ferraz de Andrade; Cunha, Felipe Barroco Fontes; Costa, Caiuby Alves; Torres, Ednildo Andrade. *Exploratory Study about Wind-Solar Hybrid Power Plants in Brazil*. In: *16th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES)*, Dubrovnik, 2021.
- Santos, José Alexandre Ferraz de Andrade; Torres, Ednildo Andrade. Panorama das Usinas Híbridas Eólico-Solares no Brasil. In: VII Congresso Técnico-Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC), Brasília, 2021.
- 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.
- Konzen, Gabriel. A Fonte Fotovoltaica no Planejamento Energético Nacional. In: 1º Encontro Baiano de Energia Solar. Palestra da EPE, Salvador, 2016.