



PRODUÇÃO DE ENERGIA E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS: UMA ÊNFASE PARA A REGIÃO HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO

Israel de Oliveira Junior
Universidade do Estado da Bahia

Anderson de Jesus Pereira
Universidade Estadual Paulista

Philippe Damasceno Pedreira
Universidade Estadual de Feira de Santana

RESUMO

O desenvolvimento econômico nacional está associado à capacidade de garantir a oferta permanente de energia elétrica, e as discussões sobre as matrizes geradoras são pertinentes na atualidade devido à amplitude dos danos ambientais. Em vista disso, por este estudo, objetiva-se analisar a importância das usinas hidrelétricas no cenário brasileiro, de acordo com a delimitação das regiões hidrográficas, e enfatizar sobre as questões relacionadas às implicações ambientais, com destaque para a região hidrográfica do São Francisco, que é caracterizada pelo domínio do clima seco. A pesquisa pautou-se na análise de documentos institucionais, na revisão da literatura, na espacialização de dados por meio das geotecnologias e estudo em campo. A região hidrográfica Amazônica possui preponderância no número de usinas hidrelétricas, sendo que o maior potencial instalado se encontra no Sul do país, a exemplo da região hidrográfica do Paraná. No cenário de construção das obras de infraestruturas, quase a totalidade do tipo de barragens com reservatório, a observação dos danos ambientais é secundária, e as tentativas de contornar as problemáticas são realizadas por meio de ações remediáveis. Na região hidrográfica do São Francisco, a alteração natural dos cursos de rios para a formação de barragens e hidrelétricas é uma causa surpreendente de conflitos ambientais, em razão das mudanças impostas no uso da terra e deslocamento forçado das populações. Ainda, intensificam os fatores de degradação ambiental, como a erosão eólica, muito comum em áreas de solos frágeis, de vulnerabilidade à desertificação.

Palavras-chave: barragem, usinas hidrelétricas, impactos ambientais.

ENERGY PRODUCTION AND ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS: AN EMPHASIS FOR THE SÃO FRANCISCO HYDROGRAPHIC REGION

ABSTRACT

The national economic development is associated with the ability to guarantee the permanent supply of electricity, and discussions about generating matrices are relevant today due to the extent of environmental damage. On that account, this study aims to

analyze the importance of hydroelectric plants in the Brazilian scenario, according to the delimitation of hydrographic regions, and to emphasize on issues related to environmental intentions, with emphasis on the São Francisco hydrographic region, which is characterized by the dry climate. The research was based on the analysis of institutional documents, the literature review, the spatialization of data through geotechnologies and field study. The Amazon hydrographic region has a preponderance in the number of hydroelectric plants, with the greatest installed potential ones being found in the south of the country, as in the Paraná hydrographic region. In this infrastructure construction scenario works, almost the total types of dams with reservoirs, the observation of environmental damage is secondary, and attempts to circumvent the problems are carried out through remedial actions. In the São Francisco hydrographic region, the natural alteration of river courses for the formation of dams and hydroelectric plants is a surprising cause of environmental conflicts, due to changes imposed in land use and forced displacement of the needy. They also intensify the factors of environmental degradation, such as the wind risk, very common in areas with resistant soils, vulnerable to desertification.

Keywords: dam, hydroelectric plants, environmental impacts.

INTRODUÇÃO

O Brasil é caracterizado por uma riqueza hídrica composta, em grande parte, por águas superficiais. Elas derivam de uma abundante rede de drenagens, em virtude da extensão e posição geográfica do território nacional, que conferem uma diversidade de paisagens. Essas encontram-se inseridas em tipologias climáticas diferenciadas, a exemplo dos climas Equatorial e Tropical semiárido, que influenciam nos aspectos particulares para a dinâmica dos rios, sobretudo em relação à vazão e aos regimes.

As águas das chuvas superficialmente escoadas são drenadas por ravinas, canais e tributários para um curso principal, seguindo a lógica da declividade, do interflúvio para o ponto mais baixo do relevo, e formam uma bacia hidrográfica (ROCHA; KURTZ, 2009). O Brasil possui numerosas bacias hidrográficas, de variadas extensões, muitas das quais constituídas por tantas outras sub-bacias, que conferem uma heterogeneidade paisagística.

Uma bacia, um grupo de bacias e/ou de sub-bacias contíguas no território brasileiro formam uma região hidrográfica, que abarca peculiaridades ambientais homogêneas ou similares (IBGE, 2021). A região hidrográfica compreende o sistema ambiental utilizado para orientar a gestão dos recursos hídricos no país (IBGE, 2021). Por isso, entende-se que ela não se refere apenas a um sistema físico-natural. Nela a sociedade organiza a vida, interage, altera os objetos técnicos, extrai os recursos necessários para o desenvolvimento das atividades econômicas. Assim, os processos decorrentes no sistema de uma bacia e, neste caso, de uma região hidrográfica, estarão representados no exutório, pois correspondem às consequências da ocupação territorial e da utilização da água (PORTO; PORTO, 2008).

Diante do uso múltiplo das águas e dos demais recursos das regiões hidrográficas, há uma necessidade de considerá-las como um sistema integrado constituído por elementos e processos físicos, sociais, econômicos e culturais (SILVA *et al.*, 2011; CARVALHO, 2020; LOPES *et al.*, 2020). O manejo integrado dos elementos que as formam possibilita evitar problemáticas oriundas da incompatibilidade entre o uso e a capacidade de manutenção do equilíbrio ambiental.

No entanto, é comum verificar os conflitos ambientais decorrentes da divergência entre os usos e as dimensões físico-natural e territorial, que interferem na distribuição, na técnica de utilização e no acesso à água (GUSMÃO *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2019; LOPES *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2021; ARAÚJO *et al.*, 2023; MACIEL; MASULLO, 2023). Com isso, há comprometimento da quantidade e da qualidade da água, bem como das características dos canais de drenagem, que evidenciam os cenários de degradação (CARVALHO, 2020).

A construção e operação de barragens integra um dos principais fatores de conflitos ambientais no Brasil. Os impactos estendem-se pela área inundada pelo reservatório e pelos riscos provenientes das obras (VELENCIO; GONÇALVES, 2006; VELENCIO, 2019). Impõem uma reestruturação territorial, ao comprometer o uso da terra e ao deslocar, ou mesmo, expulsar populações (GERMANI, 2003). Com isso, é pauta de discussão entre diversos pesquisadores, que analisam os sentidos potenciais e conflituais do empreendimento, a exemplo de Lomba e Schweitzer (2022), Soares e Carvalho (2022), Winckler e Renk (2022), Ferreira *et al.* (2023) e Zucareli e Zhouiri (2023).

A regularização do regime fluvial e o aproveitamento do potencial hidrelétrico são alguns dos principais propósitos da construção de barragens no Brasil. Elas estocam mais do que água e geram mais do que energia, elas simbolizam progresso no imaginário coletivo (VALÊNCIO e GONÇALVES, 2006). As hidrelétricas são obras de importância para o Brasil, pois são consideradas energia limpa, renovável e de grande participação na matriz energética do país. Todavia, a geração de energia conflita com usos múltiplos, com os ecossistemas, com questões sociais, econômicas e culturais (BRITO e DRUMMOND, 2022).

Por meio da elaboração deste texto, objetivou-se realizar uma abordagem crítica sobre a importância das usinas hidrelétricas no contexto desenvolvimentista e ambiental brasileiro, com ênfase para a região hidrográfica do São Francisco. Para tanto, nas seções, discutem-se sobre a produção de energia elétrica no Brasil e as situações encontradas nas regiões hidrográficas; as implicações ambientais decorrentes da implantação e operação das usinas hidrelétricas na região hidrográfica do São Francisco.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Área de estudo

O trabalho foi primeiramente composto por uma análise geral das regiões hidrográficas brasileiras, para enfatizar a diversidade de paisagens. No Brasil,

dispõem-se doze regiões hidrográficas, particularizadas por uma riqueza de ambientes. Em geral, predominam a distribuição de índices elevados de pluviosidade, maiormente acima dos 1.500mm, o que torna um fator essencial para a riqueza hídrica (CUNHA, 2011). Mas há outras situações, como as verificadas em áreas dominadas pelo clima Tropical semiárido, onde se encontram baixos índices, muitas vezes abaixo dos 500mm, como em Petrolina-PE, no Vale do Rio São Francisco (INMET, 2010).

Na pesquisa, a ênfase foi atribuída para a região hidrográfica do São Francisco, em função das características ambientais. A área encontra-se localizada entre os estados de Alagoas, Bahia, Minas Gerais, Pernambuco e Sergipe. O clima Tropical semiárido domina a região, marcado por sete meses secos; há áreas, como no norte do estado da Bahia, em que há mais rigorosidade das condições climáticas devido à ocorrência de nove meses secos (IBGE, 2019) e maior probabilidade de ocorrência do fenômeno das secas.

Os principais compartimentos geomorfológicos são as depressões, seguidas pelas Serras, que se dispersam pelo centro (IBGE, 2012). Predominam rios com regimes temporários e intermitentes, sobretudo na margem direita do vale do São Francisco, e com drenagem exorréica, todas voltadas para o Oceano Atlântico. Em muitas áreas, ainda se desenvolvem a Formação savânica, mas a Agricultura e Pastagem têm se estendido para as áreas mais úmidas, como nos vales dos principais rios da região, a exemplo do São Francisco, rio Formoso, rio Grande, rio Carinhanha e rio Salitre (PROJETO MAPBIOMAS, 2022), onde também se situam perímetros irrigados de fruticultura e de grãos do agronegócio.

Na atualidade, a transposição do rio São Francisco constitui a obra de maior destaque em infraestrutura, com a figura governamental de levar água para “amenizar o sofrimento das populações mais castigadas” pelo fenômeno da seca (BRASIL, 2021, s.p).

Materiais e método

A pesquisa pautou-se na utilização, de maneira simultânea, da revisão bibliográfica, análise de documentos e aplicação de técnicas de geoprocessamento. Realizou-se uma pesquisa em base de dados cientificamente especializados (SCOPUS, SCIELO e Periódicos Capes) e no *site* de busca do Google Scholar para obter dados sobre a temática. Para tanto, buscaram-se textos pelo uso de termos, muitas vezes associados, a exemplo de energia hidrelétrica, Rio São Francisco, produção de energia e regiões hidrográficas. Dessa forma, observaram-se as publicações e as lacunas sobre o assunto.

No processo de análise de documento, obtiveram-se dados sobre produção de energia hidrelétrica no Brasil e nas regiões hidrográficas, a fim de analisar as informações institucionais. Definiram-se ANEEL (2017) e BRASIL (2020) como fonte de pesquisa, por constituírem-se de publicações com dados atualizados

relacionados à produção de energia e que projetasse a análise ambiental por região hidrográfica.

Na pesquisa, efetuou-se uma análise de informações para compor um banco de dados em formato de sistema de informações geográficas (SIG). Adquiriram-se arquivos em formato vetorial relacionados aos dados físicos das regiões hidrográficas, como clima (IBGE, 2006), relevo (IBGE, 2012) e hidrografia (ANA, 2017; PROJETO MAPBIOMAS, 2022); os limites das regiões hidrográficas brasileiras (ANA, 2021); e produção de energia hidrelétrica (ANA, 2020).

Os dados foram espacializados por regiões hidrográficas, com ênfase para a região hidrográfica do São Francisco, em busca de averiguar as implicações ambientais da produção hidrelétrica em domínios ambientais de clima seco. Para efeito de análise e sistematização dos dados, elaborou-se tabelas, mapas e gráficos. Por fim, ocorreu um estudo de campo, em que se preencheram fichas com informações ambientais, atreladas às coordenadas geográficas obtidas pelo Global Navigation Satellite System (GNSS) para integração dos dados ao SIG da pesquisa.

PANORAMA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL E O CONTEXTO DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS

A possibilidade de desenvolvimento econômico de um país está atrelada à capacidade de garantir a oferta contínua de energia elétrica para que haja expansão da produção (TOLMASQUIM, 2012). Atualmente, existe uma discussão em torno das matrizes energéticas, em função das implicações ambientais decorrentes da implantação, operação e dos resíduos decorrentes (FRAGOMENI e GOELLNER, 2009; GOLDEMBERG e LUCON, 2007; QUEIROZ, 2013; GRANZIERA, 2015; ALVES e TEIXEIRA, 2021; ZANATTA e MACIEL, 2021). As usinas hidrelétricas produzem combustíveis de energias renováveis, e o Brasil é considerado uma potência na área (TOLMASQUIM, 2012).

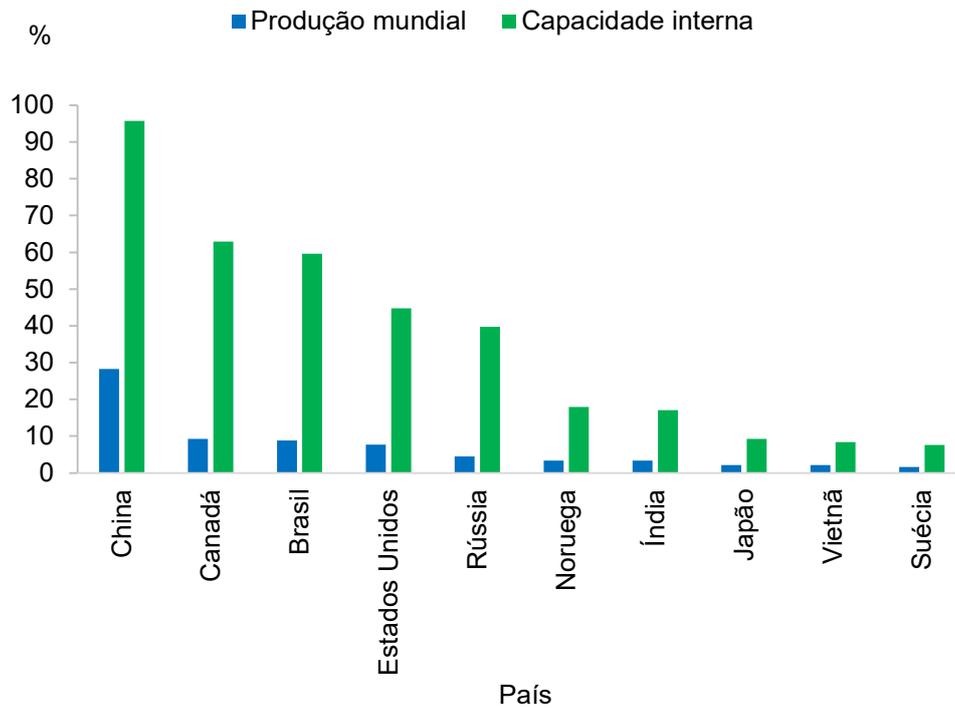
Entre os grandes produtores mundiais de energia por meio de hidrelétricas, o Brasil encontra-se atrás, apenas, da China e do Canadá no volume de produção (Figura 1) (BRASIL, 2020). Ele contribui com cerca 8,8% da totalidade. É o segundo país que tem a maior capacidade hidrelétrica instalada com base na produção interna, com dados em torno dos 63%. A Noruega é o primeiro, que se aproxima dos 96%.

A matriz energética brasileira é praticamente de origem renovável, e evidencia, com destaque, a fonte hídrica, por corresponder em cerca de 65% da totalidade da oferta nacional (Figura 2). No cenário mundial, as matrizes energéticas são oriundas, sobretudo, de combustíveis fósseis.

A capacidade total instalada de energia produzida por hidrelétrica corresponde a 109.058MW no Brasil. A região que detém os maiores índices corresponde ao Norte (Figura 3), onde domina a localização da região hidrográfica Amazônica. Esses números são acompanhados pelas grandes regiões Sul e Sudeste. O Norte e Centro-Oeste são aqueles que têm as menores proporções de potencial hidráulico em operação. Em relação a esse índice, o maior número acha-se no Sul, seguido pelo

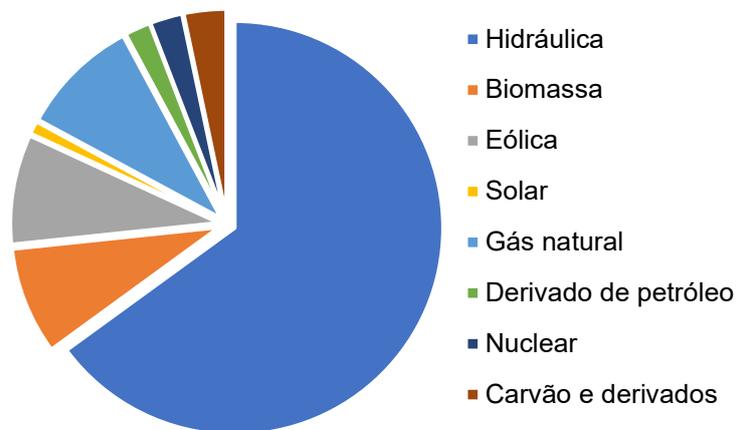
Sudeste. O potencial hidrelétrico condiz com a possibilidade técnica e econômica aproveitada diante das condições tecnológicas existentes.

Figura 1 – Geração de energia hidrelétrica: produção no contexto mundial e capacidade interna instalada – em percentagem.



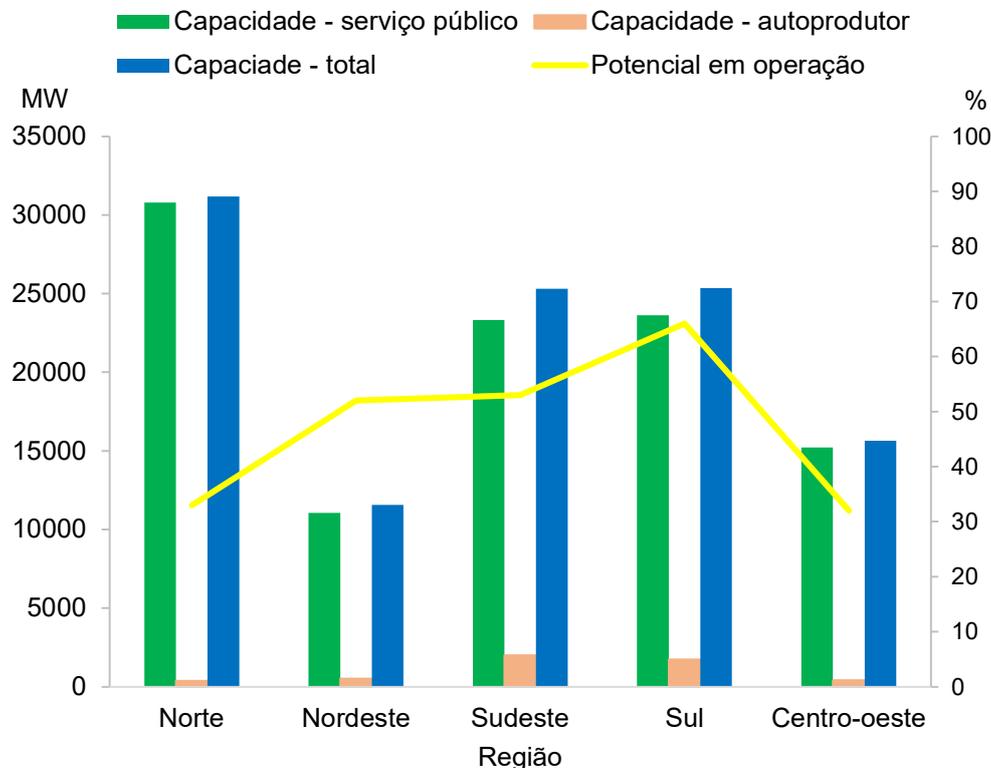
Fonte: Brasil (2020). Elaboração: Autores (2023).

Figura 2 – Repartição da oferta interna brasileira de energia elétrica em 2019 – em percentagem.



Fonte: Brasil (2020). Elaboração: Autores (2023).

Figura 3 – Capacidade instalada de geração de energia hidrelétrica (MW) e potencial hidráulico em operação (%) – grandes regiões brasileiras.



Fonte: Brasil (2020). Elaboração: Autores (2023).

Os dados apresentados demonstram a relevância discursiva sobre a situação das hidrelétricas no espaço brasileiro e, por conseguinte, sobre as características das regiões hidrográficas. São informações importantes para abordar questões relativas à geração potencial de energia elétrica e enfatizar sobre os custos ambientais em virtude dos danos causados no processo e implantação e operação das hidrelétricas.

As regiões hidrográficas retratam a dinâmica e complexidade das paisagens brasileiras. No total, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) delimitou doze (Figura 4) (IBGE, 2021). A mais extensa é a Amazônica, que representa 45,32% da soma de todas encontradas. Nela predomina topografia plana, o que proporciona a redução da velocidade das águas, origina rios de padrão meândrico e a existência de lagoas marginais e campos de inundação (CUNHA, 2010). O rio Amazonas constitui o principal, que é o mais extenso e volumoso rio do mundo.

Em extensão, os números são seguidos pelas regiões hidrográficas do Tocantins-Araguaia, Paraná e São Francisco (Figura 4). A última encontra-se situada nos estados de Minas Gerais, Pernambuco, Sergipe, Alagoas e, em maior proporção,

Bahia. Na margem principal do rio São Francisco domina o clima Tropical semiárido, demarcado pelas estiagens pluviométricas em cerca de oito meses e probabilidade de ocorrências recorrentes de secas.

Figura 4 – Regiões hidrográficas brasileiras e usinas hidroelétricas em operação e em processo de instalação.

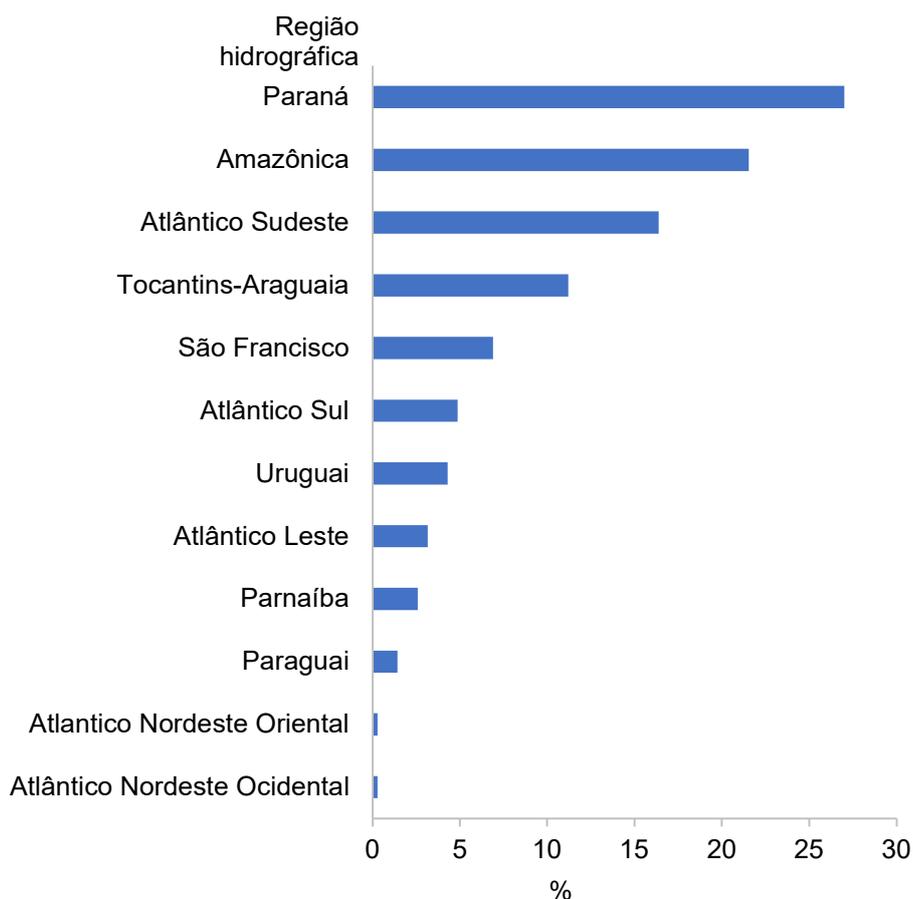


Elaboração: Autores (2023).

No território brasileiro, são encontradas 348 usinas hidrelétricas (Figura 4). O maior número delas é detectado na região hidrográfica Paraná, que possui 27% da completude (Figura 5). Esse volume é acompanhado, em ordem, pelas regiões

hidrográficas Amazônica e Atlântico Sudeste. A menor quantidade situa-se na Atlântico Nordeste Ocidental e Atlântico Nordeste Oriental, pois, em cada, localiza-se apenas uma.

Figura 5 – Distribuição das usinas hidrelétricas em percentual – regiões hidrográficas brasileiras.



Fonte: ANEEL (2020). Elaboração: Autores (2023).

As três maiores usinas hidrelétricas em território brasileiro são a de Itaipu, Belo Monte e Tucuruí. A primeira encontra-se localizada na região hidrográfica Paraná, nos limites territoriais entre Brasil e Paraguai, e foi construída pelos dois referidos países a partir de 1975, por isso é denominada Itaipu Binacional (ROOS, 2012). Ela é líder na produção de energia renovável do mundo (ITAIPU BINACIONAL, 2017). A construção do reservatório transformou um grande rio em um enorme lago, que implicou em alterações ambientais e sociais severas.

Os ideais desenvolvimentistas da época favoreceram a construção, uma das maiores obras de engenharia da época (ROOS, 2012). Todavia, não foram mensurados, de forma concreta, os possíveis danos que causariam ao meio

ambiente e à sociedade, pois a “razão primordial da Itaipu Binacional era a geração de energia. Minimizar as consequências do empreendimento era um objetivo secundário” (ZIOBER; ZANIRATO, 2014, p. 62). A situação foi tão calamitosa, que, no processo de formação do lago, as águas subiram rapidamente e os agentes da empresa correram para capturar e salvar os animais pertencentes à Mata Atlântica (ROOS, 2012). O aumento da oferta de mão de obra e a consequente imigração ocasionaram o surgimento de vilarejos sem estrutura adequada de saneamento ambiental, de circulação das pessoas e extinção de inúmeras propriedades rurais (TERRIN; BLANCHET, 2019).

A formação do lago projetou alterações microclimáticas, no ciclo hidrológico, na vegetação, na fauna, no uso do solo, processos erosivos, assoreamento, contaminação das águas (ROOS, 2012), além dos impactos sociais causados na dinâmica urbana local (MAGALHÃES JUNIOR *et al.*, 2016). Um dos mais sentidos no contexto nacional foi o fechamento do Parque Nacional e o desaparecimento das Sete Quedas em 1982, a maior cachoeira, na época, em volume de água do mundo (ROOS, 2012). Hoje, há iniciativas da empresa, em vista de compensar os impactos ambientais negativos na fase de instalação da hidrelétrica (ROOS, 2012; ITAIPU BINACIONAL, 2017).

A edificação da hidrelétrica Tucuruí bloqueou o rio Tocantins e inundou 2.430km² de florestas do bioma amazônico. O estudo da hidrelétrica indica uma “sobre-estimativa sistemática dos benefícios e uma subestimativa dos impactos pelas autoridades” (FEARNSIDE, 2015a, p. 38). As problemáticas ambientais eram tão evidentes e desprezadas pelo governo brasileiro e pela empresa responsável, as Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE), que o Tribunal Internacional das Águas condenou o governo pela obra em 1991 (FEARNSIDE, 2015a).

A inexistência de estudos ambientais gerou profundos impactos negativos, que ultrapassaram o tempo e ainda são vivenciados (FEARNSIDE, 2015a). Ocasinou o deslocamento forçado de 32 mil pessoas (SEQUEIRA, 2017), inclusive daquelas pertencentes às comunidades tradicionais, como indígenas e ribeirinhos (FEARNSIDE, 2015a). Parte desses números encontrou-se associada à proliferação do mosquito *Mansonia*, que se tornou uma verdadeira praga. Houve o desaparecimento da pescaria à jusante, alto custo financeiro e uma quantidade irrisória de empregos associados às obras (FEARNSIDE, 2015a). A contaminação por mercúrio trouxe consequências sérias a saúde pública para a população local e consumidores de peixes nos centros urbanos (FEARNSIDE, 2015b).

A construção da usina hidrelétrica de Belo Monte na região hidrográfica Amazônica decorreu em meio a tantos protestos, em função dos impactos sociais e ambientais. O rio Xingu foi desviado para a formação dos grandes reservatórios, que gerou danos ao ecossistema, como o desmatamento de extensas áreas, perda de habitat, da biodiversidade e aumento da exploração ilegal de madeira (COSTA *et al.*, 2019). Ademais, intensificou a vulnerabilidade das comunidades tradicionais em função da iminente ameaça em torno do processo de desterritorialização, já que facilitou o represamento à jusante da hidrelétrica, em pleno território indígena (FEARNSIDE, 2015c; FAINGUELERNT, 2016). Com isso, há um questionamento sobre a relevância

da obra, pois não há evidências se a capacidade produtiva sobressairá em relação aos custos financeiros, ambientais e sociais (FLEURYI e ALMEIDA, 2013; FEARNSIDE, 2015).

A usina aludida iniciou plena operação no final do ano de 2019, após início das obras em 2011 (FAINGUELERNT, 2016). A capacidade instalada é de 11.233,1MW, com possibilidades de atender 10% da demanda nacional (NORTE ENERGIA, 2019). A quantidade média de geração de energia é de 4.571MW, dados que a caracteriza como a maior usina totalmente brasileira em operação e a quarta do mundo (NORTE ENERGIA, 2019). O contrato de 35 anos de funcionamento de operação da Belo Monte foi arrematado no ano de 2010 por meio de leilão pelo consórcio Norte Energia, o qual começou a vigorar em agosto do mesmo ano (ANEEL, 2010).

USINAS HIDRELÉTRICAS E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS: A REGIÃO HIDROGRÁFICA DO SÃO FRANCISCO

A região hidrográfica do rio São Francisco ocupa 7,5% do território nacional e abrange os estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás, Distrito Federal, Pernambuco, Sergipe e Alagoas (Figura 6). O principal rio é o São Francisco, que nasce na Serra da Canastra, no estado mineiro, e deságua, na forma de estuário, no Oceano Atlântico, entre os estados alagoano e sergipano. Este é o quinto maior rio brasileiro e o 18º mundial (HERMUCHE, 2000).

A precipitação pluviométrica na região é abaixo da média nacional e, na margem direita, onde domina o clima Tropical semiárido, apresenta situações de escassez hídrica, que repercutem na vazão do rio, sobretudo, no período das estiagens pluviométricas e das secas. Com isso, grande parte dos rios que compõem a bacia hidrográfica possui regime intermitente ou efêmero (Figura 6).

O escoamento das águas dos rios efêmeros depende da ocorrência das chuvas torrenciais; quando elas cessam, os rios imediatamente secam. Os rios intermitentes originam-se de fonte superficial e subsuperficial. As estiagens ou os baixos índices pluviométricos geralmente interrompem as fontes hídricas subsuperficial e tornam os leitos dos rios secos. Evidencia-se, assim, que a dinâmica da vazão dos rios da bacia hidrográfica encontra-se essencialmente ligada aos ritmos de sazonalidade climática regional (AB'SABER, 2012).

Distribui-se, ao longo da região hidrográfica, 503 municípios e uma população de 14,3 milhões de habitantes (IBGE, 2010). As maiores demandas de uso das águas correspondem à irrigação, urbana e industrial, com valores respectivos em relação à totalidade de 77%, 11% e 7% (ANA, 2015).

A respeito da produção de energia elétrica, a região possui importância, pois corresponde a 12% do potencial hidrelétrico instalado no país (ANA, 2015), aproveitados nos 14 sistema em operação, três em pequenas centrais hidrelétricas (140MW) e onze em usinas hidrelétricas (8.694.408KW) (ANEEL, 2020) (Figura 6). No contexto desses números, destacam-se as usinas de Xingó (3.162.000KW), Paulo

O aproveitamento hidrelétrico da região hidrográfica São Francisco corresponde com o suprimento de energia elétrica para todo o Nordeste. Há uma busca de expansão das hidrelétricas, visto que muitas estão em fase de instalação, como aponta os dados atualizados da ANEEL (2020). No tocante das usinas hidrelétricas, uma está com registro ativo e doze encontram-se em situação de eixo disponível, que se refere ao empreendimento identificado em inventário hidrelétrico aprovado ao interessado em realizar estudos (ANEEL, 2017). Sobre as pequenas centrais hidrelétricas, oito possuem obtenção de outorga de autorização para posterior construção; 34 em eixo disponível; uma extinta; uma em construção não iniciada e uma com projeto básico aprovado. Grande parte desses números distribui-se no norte de Minas Gerais e Oeste da Bahia.

A predominância das tipologias de usinas hidrelétricas na região é de barragens com reservatórios, caracterizadas pelo controle de cheias e regulação dos rios à jusante delas, e barragens sem reservatório, denominadas como usinas de fio de água (LERNER, 2006). As represas Três Marias e Sobradinho exercem papel importante no controle das vazões e, por isso, possibilitam a produção de energia durante todo ano à jusante da última, nas usinas de Paulo Afonso I, Paulo Afonso II, Paulo Afonso III, Paulo Afonso IV, Sobradinho e Xingó.

O barramento das águas do rio São Francisco para controle da vazão e produção de energia elétrica gerou diversos impactos ambientais no sistema da bacia hidrográfica. As modificações substanciais no regime das vazões decorreram após a construção das hidrelétricas Três Marias (1952) e Sobradinho (1979) e, mais recentemente, de Xingó (1994), que até hoje causam conflitos no uso dos recursos hídricos, pois alterou drasticamente o desenvolvimento de atividades tradicionais das populações ribeirinhas, como pesca, navegação e agricultura (MARTINS *et al.*, 2011). Ainda, transformou as características das águas, a exemplo da quantidade de nutrientes no sedimento e turbidez, que desestimulam a reprodução, repercutem na diminuição da população e geram a extinção de peixes (HOLANDA *et al.*, 2009).

Nas margens do lago de Itaparica, na altura do município de Rodelas-BA, a formação do grande espelho de água após barramento das águas do Rio São Francisco potencializou a erosão eólica. As características ambientais, como solos formados por materiais altamente arenosos e sem coesão, vegetação arbustiva, de baixa densidade e hiperxerófila e o uso da terra, ampliado pelas práticas de irrigação, tornaram a área altamente vulnerável à desertificação (OLIVEIRA JUNIOR, *et al.*, 2020). No deserto de Surubabel, a intensificação da erosão eólica resulta em formação de dunas com mais de cinco metros de altura (PAIVA *et al.*, 2007), observáveis na Figura 7. A área é utilizada, ainda, para a pastagem caprina e agricultura irrigada, onde se plantam frutíferas, como a melancia e o coco.

Houve uma alteração no regime hídrico no baixo curso do rio São Francisco, que decorreu no avanço dos processos de erosão, “através do solapamento da base do talude marginal, devido ao abaixamento do nível de água e do desmatamento da vegetação ripária” (HOLANDA *et al.*, 2008, p. 571). A regularização da vazão do rio alterou o processo de inundação natural das lagoas marginais, muitas vezes o

interrompendo, e impactou no desaparecimento de espécies que não se adaptaram às novas condições ambientais de nutrientes, temperatura da água, vegetação, espelho de água e outras (ARAÚJO *et al.*, 2016).

Figura 7 – Deserto de Surubabel, margem do lago de Itaparica, bacia do rio São Francisco, no município de Rodelas-BA.



Fonte: Autores (2018).

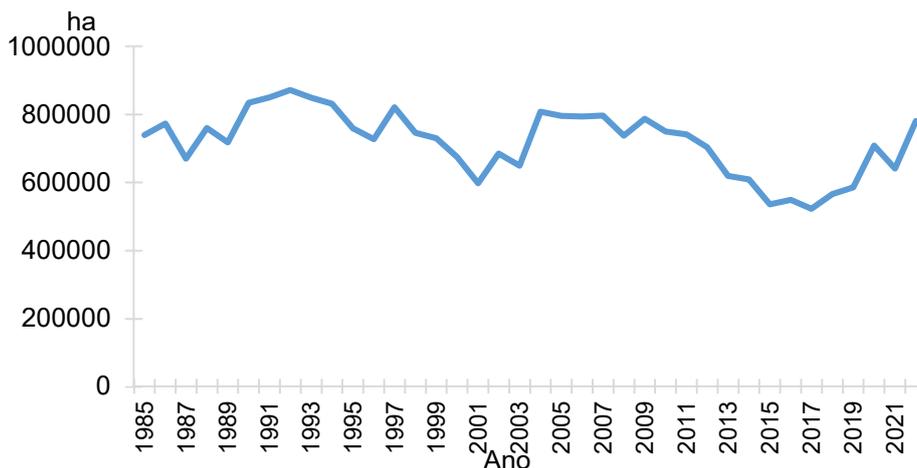
O regime atual definido para regularizar a vazão do rio para a produção de energia é um potencial conflito entre o abastecimento público, as atividades agrícolas irrigadas e a vazão ambiental (MARTINS *et al.*, 2011). Um dos objetivos é garantir a produção contínua de energia elétrica, para atender as necessidades energéticas do sistema que a usina se encontra conectada (VASCO *et al.*, 2017).

A abrangência do clima Tropical semiárido, torna a água um elemento essencial na análise das condições ambientais na bacia hidrográfica. A sazonalidade climática e a ocorrência do fenômeno da seca impactam diretamente no volume e extensão do conteúdo hídrico superficial, conforme pode ser observado na Figura 8, que repercutem na dimensão da produção energética e demais usos.

A superfície de água foi ampliada em alguns anos, como entre 1990 e 1994, pois os índices pluviométricos foram intensos; em outros, houve reduções bruscas, a exemplo de 2015 a 2019, em que apresentam os menores índices (Figura 8). Verifica-se uma diminuição contínua da extensão superficial hídrica no bioma entre

os anos de 2008 e 2017. Oliveira Junior *et al.* (2018) identificaram a ocorrência do fenômeno da seca em municípios da bacia hidrográfica do Rio São Francisco no estado da Bahia a partir do ano de 2011, que ocasionou sérias perdas na produção agrícola e pecuária.

Figura 8 – Série temporal da superfície hídrica: bacia do Rio São Francisco – 1985-2022.



Fonte: Projeto MAPBIOMAS (2023). Elaboração: Autores (2023).

Em 2017, no maior lago da bacia hidrográfica, o de Sobradinho, evidenciou-se a menor amplitude espacial da água em superfície entre os anos monitorados (PROJETO MAPBIOMAS, 2023). Desde o início da década de 2010, o fenômeno da seca reduziu o volume de água para menos de 5% da capacidade total de armazenamento, e a barragem de Sobradinho chegou ao volume morto. As demais barragens da bacia hidrográfica encontraram-se em situações semelhantes (SIQUEIRA FILHO *et al.*, 2015), o que impactou diretamente na produção de energia hidroelétrica, e foi necessário acionar termelétricas (SILVA; LIMA JÚNIOR, 2020).

Em 2021, há uma recuperação considerável do volume, chegando a 47% do total, e projetou cenários de mudanças positivas na produção energética (ACIOLI, 2021). A barragem de Sobradinho é de importância para a atividade, pois alimenta uma série de hidrelétricas à jusante, como a do Complexo de Paulo Afonso e de Xingó. Pensar sobre a gestão das hidrelétricas atuais e sobre novas instalações na bacia hidrográfica do São Francisco requisita pesquisas para considerar as peculiares ambientais, em vista das condições climáticas dominantes e dos impactos ambientais expressivos e acometidos às populações que das águas sobrevivem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados analisados propõem indicar, comumente, a desvinculação da dimensão ambiental e social na implantação das hidrelétricas para atender os planos desenvolvimentistas no viés econômico brasileiro. A energia elétrica é um bem

necessário para o progresso do país. No entanto, a produção dela não deve encontrar-se associada, apenas, ao aumento do PIB nacional.

A economia deve manter-se conectada à dimensão social e ambiental, no intuito de projetar a sustentabilidade do desenvolvimento. Deve-se evitar a distorção dos dados relacionados aos impactos das hidrelétricas e do consequente barramento das águas dos canais fluviais, que influi na ordem física e biológica ambiental, bem como na dimensão social. Há uma geração de conflitos intensos e contínuos no uso das águas, deslocamento forçado de comunidades, como as tradicionais, bem como ameaças excessivas dos processos democráticos de gestão dos recursos hídricos.

A discussão acerca da problemática ambiental, associada aos rumos desenvolvimentistas, deve priorizar reflexões relacionadas aos ideais de sustentabilidade. As ações devem englobar, de forma democrática, todos os envolvidos nas instalações de hidrelétricas.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 7. ed. Cotia: Ateliê, 2012.
- ACIOLI, N. Reservatório de Sobradinho tem volume útil de 47% em agosto; menor índice no mesmo período ocorreu em 2017 durante seca. **G1**, 22 set. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/>. Acesso em: 28 jan. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Base hidrográfica ottocodificada multiescalas**. Brasília, DF: ANA, 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Divisão de bacias hidrográficas**. Brasília, DF: ANA, 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Hidroeletricidade**. Brasília, DF: ANA, 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Consórcio Norte Energia vence o leilão de energia da Usina Hidrelétrica Belo Monte. **ANEEL**, 2010. Disponível: < <https://www.aneel.gov.br/> >. Acesso em: 15 nov. 2020.
- ALVES, V. O.; TEIXEIRA, M. G. C. Contribuições dos repertórios de ações coletivas na organização das populações atingidas por barragens: um estudo da Usina Hidrelétrica de Itapebi. **Organizações & Sociedade**, v. 28, n. 98, 2021. DOI: 10.1590/1984-92302021v28n9809PT.
- ANEEL. **Aproveitamentos Hidrelétricos São Paulo**. Brasília, DF: ANEEL, 2017.
- ARAÚJO, J. M.; RIBEIRO, M. M. R.; MEDEIROS, Y. D. P.; SILVA, M. B. M. Governança dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Salitre-BA: análise sob a perspectiva do ciclo adaptativo. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 20, e2., 2023. DOI: 10.21168/rega.v20e2.

ARAUJO, S. S.; AGUIAR NETO, A. O.; SALES, J. M. J. O peixe, o pescador e a barragem de Xingó no Baixo São Francisco em Sergipe e Alagoas no Brasil. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa e Inovação**, v. 2, n. 1, p. 1-14, 2016.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional 2020**: Ano base 2019. Rio de Janeiro: EPE, 2020.

BRASIL. Projeto de Integração do Rio São Francisco. **Ministério de Desenvolvimento Regional**, 30 mar. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/>. Acesso em: 17 mar. 2022.

BRITO, D. M. C.; DRUMMOND, J. A. L. Aspectos socioambientais e socioterritoriais das comunidades atingidas por hidrelétricas no estado do Amapá. **Confins**, v. 57, s.p, 2022. DOI: 10.4000/confins.49060

Carvalho, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 42, p. 140-161, 2020.

COSTA, S. T. L.; TEIXEIRA, D. S.; FARIAS, L. J. S.; MARQUIORO, G. S.; ANDRANDE, S. M. S.; SILVA, J. A. D. Usina hidrelétrica de Belo Monte: análise multitemporal da produção de energia e impactos ambientais. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 1, p. 224- 237, 2019. DOI: 10.5380/rber.v8i1.55258.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. 6. ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 2010.

FAINGUELERNT, M. G. A trajetória histórica do processo de licenciamento ambiental da usina hidrelétrica de Belo Monte. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 2 p. 247-266, 2016. DOI: 10.1590/1809-4422ASOC0259R1V1922016.

FEARNSIDE, P. M. Barragens na Amazônia: Belo Monte e o Desenvolvimento Hidrelétrico da Bacia do Rio Xingu. *In*: FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia**: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras. Manaus: INPA, 2015c. p. 231-243.

FEARNSIDE, P. M. Impactos ambientais da barragem de Tucuruí: lições ainda não aprendidas para o desenvolvimento hidrelétrico na Amazônia. *In*: FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia**: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras. Manaus: INPA, 2015a. p. 53-74.

FEARNSIDE, P. M. Impactos sociais da hidrelétrica de Tucuruí. *In*: FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia**: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras. Manaus: INPA, 2015b. p. 37-52.

FERREIRA, J. G; DANTAS, M. W. A. GOMES, M. F. B. Atores e causas do conflito ambiental no processo de construção da barragem de Oiticica, Rio Grande do Norte/Brasil. **Concilium**, v. 22, n. 4, p. 267-281, 2023. DOI: 10.53660/CLM-355-356

FLEURYI, L. C.; ALMEIDA, J. A construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte: conflito ambiental e o dilema do desenvolvimento. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 16, n. 4, p. 141-158, 2013. DOI: 10.1590/S1414-753X2013000400009.

FRAGOMENI, C.; GOELLNER, C. O impacto no meio ambiente pela atividade da geração de energia elétrica pelo uso de recursos hídricos. **Justiça do Direito**, v. 23, n. 1, p. 76-85, 2009.

GERMANI, G. I. **Expropriados: terra e água: o conflito de Itaipu**. 2. ed. ULBRA, 2003.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 7-20 2007.

GRANZIERA, M. L. M.; REI, F. (Orgs.). **Energia e meio ambiente: contribuições para o necessário diálogo**. Santos: Leopoldianum, 2015.

GUSMÃO, P. P.; PAVÃO, B. B. M. Gestão das águas, comitês de bacias hidrográficas e resolução de conflitos ambientais. **AMBIENTES**, v. 1, n. 2, p. 38-77, 2019. DOI: 10.48075/amb.v1i2.23032.

HERMUCHE, P. M. **O rio de São Francisco**. Brasília, DF: CODEVASF: 2000.

HOLANDA, F. S. R.; ISMERIM, S. S.; ROCHA, I. P.; JESUS, A. S. ARAUJO FILHO, R. N.; MELLO JÚNIOR, A. V. Environmental Perception of the São Francisco Riverine Population in Regards to Flood Impact. **Journal of Human Ecology**, v. 28, n. 1, p. 37-46, 2009. DOI: 10.1080/09709274.2009.11906216.

HOLANDA, F. S. R.; ROCHA, I. P.; OLIVEIRA, V. S. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 570-575, 2008. DOI: 10.1590/S1415-43662008000600002.

IBGE. Censo demográfico 2010. **IBGE**, 2010. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/> >. Acesso em: 15 jul. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de clima do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de climas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de Unidades de Relevo do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de Unidades de Relevo do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Normas climatológicas do Brasil: período de 1981-2010. **INMET**, s.d. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 3 jul. 2021.

ITAIPU BINACIONAL. **Binacional e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030**: relatório de síntese. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2020.

LERNER, G. L. S. **Estudo de impactos na geração hidroelétrica ao longo do rio São Francisco devido à transposição de suas águas utilizando modelo matemático de fluxos em rede ACQUANET**. Orientação: Lucio Guido Tapia Carpio. 2006.

Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

LOMBA, R. M.; SCHWEITZER, A. F. Disputas socioterritoriais no Amapá: conflitos por terra, água e florestas. **Confins**, v. 55, s.p, 2022. DOI: 10.4000/confins.46037.

LOPES, E. R. N.; SOUZA, J. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; LOURENÇO, R. W. Gestão de bacias hidrográficas na perspectiva espacial e socioambiental. **Economía, Sociedad y Territorio**, v. 20, n. 62, p. 1-23, 2020. DOI: 10.22136/est20201353.

MACIEL, D. S.; MASULLO, Y. A. G. A formação de hidroterritórios no Brasil e a reprodução de conflitos socioambientais no estado do Maranhão. **GEOSUL**, v. 38, n. 85, p. 160-183, 2023. DOI: 10.5007/2177-5230.2023.e92322.

MAGALHÃES JUNIOR, C. A. O.; LEITE, J. C.; CARMO, T.; ORTIZ, A. J Aspectos sociais na avaliação de impactos de construção de barragens em ambientes fluviais. **Valore**, v. 1, n. 1, p. 147-158, 2016. DOI: 10.22408/rev1120161147-158.

MARTINS, D. M. F.; CHAGAS, R. M.; MELO NETO, J. O; MÉLLO JUNIOR, A. V. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p. 1054-1061, 2011. DOI: 10.1590/S1415-43662011001000010.

NORTE ENERGIA. Belo Monte é inaugurada e está pronta para a plena operação. **NORTE ENERGIA**, 2019. Disponível em: < <https://www.norteenergiasa.com.br/> >. Acesso em: 15 nov. 2020.

PAIVA, A. Q.; ARAÚJO, Q. R.; GROSS, E.; COSTA, L. M. C. O deserto de Surubabel na Bahia. **Agrícola**, v.8, n. 1, p. 21-23, 2007.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 62, n. 63, p. 43-60, 2008. DOI: 10.1590/S0103-40142008000200004.

PROJETO MAPBIOMAS. Coleção 7 da série anual de mapas de uso e cobertura da terra do Brasil. **MAPBIOMAS**, 2022. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 15 fev. 2023.

PROJETO MAPBIOMAS. Coleção 1 da série anual do mapeamento de superfície de água no Brasil. **MAPBIOMAS**, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 15 mai. 2023.

QUEIROZ, R.; GRASSI, P.; LAZZARE, K.; KOPPE, E. TARTAS, B. R.; KEMERICH. Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais. **REGET**, v. 13, n. 13, p. 2774- 2784, 2013.

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. J. M. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. 4. ed. Santa Maria: UFSM, 2009.

ROOS, D. O lago de Itaipu e a problemática ambiental: uma análise crítica das questões ambientais na região de fronteira entre Brasil e Paraguai. **Geoaraguaia**, v. 2, n. 1, p 23-50, 2012.

SANTOS, L. A. C.; VIEIRA, L. M. F.; MARTINS, P. T. A.; FERREIRA, A. A. Conflitos de uso e cobertura do solo para o período de 1985 a 2017 na bacia hidrográfica do rio Caldas-GO. **Fronteiras**, v. 8, n. 2, p. 189-211, 2019. DOI: 10.21664/2238-8869.2019v8i1.p189-211.

SEQUEIRA, J. E. O. A. Estruturas de oportunidade legal dos movimentos anti-barragens no Pará. **Direito e Práxis**, v. 8, n. 1, p. 474-506, 2017. DOI: 10.12957/dep.2017.27769.

SILVA, F. L.; FUSHITA, A. T.; SANTINO, M. B. C.; BIANCHINI JÚNIOR, I.; VENEZIANI JÚNIOR, J. C. T. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.3, p. 1626-1653, 2021. DOI: 10.26848/rbgf.v14.3.p1626-1653.

SILVA, F. V. V.; LIMA JÚNIOR, C. Estudo da complementaridade dos recursos hídrico e eólico na região Vale do Submédio São Francisco. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 4, p. 451-459, 2020. DOI: 10.11137/2020_4_451_459.

SIQUEIRA FILHO, J.A.; CAMPELO, M. J. A.; NUNES, E. B.; BEZERRA, T. T.; SANTOS, D. F.; ALMEIDA, E. D. S.; OLIVEIRA, L. M. S. O Caos da biodiversidade do Rio São Francisco e a inércia da sociedade brasileira. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 18, p. 276–289. DOI: 10.21452/rde.v17nesp.4008.

SOARES, M. Y. T.; CARVALHO, R. G. Gestão dos recursos hídricos e conflitos no Semiárido: estudo do caso do açude Lucrécia, estado do Rio Grande do Norte. **GeoInterações**, v. 6, n. 1, p.57-76, 2022.

TERRIN, K. A. P.; BLANCHET, L. A. B. direito de energia e sustentabilidade: uma análise dos impactos negativos das usinas hidrelétricas no Brasil. **Videre**, v. 11, n. 22, 2019. DOI: 10.30612/videre.v11i22.11215.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 249-260, 2012. DOI: 10.1590/S0103-40142012000100017.

VALENCIO, N. F. L. S. Crises entretecidas por colapso de barragens: da reconexão de espaços às narrativas hesitantes. **Estudios Avanzados**, n. 31, p. 42-65, 2019. DOI: 10.35588/idea.v0i31.4274.

VALENCIO, N. F. L. S.; GONÇALVES, J. C. a convivência com os riscos relacionados às barragens no Semiárido. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 8, n. 1, p. 79-97, 2006.

VASCO, A. N.; AGUIAR NETTO, A. O.; PRUSKI, F. F. Impactos das barragens na disponibilidade hídrica do Nordeste do Brasil. **Revista Recursos Hídricos**, v. 38, n. 2, p. 39-49, 2017. DOI: 10.5894/rh38n2-cti1.

WINCKLER, S.; RENK, A. Hidronegócio e conflitos socioambientais no oeste de Santa Catarina. **História: Debate e Tendências**, v. 22, n. 3, p. 34-53, 2022. DOI: 10.5335/hdtv.22n.3.13811.

ZANATTA, S. C. S.; MACIEL, J. C. Pantanal ameaçado: a construção de represas e a insignificância da energia hídrica produzida. **Interações**, v. 22, n. 2, 2021. DOI: 10.20435/inter.v22i2.2811.

ZIOBER, B. R.; ZANIRATO, S. H. Ações para a salvaguarda da biodiversidade na construção da Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 1, 59-78, 2014.

ZUCARELI, M. C.; ZHOURI, A. pequenas barragens na política energética: notas sobre sustentabilidade e equidade socioambiental. **Mediações**, v. 28, n. 1, p. 1-23, 2023. DOI: 10.5433/2176-6665.2023v28n1e46852.

Contato com o autor: iojjunior@gmail.com

Recebido em: 27/06/2023

Aprovado em: 09/06/2024