



XII
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS
DESIGUALDADES SOCIAIS
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

Impacto das mudanças climáticas na geração pelas usinas hidrelétricas brasileiras

Evandro Mateus Moretto¹; Telma Maria Pinheiro²; Amarilis Lucia Casteli Figueiredo
Gallardo³; Igor Cavallini Johansen⁴; Emílio Frederico Moran⁵

¹ Grupo de Pesquisa em Planejamento e Gestão Ambiental – PLANGEA, Escola de Artes, Ciências e Humanidades – EACH da Universidade de São Paulo – USP, evandromm@usp.br

² Grupo de Pesquisa em Planejamento e Gestão Ambiental – PLANGEA, Escola de Artes, Ciências e Humanidades – EACH da Universidade de São Paulo – USP, telmapin@usp.br

³ Escola Politécnica – EP da Universidade de São Paulo – USP e Universidade Nove de Julho (UNINOVE); amariliscgallardo@usp.br

⁴ Departamento de Demografia da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP; igorcav@unicamp.br

⁵ Michigan State University – MSU e Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP; moranef@msu.edu

GT8 - Energia, Sociedade e Ambiente: existe energia limpa?

RESUMO: As usinas hidrelétricas são a fonte predominante de geração de energia elétrica em diversas regiões do mundo, como na América Latina, onde respondem por cerca de 45% da geração de energia elétrica. São consideradas fontes de geração de energia elétrica pouco intensivas na emissão de CO₂ e, portanto, estratégicas nos planejamentos energéticos nacionais em resposta às mudanças climáticas. Porém, o agravamento das mudanças climáticas tem gerado impactos nos regimes de chuvas regionais e locais em todo o território brasileiro, diminuindo a disponibilidade hídrica para geração de energia elétrica por usinas hidrelétricas, o que pode requerer o aumento da geração por termelétricas com aumento da emissão de CO₂, intensificando o ciclo global *climate-carbon*. Neste contexto, a presente pesquisa tem como objetivo analisar a contribuição da operação de usinas hidrelétricas, em momentos de escassez hídrica, na intensificação do ciclo global *climate-carbon*.

Palavras-chave: mudanças climáticas, escassez hídrica, usinas hidrelétricas

Agradecemos à Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo pelo Financiamento do Projeto n.º 4323 – Edital FUSP Multidisciplinar sobre Mudanças Climáticas) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento do Projeto SPEC referente ao Processo FAPESP 2019/17113-9.

Apoio:



Realização:



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
SUSTENTABILIDADE



Financiamento:





XII
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS
DESIGUALDADES SOCIAIS
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

Destaques (highlights)

- A partir de 2014, o regime de geração hidrelétrica brasileiro é caracterizado por geração abaixo da garantia física de todo o conjunto de hidrelétricas (quantidade máxima de energia elétrica que o parque hidrelétrico se compromete a suprir) e com grandes variações sazonais;
- A menor geração hidrelétrica a partir de 2014 está associada aos eventos extremos de escassez decorrentes das mudanças climáticas nas regiões sul, sudeste, nordeste e centro-oeste não amazônico;
- As usinas de Santo Antônio e Jirau no rio Madeira (RO) e de Belo Monte no rio Xingu agregaram maiores amplitudes de variação sazonal na geração de energia hidrelétrica;
- A partir do novo regime de geração hidrelétrica iniciado em 2014, há o acionamento de termelétricas em 36% dos meses no período de 2015 a 2024, aumentando a emissão de CO₂ e, portanto, induzindo o ainda mais o ciclo *climate-carbon*;

INTRODUÇÃO

O fenômeno das mudanças climáticas em escala global, com origens na dinâmica natural do Sistema Terrestre, tem sido acelerado de forma significativa no último século a partir de causas antrópicas. Entre elas, o aumento de emissões de CO₂ resultantes do desmatamento, das mudanças no uso da terra e da queima de combustíveis fósseis tem sido o principal fator relacionado ao aumento da temperatura global (MICHELS-BRITO *et al.*, 2021).

Uma das mais importantes expressões regionais das mudanças climáticas tem sido o aumento da amplitude de variação nos regimes de precipitação, com períodos de estiagens cada vez mais severos que afetam de forma significativa a disponibilidade hídrica para as múltiplas finalidades existentes entre os diversos usos possíveis dos recursos hídricos.

A partir de 2001, têm ocorrido episódios cada vez mais frequentes de escassez hídrica no Brasil, especialmente nos anos de 2012, 2013, 2015, 2016, 2020, 2021, 2023 e 2024 (EPE, 2024; IEA, 2024). Esses episódios prolongados afetam significativamente a geração de energia no país, comprometendo a regularidade do fornecimento, sobretudo em um sistema historicamente dependente da matriz hidrelétrica.

Entre os anos de 2013 e 2015, o Brasil experimentou um severo período de estiagem na região sudeste que marcou a crise hídrica da macrometrópole paulista, gerando problemas para

Apoio:



Realização:



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
SUSTENTABILIDADE



Financiamento:



o abastecimento público de água, problemas na produtividade da indústria e agricultura, produção de alimentos e geração de energia hidrelétrica (JACOBI *et al.*, 2015). Mais recentemente, as usinas hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio em Rondônia, por exemplo, tiveram sua geração suspensa durante um período de diminuição drástica da quantidade de água no rio Madeira no ano de 2023. Projeções realizadas por Camargo (2020) demonstram ainda a possibilidade de redução de cerca de 30% da produção de energia pela usina hidrelétrica de Belo Monte em função da redução da vazão do rio Xingu decorrente de períodos de estiagens mais severas em tempos de mudanças climáticas.

De forma direta, a redução da disponibilidade hídrica provoca uma diminuição significativa nos níveis dos reservatórios de usinas hidrelétricas, resultando na redução da capacidade de geração de energia elétrica e, conseqüentemente, na necessidade de acionamento de outras fontes para atender às demandas do Sistema Interligado Nacional (SIN). Quando este déficit de geração é suprido por usinas termelétricas, intensifica-se o ciclo de feedback positivo denominado *climate-carbon* (ZHAI *et al.*, 2017; KASVI *et al.*, 2019; MICHELS-BRITO *et al.*, 2021), caracterizado pela seguinte sequência de eventos: aumento da emissão de CO₂, intensificação das mudanças climáticas, ocorrência de períodos de estiagem mais severos, diminuição da disponibilidade hídrica, diminuição do nível dos reservatórios, diminuição da geração de energia elétrica por usinas hidrelétricas, acionamento de usinas termelétricas, aumento da emissão de CO₂, conforme pode ser verificado na Figura 1.

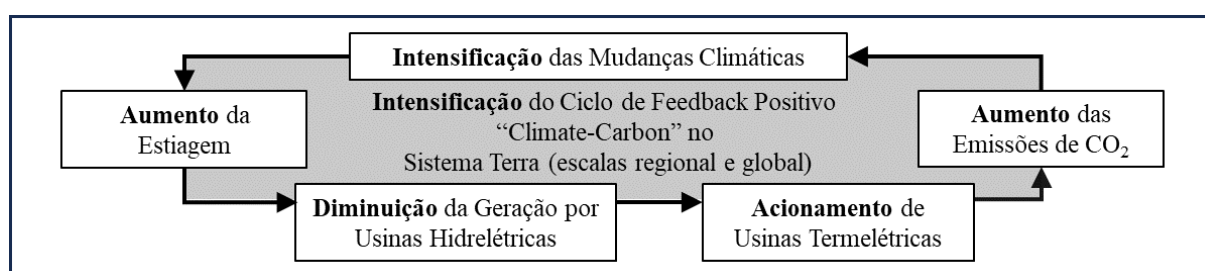


Figura 1. Intensificação do feedback positivo no ciclo global “climate-carbon” em função da diminuição da geração por usinas hidrelétricas. (Fonte: elaboração própria com base em ZHAI *et al.*, 2017; KASVI *et al.*, 2019; MICHELS-BRITO *et al.*, 2021).

Considerando esse contexto, o presente trabalho tem como objetivo verificar a existência de um novo regime de geração hidrelétrica no Brasil nas últimas duas décadas, considerando a ocorrência de eventos de estiagem cada vez mais severos decorrentes das



XII
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS
DESIGUALDADES SOCIAIS
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

mudanças climáticas, analisando ainda como este novo cenário implica na intensificação do ciclo global *climate-carbon*.

METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho foi toda baseada no tratamento e na análise de dados de geração de energia elétrica por usinas hidrelétricas brasileiras, classificadas desta forma pelo Sistema de Informações sobre Geração da ANEEL – SIGA (<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>) e disponíveis no sistema de dados do Operador Nacional do Sistema – ONS (<https://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados-gerais>).

Foram obtidos dados de geração de energia elétrica para o universo de 214 usinas hidrelétricas atualmente em operação, para o período de 2000 a 2024. Os dados foram analisados para a identificação de mudanças no regime de geração de energia ao longo do tempo. Os dois períodos com distintos regimes de geração de energia foram comparados a partir do emprego do teste não paramétrico de Mann-Whitney, com nível de confiança de 95%, considerando que se trata da comparação de duas amostras independentes, de tamanhos diferentes e com distribuição não-normal.

RESULTADO E DISCUSSÃO

De acordo com os dados de geração de energia elétrica para todas as usinas hidrelétricas – UHEs brasileiras, o Brasil passou por três momentos bastante bem-marcados desde 2000, como pode ser observado na Figura 2A. O primeiro momento é marcado por uma crise na geração de energia elétrica durante os anos de 2001 e 2002, decorrente da falta de planejamento no setor elétrico e de um episódio severo de estiagem que ocorreu no ano de 2001. Esta crise levou o Governo Federal a decretar o racionamento no uso de energia elétrica em grande parte do Brasil, e revelou a dependência do setor de geração de energia elétrica em relação às UHEs (BARROSO, *et al.*, 2003; MICHELS-BRITO *et al.*, 2021).

O segundo momento é o período compreendido pelos anos de 2004 a 2012, quando o regime de geração foi marcado por um incremento constante na geração de energia hidrelétrica, sempre acima da garantia física total do sistema elétrico (Figura 2B), considerando que a garantia física é a quantidade máxima de energia elétrica que o parque hidrelétrico se

compromete a suprir, a partir dos contratos individuais celebrados junto à ANEEL). Outro aspecto relevante neste segundo momento é que a variação sazonal de geração foi bastante pequena em praticamente todos os anos, com exceção do final do período em 2012. Estas evidências são explicadas pela suficiente disponibilidade hídrica no conjunto do território nacional, sem a ocorrência de eventos extremos de escassez hídrica que tivessem comprometido a geração por UHEs. Na Figura 2C também é possível verificar que a razão entre a geração de energia elétrica e a garantia física (Generation Scaling Factor – GSF) sempre esteve acima do valor ótimo de 1, ou seja, sempre acima da garantia física do sistema de UHEs.

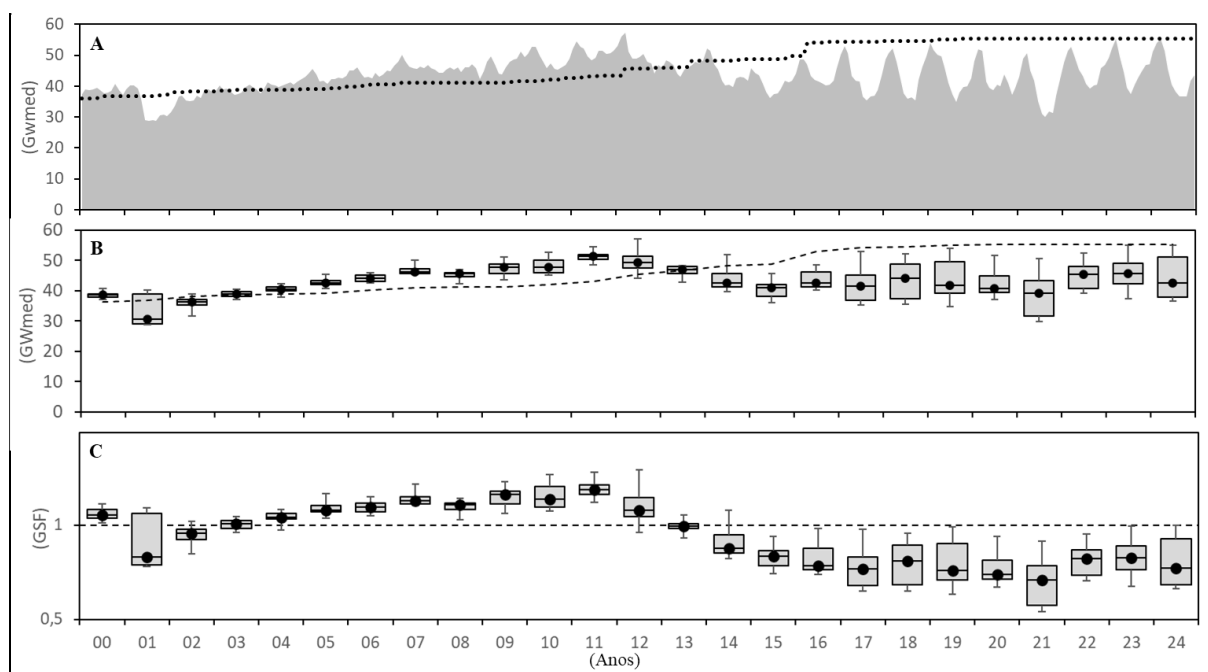


Figura 2. A – Variação temporal dos valores da média mensal (GWmed) de geração de energia elétrica por usinas hidrelétricas brasileiras (área cinza) e valores da garantia física total do parque hidrelétrico brasileiro (linha pontilhada); B – Variação temporal dos valores da média mensal (GWmed) de geração por usinas hidrelétricas brasileiras agrupados em quartis, máximos e mínimos (caixas cinzas), e valores da garantia física total do parque hidrelétrico brasileiro (linha pontilhada); C - Variação temporal dos valores mensais do *Generation Scaling Factor* (GSF) relativos à geração pelas usinas hidrelétricas brasileiras agrupados em quartis, máximos e mínimos (caixas cinzas). (Fonte: Elaboração própria)

O ano de 2013 representa um momento de clara mudança de regime de geração, dividindo o período de 2004-2012 do período de 2014-2024. Este destaque pode ser verificado



XII
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS
DESIGUALDADES SOCIAIS
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

com o cruzamento dos valores de geração hidrelétrica com a linha pontilhada de garantia física nas Figuras 2A e 2B, bem como na Figura 2C, quando a série de dados de GSF cruza o valor 1 no ano de 2013. É importante destacar que nos anos de 2012, 2013 e 2016 há incrementos importantes na garantia física total do sistema (Figura 2A) em função do início da operação, respectivamente, das usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau no rio Madeira (RO), e de Belo Monte no rio Xingu (PA).

A partir do ano de 2014, inicia-se o terceiro momento importante da série histórica, com regime de geração caracterizado por valores de geração sempre menores do que a garantia física e por uma variação sazonal acentuada, sempre maior do que aquela verificada no período de 2004-2012 (Figura 2B). Essa trajetória também pode ser observada na Figura 2C, onde é possível verificar que os valores do GSF estiveram sempre abaixo do valor ótimo de 1 durante o período de 2014-2024, e com amplitudes de variação sazonal sempre maiores do que aquelas observadas no período de 2004-2012.

A partir de 2014 já houve uma tendência de diminuição da reserva hídrica nos reservatórios de usinas hidrelétricas, e o Operador Nacional do Sistema – ONS passa a acionar também outras fontes para a composição da matriz de energia elétrica, reduzindo a participação de usinas hidrelétricas de 85% (2004 a 2011) para 74% em 2014 (EPE, 2023). O fator que explica a existência de dois períodos com regimes de geração tão distintos e marcados (2004-2012 e 2014-2024) é o início da ocorrência de episódios mais severos e frequentes de estiagem no conjunto do território brasileiro a partir de 2014, decorrentes das mudanças climáticas. Dentre eles, ocorreu o evento extremo do fenômeno El Niño em 2015 e 2016 (FERON *et al.*, 2024) que levou à importante crise hídrica em várias regiões do Brasil (JACOBI *et al.*, 2015), e resultou na criação do sistema de bandeiras tarifárias pela ANEEL, com condicionantes para o acionamento de termelétricas fora da ordem de mérito (ANEEL, 2025), o que elevou os custos de operação do sistema e aumentou as emissões de CO₂, intensificando o ciclo global *carbon-climate*. Situação semelhante se repetiu nos anos de 2020 e 2021, quando novo evento de escassez hídrica afetou os reservatórios das regiões sudeste e centro-oeste do Brasil, deixando-os com capacidade de armazenamento abaixo dos 35%, motivando emergenciais como importação de energia, flexibilização de restrições operativas e contratação adicional (EPE, 2023).

É fundamental destacar que a partir de 2015, houve 43 meses com acionamento de bandeira tarifária vermelha ou de escassez hídrica pela ANEEL, totalizando 36% do período de 2015-2024 com acionamento de usinas termelétricas para a complementação do déficit de geração por usinas hidrelétricas em função de menor disponibilidade hídrica (ANEEL, 2025), intensificando as emissões de CO₂ e, portanto, induzindo ainda mais o feedback positivo no ciclo global *climate-carbon*.

Para verificar estatisticamente a existência destes dois períodos com regimes distintos de geração de energia hidrelétrica, os dados foram agrupados nos períodos de 2004-2012 e de 2014-2024, e comparados estatisticamente por meio do teste de Mann-Whitney. Como resultado, verifica-se que os grupos são estatisticamente diferentes entre si para as variáveis de geração de energia elétrica e GSF (Figuras 3A e 3B, respectivamente). Ou seja, ficou evidente que o regime de geração de energia elétrica no período de 2014-2024 é diferente do regime de geração de energia elétrica no período de 2004-2012, o que pode ser explicado em função da diferença de disponibilidade hídrica entre os dois períodos decorrentes de eventos climáticos extremos.

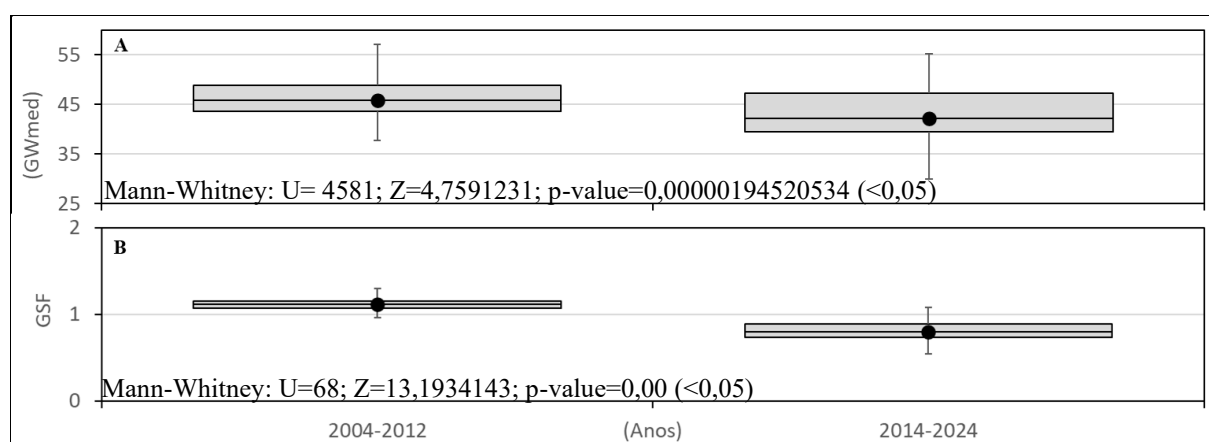


Figura 3. A – Valores da média mensal (Gwmed) de geração de energia elétrica por usinas hidrelétricas brasileiras agrupados em quartis, máximos e mínimos (caixas cinzas) para os períodos de 2004-2012 e de 2014-2024; B – Valores mensais do Generation Scaling Factor (GSF) relativos à geração pelas usinas hidrelétricas brasileiras agrupados em quartis, máximos e mínimos (caixas cinzas) para os períodos de 2004-2012 e de 2014-2024. (Fonte: Elaboração própria)

O novo regime de geração do período de 2014-2024, com geração abaixo da garantia física e com maiores amplitudes de variação nos valores de geração, também pode ser explicado



XII
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS
DESIGUALDADES SOCIAIS
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

pela entrada em operação das usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau no rio Madeira (RO) e Belo Monte no rio Xingu (PA). Na Figura 4 estão apresentadas as séries históricas de valores de geração de energia elétrica por usinas hidrelétricas para 5 cenários passados: Brasil (A), para o Brasil sem as UHEs da Amazônia (B), apenas para a Amazônia (C), para a Amazônia sem as uhes de Santo Antônio, Jirau e Belo Monte (D) e apenas para as UHEs de Santo Antônio, Jirau e Santo Antônio (E).

Cotejando os cinco cenários apresentados na Figura 4, é possível verificar que o padrão de geração abaixo da garantia física encontrado em todo o Brasil no período 2014-2024 (A), também ocorre no Brasil sem os dados da Amazônia (B), mas não ocorre nos cenários Amazônicos (C, D e E), onde os valores de geração flutuaram em amplitude, acima e abaixo da garantia física. Ou seja, o comportamento de geração abaixo da garantia física encontrado no período de 2014-2024 é mais convergente com o que ocorreu nas regiões sudeste, sul, nordeste e em parte do centro-oeste, do que nos cenários amazônicos. Por outro lado, o comportamento de maior amplitude de variação nos valores de geração de todo o Brasil no período de 2014-2024, em relação ao período de 2004-2012 (A), estão muito mais associados ao padrão de amplitudes de variação na geração encontrado nos cenários amazônicos, especialmente quando consideradas as usinas hidrelétricas de Santo Antônio, Jirau e Belo Monte (C e E).

Estas evidências e associações sugerem fortemente que o padrão de geração abaixo da garantia física encontrado no período 2014-2024 está mais associado com o padrão de geração encontrado nas regiões sul, sudeste, nordeste e na parte não amazônica do centro-oeste. Isso demonstra ainda que o padrão de maiores amplitudes de variação nos valores de geração do período de 2014-2024, em relação ao período de 2004-2012, está fortemente associado ao padrão de amplitude encontrado na Amazônia, especialmente em função da entrada em operação das usinas hidrelétricas de Santo Antônio, Jirau e Belo Monte.

Por fim, é fundamental destacar que até a década de 2000, as usinas hidrelétricas do Brasil foram construídas com a formação de grandes reservatórios para acúmulo e reserva de água. Em função de restrições ambientais cada vez mais importantes para a construção de usinas hidrelétricas com grandes reservatórios, especialmente na Amazônia (MORETTO *et al.*, 2012), a estratégia de construção de usinas hidrelétricas a fio d'água mudou a partir do final dos anos 2000. Este foi o caso das usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau no rio Madeira (RO), e de Belo Monte no rio Xingu (PA).



XII
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS
DESIGUALDADES SOCIAIS
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

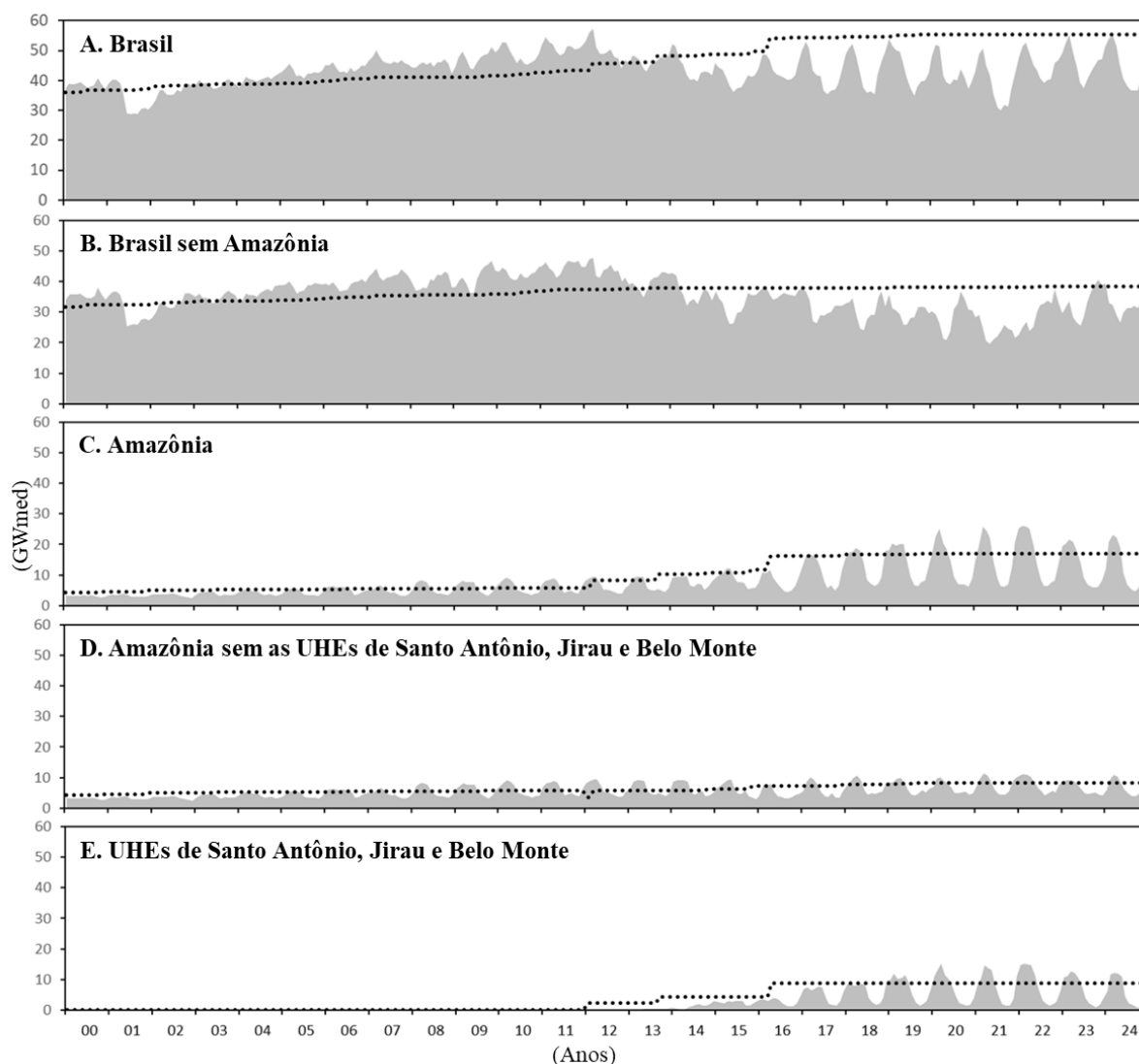


Figura 4. Variação temporal dos valores da média mensal (GWmed) de geração de energia elétrica por usinas hidrelétricas brasileiras (área cinza) e valores da garantia física total do parque hidrelétrico brasileiro (linha pontilhada), sendo: A - todo o parque de usinas hidrelétricas brasileiras; B – parque hidrelétrico brasileiro excluídas as usinas hidrelétricas da região Amazônica; C – parque hidrelétrico instalado na região Amazônica; D – parque hidrelétrico instalado na região Amazônica, excluídas as usinas de Santo Antônio, Jirau e Belo Monte; E – apenas as usinas hidrelétricas de Santo Antônio, Jirau e Belo Monte. (Fonte: Elaboração própria)



XII
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS
DESIGUALDADES SOCIAIS
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos dados históricos de geração de energia elétrica por usinas hidrelétricas nos últimos 25 anos, fica evidente que houve uma mudança significativa no regime de geração a partir do ano de 2014. De 2004 a 2012, quando não há eventos importantes de estiagem no conjunto do território brasileiro, os valores de geração estiveram acima da garantia física do parque de UHEs e sempre com uma pequena amplitude de variação anual nos valores. A partir de 2014 e até o ano de 2024, o regime de geração muda para outra faixa de funcionamento, com dois novos padrões bastante claros: valores mensais abaixo da garantia física e maior amplitude de variação anual nos valores de geração.

O novo padrão de geração abaixo da garantia física está fortemente associado com os padrões de gerações encontrados no conjunto das regiões sul, sudeste, nordeste e centro-oeste não amazônico, que foram fortemente afetadas pelos eventos extremos de escassez hídrica a partir dos anos 2014, sobretudo com o El Niño em 2015-2015 e com a La Niña em 2020-2023. Por outro lado, o novo padrão de maior amplitude de variação nos valores de geração parece estar mais associado com a entrada em operação das usinas de Santo Antônio e Jirau no rio Madeira (RO) e Belo Monte no rio Xingu (PA), as quais tornaram o sistema mais vulnerável à flutuação da disponibilidade hídrica nos respectivos rios, já que são usinas hidrelétricas a fio d'água.

Por fim, é certo que este novo regime de funcionamento instalado a partir de 2014 demonstra uma menor capacidade e maior vulnerabilidade na geração de energia elétrica por usinas hidrelétricas em função de eventos extremos de escassez hídrica cada vez mais frequentes no conjunto do território nacional, decorrentes das mudanças climáticas, com aumento da emissão de CO₂ em função do acionamento de usinas termelétricas em grande parte do período, considerando que de 2015 a 2024, houve o acionamento de termelétricas em 43 meses (36%).

Assim, em tempos de mudanças climáticas com conseqüente escassez hídrica, a forte dependência da geração por usinas hidrelétricas vulnerabiliza o próprio sistema de geração de energia elétrica do Brasil, aumenta as emissões de CO₂ por termelétricas e, portanto, intensifica o feedback positivo do ciclo global *climate-carbon*.



XII
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS
DESIGUALDADES SOCIAIS
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

REFERÊNCIAS

- ANEEL, 2025. SIGA - **Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. Sítio Eletrônico: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>
- BARROSO, Luiz Augusto; PEREIRA, Mario Veiga; ROSENBLATT, José. Ensuring energy supply adequacy in market-based systems: the Brazilian experience. **IEEE Proceedings**, [S. l.], v. **93**, n. **11**, p. **2010–2025**, 2003.
- CAMARGO, M. **Variabilidade da vazão do Rio Xingu na região da UHE Belo Monte sob cenários de projeções multimodelo de mudança climática**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paul – USP, 2020.
- EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Escassez Hídrica em 2021 – Diagnósticos e Oportunidades para o Planejamento da Expansão da Oferta de Eletricidade**, Brasília: MME/EPE, 2023.
- EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2024: ano base 2023**. Brasília: MME/EPE, 2024.
- IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Electricity 2025: Analysis and forecast to 2027**. Paris: IEA, 2024.
- JACOBI, Pedro Roberto; CIBIM, Juliana, LEÃO, Renata de Souza. Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. **Estudos Avançados, São Paulo**, v. **29**, n. **84**, 2015.
- KASVI, E.; LOTSARI, E.; KUMPUMÄKI, M.; DUBROVIN, T.; VEIJALAINEN, N. Effects of Climate Change and Flow Regulation on the Flow Characteristics of a Low-Relief River within Southern Boreal Climate Area. **Water** v. **11**, n. **1827**, 2019.
- MICHELS-BRITO, A.; RODRIGUEZ, D. A.; CRUZ JUNIOR, W. L.; VIANNA, J. N. S. The climate change potential effects on the run-of-river plant and the environmental and economic dimensions of sustainability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. **147**, 2021.
- MORETTO, E. M.; GOMES, C. S.; ROQUETTI, D. R.; JORDÃO, C. O. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica. **Ambiente & Sociedade, Campinas**, v. **15**, n. **3**, p. **141–164**, 2012.
- ZHAI, M. Y.; LIN, Q. G.; HUANG, G. H.; ZHU, L.; AN, K.; LI, C. G.; HUANG, Y. F. Adaptation of cascade hydropower station scheduling on a headwater stream of the Yangtze River under changing climate conditions. **Water**, v. **9**, n. **4**, 2017.



XII
ENANPPAS

ENCONTRO NACIONAL
DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
EM AMBIENTE E SOCIEDADE

**COP30: ENFRENTAMENTOS ÀS
DESIGUALDADES SOCIAIS
E EMERGÊNCIA CLIMÁTICA**

Apoio:



Realização:



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
SUSTENTABILIDADE



Financiamento:

