Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

SECAS E CRISES HÍDRICAS NO SUDESTE DO BRASIL: UM HISTÓRICO COMPARATIVO ENTRE OS EVENTOS DE 2001, 2014 E 2021 COM ENFOQUE NA BACIA DO RIO PARANÁ

Droughts and water crises in Southeastern Brazil: a comparison history among the events of 2001, 2014 and 2021 focusing on the Paraná River Basin

Sequías y crisis de agua en el Sureste de Brasil: una historia comparativa entre los eventos de 2001, 2014 y 2021 con enfoque en la Cuenca del Río Paraná

Meiriele Alvarenga Cumplido
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidades, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
meiriele.cumplido@inpe.br

Mariane Cristina Inocente
Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Centro de Ciências e Tecnologia para a Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
mariane.inocente@estudante.ufscar.br

Thaís Pereira de Medeiros
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Divisão de Observação da Terra e Geoinformática, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
thais.pereira@inpe.br

Gilvan Sampaio
Coordenação-Geral de Ciências da Terra, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
gilvan.sampaio@inpe.br

Jose Antonio Marengo
Coordenação-Geral de Pesquisa e Desenvolvimento, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN)
jose.marengo@cemaden.gov.br

Resumo: O presente trabalho realiza um comparativo entre os três principais eventos de seca e crise

hídrica ocorridos a partir do início do século XXI, nos anos 2001, 2014 e 2021. Por meio de revisão bibliográfica, realizou-se o levantamento de dados e informações que tangem aspectos físicos, políticos e socioeconômicos ambientais para cada um desses eventos no Sudeste do Brasil, com foco sobre as regiões que integram a Bacia do Rio Paraná. O aspecto físico abrange índices de precipitação, vazão e temperatura, bem como nível de intensidade da seca para cada evento; o aspecto político compreende as informações sobre políticas públicas e tomadas de decisão frente ao alerta e durante as crises; por fim, os impactos sociais, econômicos e ambientais advindos dos eventos de seca são contemplados no aspecto socioeconômico ambiental. Com base no comparativo, pôde-se concluir que a implantação ou melhoria de ferramentas auxiliares no monitoramento de seca e de seus impactos aconteceram ao longo dos anos, mas políticas de gestão dos recursos hídricos e de seus riscos, com atenção às pessoas vulnerabilizadas, ainda precisam ser efetivamente incorporadas para minimização dos efeitos de tais eventos e, maior resiliência e adaptabilidade das áreas afetadas.

Palavras-chave: Eventos de seca. Aspectos físicos da seca. Aspectos políticos da crise hídrica. Impactos socioeconômicos ambientais.

Abstract: Herein article brings a comparison among the three main drought events and water crisis that occurred since the beginning of the 21st century, in the years 2001, 2014 and 2021. Through a literature review, data and information were collected regarding physical, political and socio-economic environmental aspects for each of these events in Southeastern Brazil, with a focus on the regions that comprise the Paraná River Basin. The physical aspect includes precipitation, flow and temperature indices, as well as the level of drought intensity for each event; the political aspect comprises information about public policies and decision-making in response to the alert and during the crises; finally, the social, economic and environmental impacts arising from the drought events are considered in the socio-economic and environmental aspect. Based on the comparison, it can be concluded that the implementation or improvement of auxiliary tools for drought and its impacts monitoring took place throughout the years, but water resource management and risk management policies, with attention to vulnerable people, they still need to be effectively incorporated to minimize the effects of such events and greater resilience and adaptability of the affected areas.

Keywords: Drought events. Physical aspects of drought. Political aspects of the water crisis. Environmental socio-economic impacts.

Resumen: El presente trabajo realiza una comparación entre los tres principales eventos de sequía y crisis hídrica ocurridos desde inicios del siglo XXI, en los años 2001, 2014 y 2021. A través de una revisión bibliográfica, recopilación de datos e información respecto a aspectos físicos, políticos y aspectos ambientales y socioeconómicos para cada uno de estos eventos en el Sudeste de Brasil, con foco en las regiones que componen la Cuenca del Río Paraná. El aspecto físico comprende índices de precipitación, caudal y temperatura, así como el nivel de intensidad de sequía para cada evento; el aspecto político comprende información sobre políticas públicas y toma de decisiones ante alertas y durante las crisis; finalmente, en el aspecto socioeconómico ambiental se consideran los impactos sociales, económicos y ambientales derivados de eventos de sequía. Con base en el análisis comparativo, se puede concluir que la implementación o mejora de herramientas para el monitoreo de la sequía y de sus impactos se ha dado a lo largo de los años, pero aún es necesario incorporar de manera efectiva políticas de gestión de los recursos hídricos y de gestión del riesgo, priorizando a la población más vulnerable, con el fin de minimizar los efectos de tales eventos y aumentar la resiliencia y adaptabilidad de las áreas afectadas.

Palabras clave: Eventos de sequía. Aspectos físicos de la sequía. Aspectos políticos de crisis de agua. Impactos ambientales y socioeconómicos.

Submetido em: 15/07/2022
Aceito para publicação em: 05/01/2023
Publicado em: 10/01/2023

1. INTRODUÇÃO

Extremos do clima, tais como secas, atuaram no colapso de grandes civilizações no passado e atualmente impactam as sociedades modernas, afetando estilo de vida e gerando crises econômicas e sociais (JARDIM, 2015). A seca é uma consequência da deficiência de precipitação, resultando em escassez de água e indesejáveis consequências ambientais, sociais e políticas (GOMES *et al.*, 2017). Mesmo em regiões tropicais úmidas e subúmidas, bastam alguns anos com totais de chuva abaixo da média para que o sistema entre em colapso (DIAMOND, 2005).

O Brasil, e em específico a região Sudeste, tem experienciado várias décadas com aumento na frequência, intensidade e duração de eventos extremos e desastres naturais. Dentre os episódios de secas severas no Sudeste do país destacam-se os ocorridos nos anos de 1953/1954; 1962/1963; 2000/2001; 2014/2015 (NOBRE *et al.*, 2016) e mais recentemente em 2020/2021 (CUARTAS *et al.*, 2022; WMO, 2022). Associado a isso, evidencia-se também um despreparo dos governos para soluções de problemas relativos à captação, armazenamento, tratamento e distribuição de água potável no Brasil (JARDIM, 2015).

Os eventos de seca podem ocorrer em mais da metade da superfície terrestre a cada ano, diferenciando-se de outros desastres naturais em três aspectos: [1] duração e evolução do evento; [2] falta de uma definição precisa e universalmente aceita; e [3] abrangência de impactos (SOUSA JÚNIOR; LACRUZ, 2015). Embora as características de eventos de seca, tais como: duração, extensão geográfica, frequência e intensidade estejam associadas às condições meteorológicas e hidrológicas da região impactada (GONÇALVES *et al.*, 2021), o contexto social pode potencializar esses eventos (WILHITE; GLANTZ, 1985; MARENGO; ALVES, 2015). Não por acaso, as secas podem ser definidas como meteorológicas, agrícolas, hidrológicas e socioeconômicas, de modo que as três primeiras são manifestações progressivas do mesmo evento sobre o ciclo hidrológico (UNDRR, 2021).

O monitoramento de secas, bem como de seus impactos, é realizado por meio de indicadores/índices hidrometeorológicos e da superfície terrestre, e as variáveis precipitação, temperatura, vegetação, umidade do solo e armazenamento hídrico são os dados de entrada. Esses índices são representações da severidade do evento de seca e

permitem que esta seja categorizada, com base na sua intensidade (razão entre severidade e duração) em fraca, moderada, grave, extrema ou excepcional (GONÇALVES *et al.*, 2021).

O Monitor de Secas do Brasil sob responsabilidade da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa) e o monitoramento dos impactos da seca feito pelo CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) são exemplos de ferramentas que trazem como resultados a categorização de intensidade da seca, cada qual com suas particularidades e objetivos. Vale ressaltar que, mesmo que idênticas em intensidade, duração e características espaciais, secas em uma determinada região podem ter diferentes impactos, a depender da vulnerabilidade da sociedade no momento da ocorrência do evento (WILHITE; GLANTZ, 1985; WILHITE *et al.*, 2014).

Em se tratando da situação hidrológica da Bacia do Rio Paraná, dados históricos do *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC), do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) (GPCC, 2022) mostram a ocorrência de ciclos secos e chuvosos ao longo das décadas nessa área, onde a seca mais severa foi registrada entre dezembro de 1968 a setembro de 1971, com auge em março de 1969. Outros três eventos de seca ocorridos na Bacia do Rio Paraná chamam atenção: o primeiro que teve início em outubro de 1999 e se estendeu até agosto de 2000, caracterizando-se como seca moderada a severa; o segundo em 2001 onde o estado de São Paulo quase chegou a um apagão no sistema elétrico (CAVALCANTI; KOUSKY, 2001); e o terceiro que ocorreu entre janeiro de 2014 e novembro de 2015, colocando a região em estado de alerta desde então (MARENGO; ALVES, 2015; NOBRE *et al.*, 2016; MELO *et al*., 2016).

De acordo com o estudo desenvolvido por Coelho, Cardoso e Firpo (2016) a partir da análise de 55 anos de dados de precipitação da região metropolitana de São Paulo, descobriu-se que nenhum dos eventos, desde 1960, superou a seca de 2013/2014 em termos de déficit pluviométrico. Desde 2019, a Bacia do Rio Paraná voltou a experimentar um cenário hidrometeorológico desfavorável, acarretando a redução da geração de energia elétrica de suas usinas (ANA, 2020). Em maio de 2021, o armazenamento equivalente dos reservatórios nessa bacia, incluindo os principais afluentes, correspondeu a 28% da capacidade total, caracterizando-o como o segundo pior armazenamento no período de operação do Sistema Interligado Nacional (SIN) desde o ano de 2000 (ONS, 2021).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os eventos de seca e crise hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná nos anos de 2001, 2014 e 2021, comparando não apenas aspectos físicos de cada seca, mas os aspectos políticos diante de um alerta de crise hídrica, bem como os impactos socioeconômicos e ambientais de tais eventos.

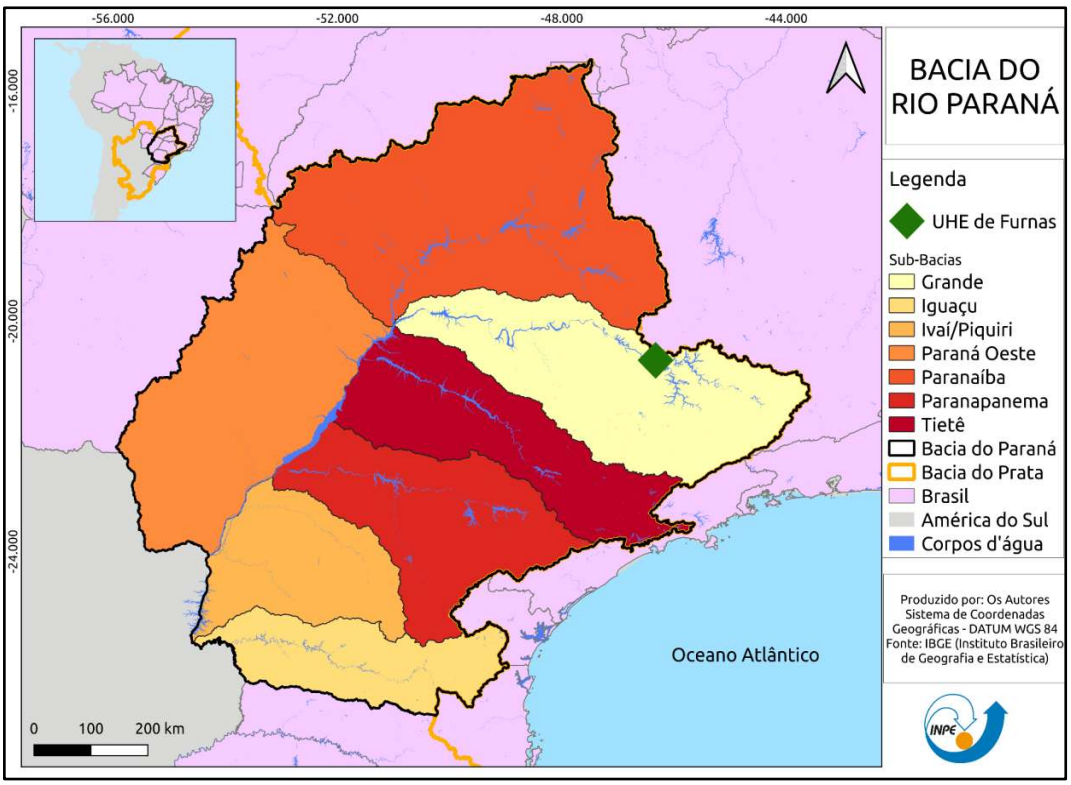
2. METODOLOGIA

Para avaliar e comparar os eventos de seca e crise hídrica ocorridos nos anos de 2001, 2014 e 2021, na Bacia do Rio Paraná, o estudo abordou uma extensa revisão bibliográfica de artigos e relatórios técnicos e consultas à base de dados pública. Para a revisão buscou-se por publicações no período entre 2001 e 2021 e, para as consultas, bases de dados como as do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), do CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e do CEMADEN. A área de estudo é descrita neste tópico e as avaliações comparativas dos aspectos político, físico e socioeconômico ambiental, no tópico posterior, correspondendo à seção de análises e discussão.

2.1 Área de estudo

Geograficamente, a Bacia Hidrográfica do Rio Paraná (Figura 1) está localizada na região Centro-Oeste da América do Sul, incluindo porções territoriais do Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai (MILANI, 2004). Configura-se como uma bacia intracratônica, contida inteiramente na placa sul-americana, compreendendo uma unidade autônoma de subsidência, formada a partir de sucessivos episódios de sedimentação (ALMEIDA, 2018).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, contendo a Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, suas Sub-Bacias e a UHE de Furnas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

No Brasil, a bacia contempla as regiões Sudeste e Centro-Sul, incluindo porções de seis estados – Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraná e Santa Catarina – e o Distrito Federal, totalizando uma área de aproximadamente 879.873 km², equivalente a 10% do território nacional (ANA, 2015). De acordo com a ANA (2020) os principais usos do recurso hídrico da Bacia do Rio Paraná são: abastecimento urbano, industrial, irrigação e uso animal.

Nessa área, vivem cerca de 1/3 da população do país e encontra-se a maior capacidade instalada de geração de energia hidroelétrica, com 57 grandes reservatórios (CEMADEN, 2021a). Estes correspondem a cerca de 53% da capacidade total de armazenamento do SIN (Sistema Interligado Nacional). Além disso, são responsáveis por cerca de 76% da capacidade máxima de armazenamento do subsistema Sudeste/Centro-Oeste (ONS, 2021).

Dentre as Usinas Hidrelétricas (UHE) que operam na bacia, pode-se destacar a UHE de Furnas, uma das maiores da América Latina com seus 1.216 MW de potência instalada (ELETROBRÁS FURNAS, 2021). Localiza-se inteiramente na região Sudeste do país, no Estado

de Minas Gerais e, está contida na Sub-Bacia do Rio Grande (afluente do Rio Paraná). As outras sub-bacias formadoras da Bacia do Rio Paraná são Iguaçu, Ivaí/Piriqui, Paraná Oeste, Paranaíba, Paranapanema e Tietê (IBGE, 2021), sendo esta última uma das responsáveis pelo fornecimento de água ao Sistema Cantareira que, por sua vez, é responsável pelo abastecimento de grande parte da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e de outros reservatórios (ANA, 2020).

3. ANÁLISES E DISCUSSÃO

3.1. Aspectos políticos e contextualização histórica das crises hídricas

A reestruturação do setor elétrico brasileiro na década de 1990, a privatização da geração e transmissão de energia elétrica, a redução nos investimentos das empresas (novas usinas geradoras e de linhas de transmissão) e o aumento no consumo de energia resultaram em um desequilíbrio entre a oferta e a demanda por energia elétrica e na crise de 2001. Tal crise foi marcada por cortes forçados de energia elétrica, metas de redução de consumo e ocorrência de apagões (GOLDENBERG; PRADO, 2003; LEME, 2018).

A crise no setor elétrico já era prevista desde 1995, quando o relatório elaborado por pesquisadores da COPPE-UFRJ (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro) alertou que o modelo de privatização adotado pelo governo não permitiria a expansão da geração de energia elétrica de acordo com a demanda (ROSA; LOMARDO, 2004). Empresas do setor, como o Ministério de Minas e Energia (MME), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), também percebiam a possibilidade de faltar energia elétrica a partir de 1997 (GOLDENBERG; PRADO, 2003). Apesar dos indícios de uma crise de geração de energia, como o apagão que ocorreu na subestação da Companhia Energética de São Paulo (CESP) em Bauru, no interior do Estado de São Paulo, em março de 1999, e com um novo relatório de alerta da COPPE-UFRJ em outubro de 2000, somente em maio de 2001 o governo assumiu a existência de uma crise, a qual foi atribuída à escassez de chuvas (ROSA; LOMARDO, 2004).

Porém, não é possível justificar a crise somente com base nas variações pluviométricas. Do início da década de 1990 até 1994, a capacidade dos reservatórios da Região Sudeste atingia uma média de 96%, entretanto, a partir de 1995, com o início da gestão de Fernando Henrique Cardoso, anualmente notou-se redução no armazenamento de água dos reservatórios, de modo que em 2001, estes apresentavam pouco mais de 30% da capacidade. Além disso, de 1990 a 2000, observa-se o aumento de 44,6% no consumo de energia elétrica, enquanto a ampliação da capacidade instalada foi de 28,5%, corroborando com desequilíbrio entre a oferta e a demanda (ROSA, 2001; GOLDENBERG; PRADO, 2003; ROSA; LOMARDO, 2004).

Como medida de combate à crise, foi implementado o racionamento, o qual durou até março de 2002 e visava a economia de 20% de energia elétrica. Como consequência, as tarifas aumentaram de acordo com a quantidade de energia consumida mensalmente pela população. Com base nos dados do Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (IDEC), os reajustes chegaram a 108% para as classes de consumo residencial, enquanto, para as classes de consumo industrial e comercial, a variação foi de 3,15% a 26,57% (LEME, 2018). Deste modo, as classes de consumo de menor renda foram as mais afetadas pela elevação das tarifas.

O novo modelo do setor elétrico foi proposto pela empresa inglesa *Coopers & Lybrand*, contratada pelo MME por meio de consórcio, no âmbito do Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (RESEB), com o objetivo de auxiliar na reforma do setor (PIRES, 1999; GOLDENBERG; PRADO, 2003). Segundo Meireles (1999), relatórios da COPPE-UFRJ apontaram que o modelo proposto não representava a realidade energética brasileira. Além disso, a análise realizada na consultoria não considerou aspectos importantes, como controle das cheias, irrigação, abastecimento de água potável, navegação e desenvolvimento regional integrado.

Entre 2013 e 2015 a Região Sudeste enfrentou uma nova crise no sistema de abastecimento, a qual foi principalmente reflexo da falta de planejamento estratégico do governo, porém, foi oficialmente atribuída a ocorrência de um período de estiagem e elevadas temperaturas (CÔRTES *et al.*, 2015; JACOBI *et al.*, 2015; NOBRE *et al.*, 2016). Neste período, a Região Metropolitana de São Paulo foi extremamente afetada, devido ao baixíssimo nível de capacidade que atingiu o Sistema Cantareira, seu principal reservatório

(EMPINOTTI *et al.*, 2019). Apesar dos indícios de uma nova crise hídrica terem iniciado em 2012, com vários municípios do país enfrentando reduções pluviométricas (JACOBI *et al.*, 2015), ações mais severas para enfrentar a escassez foram adotadas somente após a ocorrência do período de eleições nacionais e estaduais em outubro de 2014, enquanto a declaração oficial de estado de emergência devido à seca em São Paulo ocorreu somente em agosto de 2015 (EMPINOTTI *et al.*, 2019).

A fim de se proteger da ameaça de escassez, o governo estadual de São Paulo e a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), adotaram, como principais medidas emergenciais: [1] descontos nas contas de água para àqueles que reduzissem o consumo mensal em 20% em relação à sua própria média e, posteriormente, sobretaxa para àqueles que apresentassem consumo acima da média; [2] o uso da primeira cota da reserva técnica do Sistema Cantareira, conhecida como volume morto, para abastecer a cidade; [3] interligação dos principais sistemas de reservatórios que abastecem a cidade e desvio de água; [4] redução da pressão da água nas tubulações de todo o sistema, sobretudo à noite, como justificativa para diminuir os vazamentos e a consequente perda de água, e evitar um racionamento formalizado (BRAGA; KELMAN, 2016; MILLINGTON, 2018; EMPINOTTI *et al.*, 2019).

Apesar da combinação de forte estiagem e elevadas temperaturas na região Sudeste nesse período (JACOBI *et al.*, 2015), a gestão dos recursos e serviços hídricos amplificou os efeitos da seca (COHEN, 2016). As respostas de longo prazo propostas pelas agências governamentais estaduais para promover a “segurança hídrica”, focaram na expansão da infraestrutura, visando o aumento do abastecimento de água, ao invés da redução da demanda (EMPINOTTI *et al.*, 2019). Côrtes *et al.* (2015) apontam que um planejamento estratégico que considere informações e prognósticos climáticos na elaboração de ações podem reduzir a escassez hídrica.

Nos períodos de 2012 a 2017, as UGRHs da Bacia do Rio Paraná, Tocantins-Araguaia e São Francisco, as quais possuem a maior capacidade de armazenamento de água dos reservatórios de geração de energia hidrelétrica integrantes do SIN, receberam volumes totais de chuva abaixo da média. Deste modo, com a redução nas recargas dos reservatórios e a crescente demanda por água, ao final de 2017, os níveis dos reservatórios encontravam-se extremamente baixos. Apesar de parte do volume ter sido recuperado ao longo do ano de

2018, ao final de 2019, os reservatórios apresentaram o menor volume útil do SIN para os últimos 5 anos. Em decorrência, todos os estados da região Sudeste, além dos estados do Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins e parte da Bahia, sofreram com as secas mais pronunciadas (ANA, 2020).

Diante desse cenário desfavorável, em outubro de 2020, o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) autorizou o ONS a acionar usinas termelétricas fora da ordem de mérito e importar energia elétrica da Argentina e do Uruguai, nos termos do parágrafo 13 do artigo 1º da Portaria MME nº 339/2018 (BRASIL, 2018), para garantir o fornecimento de energia ao país (ONS, 2021). Em junho de 2021, através da Medida Provisória nº 1.055/2021 (BRASIL, 2021), foi criada a Câmara de Regras Excepcionais para Gestão Hidroenergética, a qual tem poder para adotar medidas excepcionais e temporárias visando a otimização do uso dos recursos hidroenergéticos e enfrentamento da crise hídrica.

Em outubro de 2021, foi lançado o Plano de Contingência para a Recuperação de Reservatórios do SIN, o qual indica medidas adicionais de operação a serem adotadas nos principais reservatórios (Tocantins, São Francisco, Paranaíba, Grande e Paraná) no período de dezembro de 2021 a abril de 2022, com o intuito de promover o seu enchimento (ANA, 2021a). No mesmo mês, lançou-se a segunda edição do Atlas Águas, o qual busca identificar vulnerabilidades no abastecimento urbano e indicar medidas estruturais e de gestão para atingir a segurança hídrica. O estudo indicou a necessidade de investimento de R$ 110 bilhões até 2035, em infraestrutura de produção e distribuição de água, reposição de ativos dessas infraestruturas, controle de perdas do recurso e ações referentes à gestão. Desse total, as regiões Sudeste e Nordeste demandam 76% dos investimentos, por possuírem os maiores contingentes populacionais (ANA, 2021b).

Historicamente, o Brasil baseia-se no modelo de gestão de crise para enfrentar as situações de seca. Deste modo, ações reativas e emergenciais são tomadas após a ocorrência da escassez hídrica, concentrando-se na resposta aos efeitos da seca. Esse modelo não permite aumentar a resiliência do sistema para lidar com crises futuras, como ocorreria caso a gestão de riscos fosse adotada. Identificar as vulnerabilidades e implementar medidas de preparação e adaptação, diminuirão o risco associado a futuras secas (WMO; GWP, 2014).

3.2. Aspectos físicos e categorização da intensidade dos eventos de seca

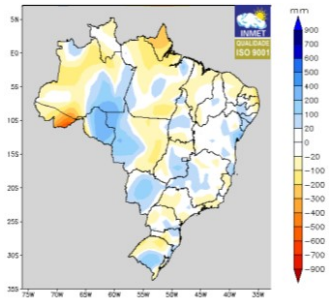
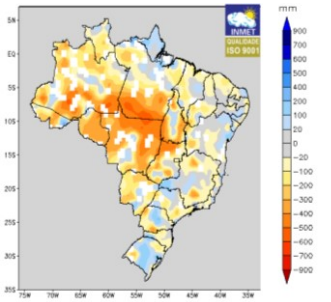
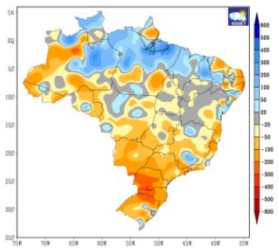
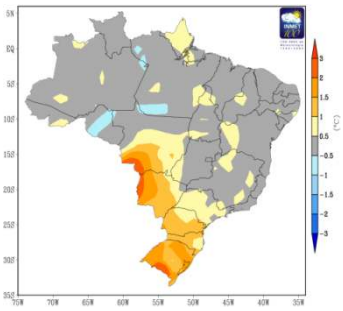
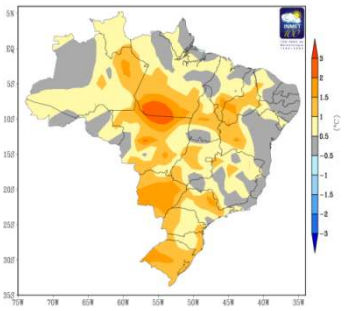
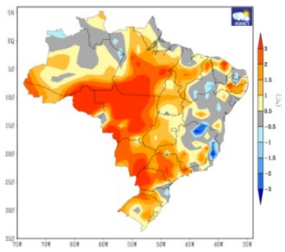
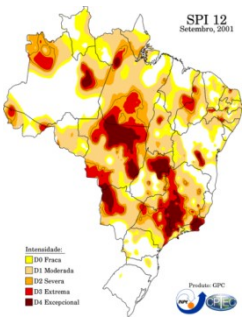
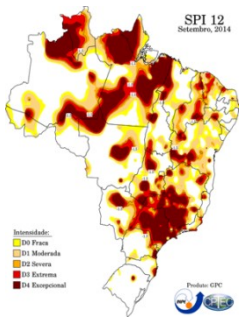
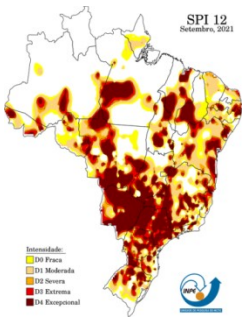
Todos os tipos de seca têm a redução na precipitação como origem, e fatores como altas temperaturas, ventos fortes e baixa umidade relativa tendem a exacerbar os efeitos do evento. A deficiência de chuvas em conjunto com aumento da evapotranspiração implica na categoria de seca meteorológica, ou seja, quando a taxa de evapotranspiração se mantém maior que a taxa de precipitação, tem-se o início da seca meteorológica. A seca agrícola surge quando o déficit de precipitação e alta evapotranspiração diminuem a umidade do solo, chegando a um balanço hídrico negativo e comprometendo a agricultura. A seca hidrológica se configura quando os fluxos e níveis médios de reservatórios, recursos hídricos superficiais e subterrâneos são reduzidos. Por fim, a seca socioeconômica é a combinação dos impactos das secas anteriores, com a deturpação de bens e recursos (alimento, água e energia) para a sociedade e o ambiente, uma vez que se tem o comprometimento de plantios e colheitas, do abastecimento hídrico das cidades e áreas de irrigação, do fornecimento de energia etc. (WILHITE *et al.*, 2014; DE JESUS *et al.*, 2020; GONÇALVES *et al.*, 2021).

O monitoramento de secas, como mencionado no capítulo introdutório, considera índices hidrometeorológicos e da superfície terrestre. Seca do tipo meteorológica baseia-se, por exemplo, nos índices: Índice de Precipitação Padronizado (SPI – *Standardized Precipitation Index*), Índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI – *Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index*) (GONÇALVES *et al.*, 2021). Adicionalmente, tem-se o Índice Integrado de Seca (IIS) desenvolvido pelo CEMADEN (CUNHA *et al.,* 2019), que combina o SPI com indicadores de estado da vegetação derivados por satélite. O IIS é usado para monitorar a seca agrícola, e leva em consideração o estresse hídrico da vegetação e baseia-se em índices tais como: Índice de Saúde da Vegetação (VHI – *Vegetation Health Index*), Índice de Suprimento de Água para a Vegetação (VSWI – *Vegetation Supply Water Index*), SPI e umidade do solo (CEMADEN, 2021b). A seca hidrológica, por sua vez, baliza-se em vazão, níveis de reservatórios e níveis de água subterrânea através de índices como o Índice de Vazão Padronizado (SSFI – *Standardized Streamflow Index*) (GONÇALVES *et al.*, 2021; UNDRR, 2021).

Com o objetivo de entender a intensidade dos eventos de secas nos anos de 2001, 2014 e 2021, mapas e gráficos para algumas das informações que integram os índices de seca são expostos neste tópico, de forma que é possível comparar os aspectos físicos e a intensidade de cada evento sob análise. As ilustrações representam o Índice de Anomalia da Precipitação, Índice de Anomalia da Temperatura, Intensidade de Evento de Seca (a partir do SPI), Índice de Precipitação Padronizado (SPI), Índice Padronizado de Vazão (SSFI) e o armazenamento de água em um dos reservatórios da área de estudo.

Na Tabela 1, os mapas para os Índices de Anomalia da Precipitação e de Anomalia da Temperatura foram obtidos na base do INMET (2021), selecionando-se o trimestre julho-agosto-setembro para cada ano de evento de crise. Os mapas para intensidade de evento de seca foram trazidos da base do CPTEC/INPE (2021), considerando SPI-12 (acumulado da precipitação no intervalo de 12 meses) e tomando como referência o mês de setembro. Para fins de clarificação, as escalas de coloração são equivalentes em cada período de análise, onde nos mapas de anomalia de precipitação [mm] temos a escala do tom azul claro para o tom azul escuro indicando mais chuva em relação à média e, a escala do amarelo para o vermelho indicando menos chuva em relação à média. Já nos mapas de anomalia de temperatura [°C], temos a escala do tom azul claro para o tom azul escuro indicando temperaturas mais baixas, enquanto, do amarelo para o vermelho, temperaturas mais elevadas em relação à média (representada na cor cinza). Por fim, nos mapas de seca, à medida que a coloração adquire tons mais escuros, maior é a intensidade do evento (categorizada em fraca, moderada, severa, extrema e excepcional).

Tabela 1 - Mapas para o Índice de Anomalia da Precipitação, Índice de Anomalia da Temperatura e intensidade de evento de seca (SPI-12) para cada ano de evento de crise.

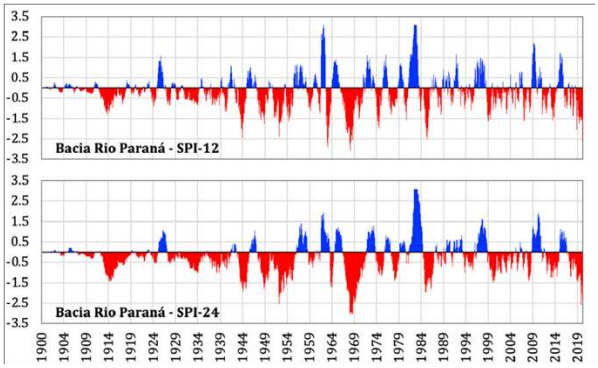
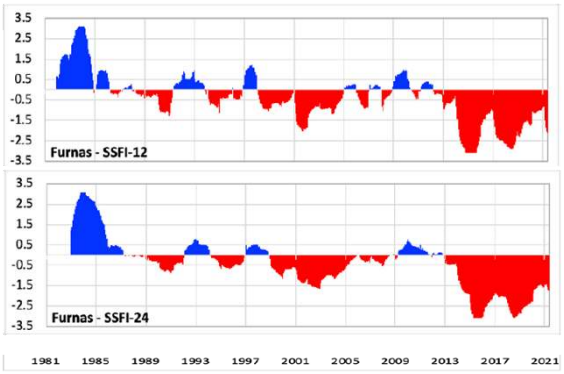
Índice	2001	2014	2021
Anomalia da Precipitação Trimestre jul-ago-set			
Anomalia da Temperatura Trimestre jul-ago-set			
Intensidade de evento de seca a partir do SPI-12 Referência em set			

Fontes: INMET; CPTEC/INPE (2021).

Na porção centro norte da Bacia do Rio Paraná (estados de Minas Gerais e São Paulo), percebe-se que a cada novo evento de seca, maior o desvio das médias climatológicas para precipitação e temperatura e maior a área afetada pelas anomalias dessas variáveis. Pelos mapas de intensidade de evento de seca a partir do SPI-12, é possível notar que no ano de 2001 uma porção da Bacia do Rio Paraná nos estados de Minas Gerais e São Paulo já enfrentava condição de seca severa a excepcional e, desde 2014, uma maior área da porção norte da bacia foi tomada pelos níveis mais elevados de intensidade de seca.

Os gráficos que contemplam SPI e SSFI na Tabela 2, cada um dos índices na escala de 12 e 24 meses, foram extraídos de nota técnica emitida pelo CEMADEN (2021b) no mês de maio, na qual é relatada a situação e previsão hidrometeorológica para a Bacia do Rio Paraná. Enquanto o índice de precipitação (SPI) abrange o período de 1900 a 2021 para toda a bacia, o índice para vazão (SSFI), especificamente para UHE Furnas, compreende o período de 1981 a 2021.

Tabela 2 - Gráficos para SPI-12 e SPI-24 para a Bacia do Rio Paraná e para SSFI-12 e SSFI-24 para UHE Furnas.

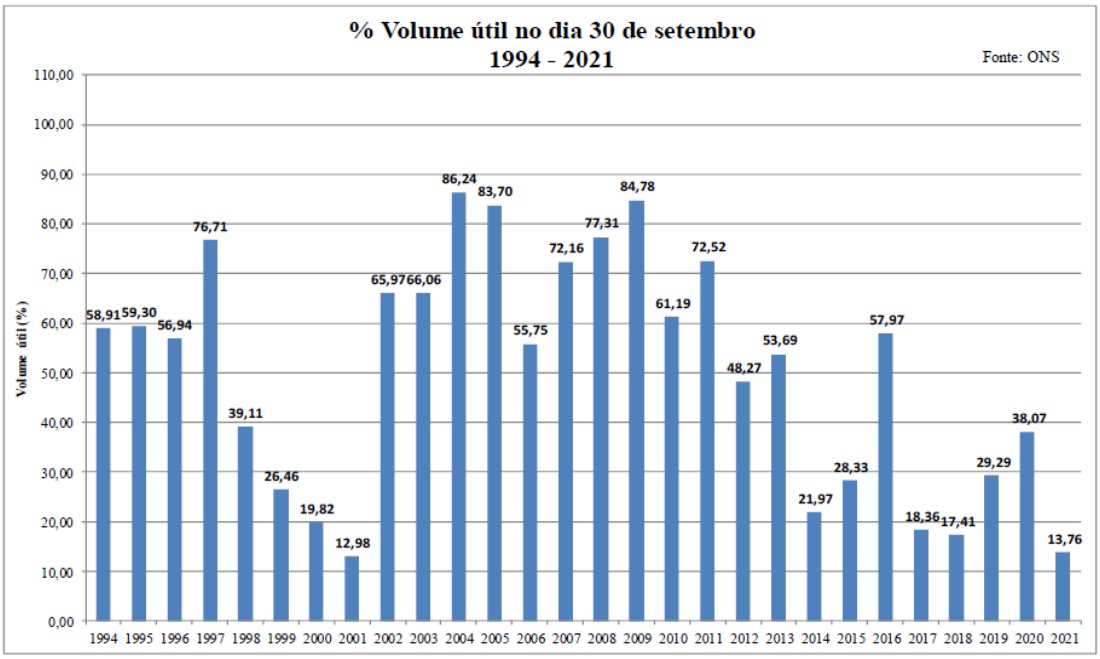
Índice Padronizado de Precipitação (SPI) nas escalas de 12 e 24 meses para a Bacia do Rio Paraná, no período de janeiro/1900 a abril/2021 Dados: GPCC. Gráfico: CEMADEN.	**Índice Padronizado de Vazão (SSFI) na escala de 12 e 24 meses para a UHE Furnas, na região Sudeste, no período de 1981 a 2021** Dados de vazão: ONS. Cálculo do SSFI e gráficos: CEMADEN.
	

Fonte: CEMADEN (2021b).

De acordo com os dados de precipitação, em ambas as escalas de tempo, nota-se que a região da Bacia do Rio Paraná tem perpassado por ciclos secos e chuvosos, com o período de 1968 a 1971, em especial o ano de 1969, o de maior déficit de precipitação, e com 2021 tendo superado os déficits dos anos de 2001 e 2014. É importante ressaltar que as demandas atuais por recursos hídricos na bacia são superiores às demandas nas décadas 1960-1970 (CEMADEN, 2021b). Além disso, da série SPI-24, vê-se que predominam chuvas abaixo da média sobre a bacia desde o início do século XXI, com exceções apenas nos anos 2010 e 2015. Nos anos 2001 e 2014, a Bacia do Rio Paraná vivenciou seca severa (SPI = -1,5) e, desde 2019, tem se deparado com condições mais intensas, alcançando a categoria de seca excepcional (SPI < -2,0) em 2021.

De acordo com o SSFI-12 para UHE Furnas, atualmente, essa usina se encontra em condição de seca hidrológica excepcional (SSFI = -2,1). Nos anos de 2001 e 2014, esse índice alcançou os valores aproximados de -2 e -3, respectivamente, também tendo as secas categorizadas como excepcional em ambos os eventos. É perceptível, para SSFI nas escalas de 12 e 24 meses, que a UHE Furnas tem vivenciado a baixa disponibilidade hídrica desde 2014. O armazenamento no reservatório da represa foi de apenas 13,76% do volume útil no final do mês de setembro de 2021, superando apenas o atingido no mesmo período em 2001, de 12,98%, o menor registrado para o mês desde 1994 (Figura 2). Em 2014, o reservatório atingiu 21,97% do volume útil no final de setembro. Impactos no volume útil de reservatórios podem comprometer a geração de hidroeletricidade e outros serviços para a sociedade.

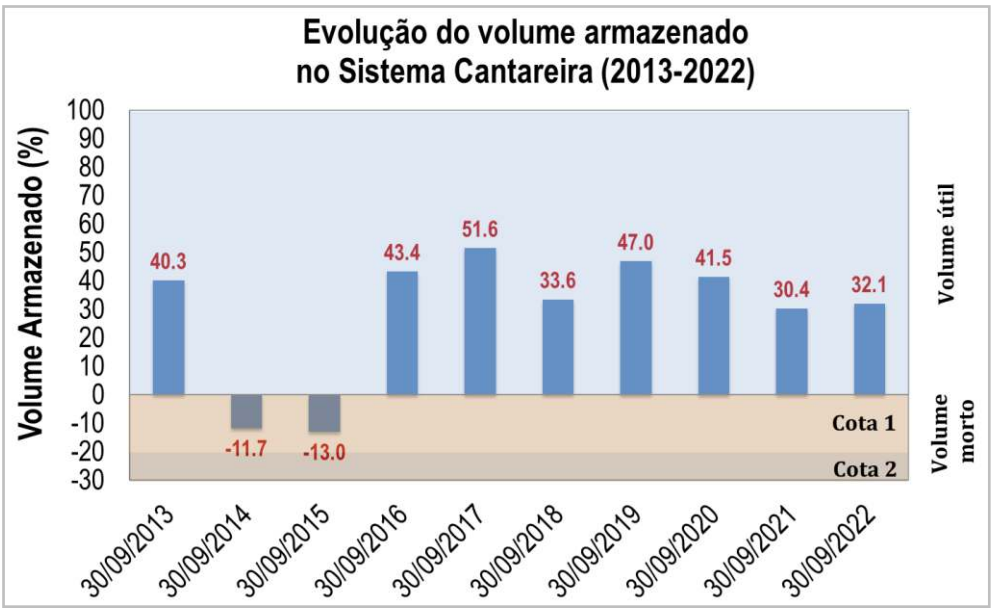
Figura 2 - Porcentagem do volume útil no reservatório da UHE Furnas no dia 30 de setembro dos anos de 1994 até 2021.



Fonte: ANA (2021c).

No Sistema Cantareira, segundo o CEMADEN (https://www.gov.br/cemaden/pt-br), até o mês de setembro de 2021, o volume armazenado foi de apenas 30,4% e, em setembro de 2022, alcançou 32,1% (ainda em estado de alerta). Somente em 2017 é que ultrapassou 50% (estado de atenção). Em 2014 e particularmente em 2015, o sistema chegou a atingir o volume morto (Figura 3).

Figura 3 - Porcentagem do volume útil no reservatório do Sistema Cantareira no dia 30 de setembro dos anos 2013 até 2022.



Fonte: CEMADEN (2022).

3.3. Impactos socioeconômicos ambientais dos eventos de seca e crise hídrica

As secas podem ocorrer ao longo de muitas partes do mundo, inclusive em regiões úmidas e subúmidas, e impactar drasticamente a agricultura, bem-estar da população, turismo e ecossistemas. Associado ao despreparo dos governos no manejo da seca, o qual se caracteriza como inoportuno, mal coordenado e desintegrado, observa-se o aumento da exposição e vulnerabilidade das sociedades ao evento natural de secas extremas (CARRÃO *et al.*, 2016).

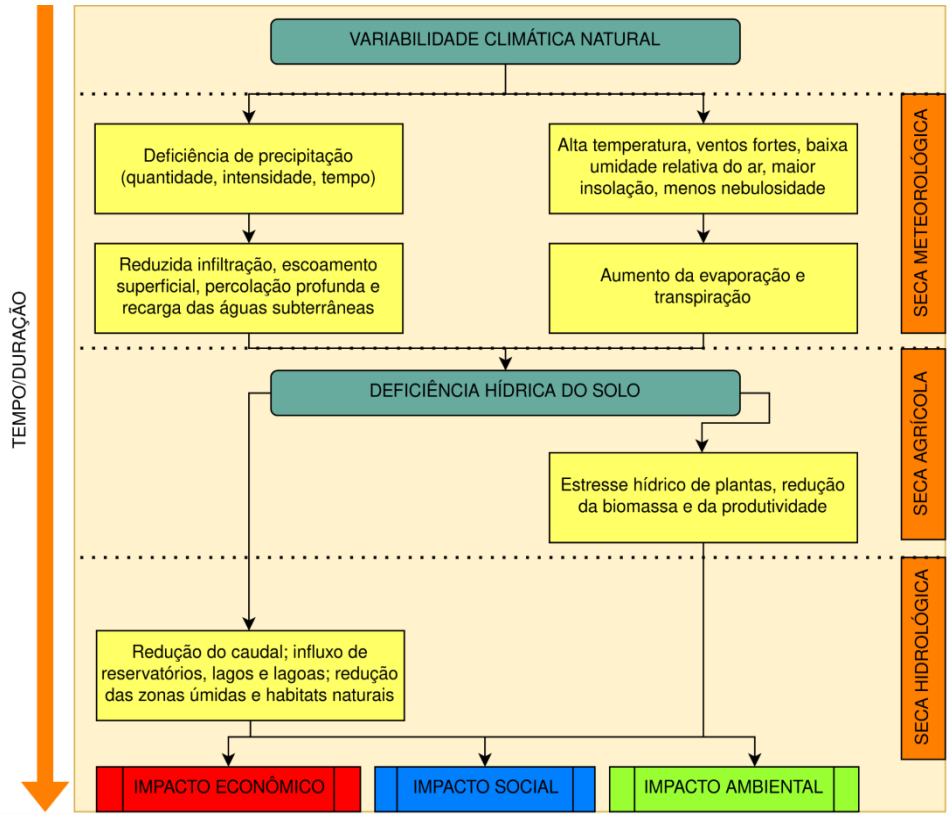
Além disso, os impactos da seca estão relacionados a dois principais fatores: [1] crises hídricas por consequência de aumento da temperatura e redução da precipitação e [2] má gestão da água pela falta de capacidade do governo em resolver os problemas vigentes associado ao crescimento populacional e de consumo de água (CÔRTES *et al.*, 2015). A seca extrema que ocorreu no período de 2014/2015, por exemplo, colocou cerca de 40 milhões de pessoas em situação de risco nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (NOBRE *et al.*, 2016).

Alguns impactos diretos desse fenômeno são a redução de culturas e pastagens, mudanças no uso e na cobertura da terra, baixos níveis de água, falta de água para o

abastecimento, maior risco de incêndios, aumento das taxas de mortalidade de gado e destruição de recursos ecológicos. A redução na produtividade de culturas geralmente resulta em uma menor quantidade de renda para os agricultores, aumento do preço de alimentos e, consequentemente, desemprego e migração (GEIRINHAS *et al.*, 2021; CUNHA *et al.*, 2019).

Como já exposto anteriormente, quando ocorre a seca, o primeiro setor afetado é o agrícola, por conta de sua forte dependência com o total de água que é armazenado nos solos. Em geral, há uma demora de várias semanas até que a deficiência de precipitação – seca meteorológica – ocasione um déficit de umidade no solo, afetando, por sua vez, culturas e pastagens – seca agrícola (WMO, 2006). A persistência dessa situação reduz o caudal dos rios (volume total de água que passa em um determinado ponto em um determinado período), o nível dos lagos e reservatórios e, potencialmente, o lençol freático, podendo provocar o desaparecimento de nascentes e cursos d'água – seca hidrológica (JARDIM, 2015). Tal processo de progressão das secas, da meteorológica até os impactos econômico, social e ambiental, pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 - Sequência de ocorrência dos eventos de seca e seus respectivos impactos.



Fonte: Adaptado de WMO (2006).

Com relação aos impactos da seca na vegetação e na agricultura, é possível ressaltar que os domínios e ecossistemas não resistem à sucessão de meses de seca, podendo modificar potencialmente as dinâmicas da vegetação, provocar fortes consequências nas funções ecossistêmicas e ocasionar a morte maciça da ictiofauna (peixes), plantas hidrófitas e higrófitas (JARDIM, 2015). Em 2014/2015, observou-se redução na colheita de cana em torno de 5%, redução na produção de café entre 15-40%, e prejuízos na produção de tomates, laranja e feijão, provocando perda de 5 bilhões de dólares nos negócios agrícolas e aumento dos preços dos alimentos em 30% (GOMES *et al.*, 2017).

A redução na produtividade agrícola, ocasionada por conta dos eventos de seca e crises hídricas, provoca déficit alimentar e impactos sociais severos, principalmente em sociedades com alta dependência da agricultura e serviços do primeiro setor, como é o caso do território brasileiro. Algumas das consequências deste processo são: deterioração das estruturas sociais, estímulo à violência e conflitos, insegurança alimentar e fome (RICHTER; JACOBI, 2018).

Os eventos de seca também estão intimamente relacionados às mudanças de uso e cobertura da terra. As florestas tropicais, em específico a Mata Atlântica (bioma o qual compreende grande parte da Bacia Hidrográfica do Paraná), têm se tornado paisagens antrópicas modificadas (*human-modified landscape*, no inglês), por conta, principalmente, dessas mudanças de uso e cobertura. A elevada fragmentação florestal da Mata Atlântica e a substituição das áreas florestais por pastagem e agricultura (cana em sua grande maioria) têm mudado significativamente os regimes de chuva e, assim, aumentando os fluxos de calor na superfície terrestre. Como consequência da mudança nos processos de precipitação, observa-se o impacto no armazenamento dos reservatórios e na disponibilidade de água. Esse impacto no armazenamento dos reservatórios associado ao despreparo dos governos na governança de água, como já exposto, tem contribuído fortemente para intensificação dos eventos de secas extremas (GOMES *et al.*, 2017).

Por conta da redução significativa dos recursos hídricos durante a seca extrema de 2014/2015, algumas partes da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) foram forçadas a depender de caminhões-pipa. Outra consequência da seca durante este período foi o aumento das tarifas de energia elétrica em 25%, fazendo com que a SABESP lançasse uma campanha onde os moradores que reduzissem o consumo de água em pelo menos 20%

teriam desconto de 30% nas tarifas de energia elétrica. Todo esse processo resultou em extrema escassez de água, protestos e movimentos sociais (MARENGO *et al.*, 2015).

De maneira geral, é possível dizer que o aumento da intensidade das secas provoca a diminuição nas capacidades econômicas e, também, redução na autossuficiência dos governos em garantir a gestão eficaz dos recursos hídricos. Ademais, alguns dos principais impactos socioeconômicos dizem respeito aos prejuízos nas atividades turísticas de rios e lagos; escassez hídrica e energética, levando ao aumento das contas de energia e aumento na incidência de queimadas severas e incêndios florestais (GOMES *et al.*, 2017). Esse aumento evidente do fogo acontece porque, com as secas extremas, a biomassa fica extremamente inflamável, aumentando o potencial de ignição (ARAGÃO *et al.*, 2018; SILVA JUNIOR *et al.*, 2018; PIVELLO *et al.*, 2021).

Atualmente, de acordo com o boletim "Monitoramento de Secas e Impactos no Brasil" de setembro de 2021, desenvolvido pelo CEMADEN, as condições de seca predominam nos estados de praticamente todas as regiões do país (Sul, Sudeste, Centro-Oeste, e em parte do Nordeste), com destaque para secas severas no oeste dos estados de São Paulo e Paraná. Em termos gerais, observa-se um aumento das áreas com condições de estresse hídrico, destacando a região Sudeste com 42,3% (cerca de 390 mil km²) de suas áreas nessa condição. A mesma acontece quando a água armazenada no solo é insuficiente para sustentar o crescimento vegetal das plantas. Além disso, São Paulo foi o estado que apresentou o maior número de municípios com impacto da seca superior a 80% da área agroprodutiva durante o mês de setembro. Como resultado disso, observa-se atraso no plantio e redução na produtividade de algumas culturas agrícolas da região Sudeste, tais como: soja, milho, café, mandioca e trigo.

Secas com tamanha magnitude, que afetam os níveis dos mananciais, acarretando perda da produtividade e graves problemas sociais, evidenciam-se como um tipo de fenômeno climático extremo projetado entre os diversos impactos decorrentes das mudanças climáticas (MARENGO *et al.*, 2015; WMO, 2022).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os impactos decorrentes da intensificação dos eventos de seca e crises hídricas são inúmeros, compreendendo desde a redução de culturas e pastagens, mudanças no uso e na cobertura do solo, baixos níveis de água nos reservatórios, escassez de água para abastecimento da população, maior risco de queimadas e incêndios florestais, aumento das taxas de mortalidade de espécies de fauna e flora, destruição de recursos ecológicos, até impactos mais severos na população e na sociedade, como aumento nas contas de energia elétrica, prejuízos nas atividades turísticas, déficit e insegurança alimentar, violência e conflitos sociais.

Embora se evidencie a combinação de baixa precipitação e altas temperaturas na região da Bacia do Rio Paraná, em específico na região Sudeste, não cabe justificar os eventos de seca e crise hídrica somente com base nas variáveis climatológicas. A vulnerabilidade da população no momento da ocorrência de um evento de seca é outra componente a ser considerada, uma vez que ditará o quão tal população será impactada, mesmo que outros eventos idênticos em características espaciais, temporais e de intensidade já tenham ocorridos na mesma região.

Portanto, faz-se tão urgente que o Brasil adote o modelo de gestão de riscos, de modo a reduzir o impacto de um evento, ao invés de se limitar apenas ao modelo de gestão de crise. A estratégia para redução do risco de desastres no país deve se basear em algumas ações que envolvem: conhecimento dos riscos, com a coleta sistemática de dados e informações; desenvolvimento e acompanhamento de um sistema operacional de monitoramento e alerta; entendimento da capacidade de resposta em âmbito nacional, regional e local e, por fim, abordagens de difusão e comunicação da informação.

Incorporando-se políticas de gestão dos recursos e serviços hídricos de modo integrado, descentralizado e participativo, em conjunto com as estratégias de gestão de riscos (ao credibilizar as já existentes ferramentas de monitoramento de secas e “relatórios de alerta” de pesquisadores/instituições do setor), medidas de mitigação dos impactos e adaptação dos afetados, o país conseguiria criar oportunidades para o aumento da resiliência e da adaptabilidade do sistema para lidar com eventos de seca futuros. Certamente, junto com o monitoramento da seca, melhores previsões climáticas na escala

sazonal e decadal podem ajudar a melhorar a adaptação da população, garantindo segurança hídrica, alimentar e energética e, assim, alcançar resiliência frente aos extremos do clima.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi realizado no contexto da disciplina de Mudanças Climáticas, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre do INPE, e contou com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Registramos nossos agradecimentos ao projeto Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) para Mudanças Climáticas – Fase 2, sob auxílio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) 465501/2014-1 e 310234/2018-2, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) 2014/50848-9 e da CAPES 88887.136402/2017-00.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial. Brasília, DF: ANA, 2015. 163 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**: informe anual. Brasília, DF: ANA, 2020. 118 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Plano de contingência para a recuperação de reservatórios do Sistema Interligado Nacional**: dezembro/2021 a abril/2022. Brasília, DF: ANA, 2021a. 11 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas Águas**: segurança hídrica do abastecimento urbano. Brasília, DF: ANA, 2021b. 332p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Boletim Mensal de Monitoramento do Reservatório de Furnas - Outubro/2021**. Brasília, DF: ANA. 2021c. 8p.

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 39, n. 3, p. 9-75, 2018.

ARAGÃO, L. E. O. C.; ET AL. ARAGÃO, L. E. O. C.; ANDERSON, L. O.; FONSECA, M. G.; ROSAN, T. M.; VEDOVATO, L. B.; WAGNER, F. H.; SILVA JUNIOR, C. V. J.; SILVA, C. H. L.; ARAI, E.; AGUIAR, A. P.; BARLOW, J.; BERENGUER, E.; DEETER, M. N.; DOMINGUES, L. G.; GATTU, L.;

GLOOR, M.; MALHI, Y.; MARENGO, J. A.; MILLER, J. B.; PHILLIPS, O. L.; SAATCHI, S. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, United Kingdom, vol. 9, n. 1, p. 536-547, 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Portaria n. 339, de 15 de agosto de 2018. Estabelece diretrizes para a importação de energia elétrica interruptível proveniente da República Argentina e da República Oriental do Uruguai. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 159, p. 60, 17 ago. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/37211389/do1-2018-08-17-portaria-n-339-de-15-de-agosto-de-2018-37211296. Acesso em: 19 out. 2021.

BRASIL. Medida Provisória n. 1.055, de 28 de junho de 2021. Institui a Câmara de Regras Excepcionais para Gestão Hidroenergética com o objetivo de estabelecer medidas emergenciais para a otimização do uso dos recursos hidroenergéticos e para o enfrentamento da atual situação de escassez hídrica, a fim de garantir a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético no País. **Diário Oficial da União**: seção 1 - Extra A, Brasília, DF, n. 119 - A, 28 ago. 2021. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/medida-provisoria-n-1.055-de-28-de-junho-de-2021-328509026. Acesso em: 19 out. 2021.

BRAGA, B.; KELMAN, J. Facing the challenge of extreme climate: the case of Metropolitan São Paulo. **Water Policy**, London, v. 18, n. S2, p. 52–69, 2016.

CARRÃO, H.; NAUMANN, G.; BARBOSA, P. Mapping global patterns of drought risk: an empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. **Global Environmental Change**, United Kingdom, v. 39, p. 108-124, 2016.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Drought in Brazil during summer and fall 2001 and associated atmospheric circulation features. **Revista Climanálise**, São Paulo, v. 02, n. 01, p. 1-10, 2001.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (CPTEC/INPE). **Índice de Precipitação Padronizado (SPI)**. Disponível em: http://clima1.cptec.inpe.br/spi/pt. Acesso em: 29 out. 2021.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). **Nota Técnica 31/Maio/2021: situação atual e previsão hidrometeorológica para a Bacia do Rio Paraná**. São José dos Campos, 2021a. 8 p.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). **Boletim Setembro/2021: monitoramento de Secas e Impactos no Brasil**. São José dos Campos, ano 05, n. 40, 2021b. 11 p.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). [2022]. Disponível em: https://www.gov.br/cemaden/pt-br. Acesso em: 09 nov. 2022.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Germany, v. 125, n. 3, p. 769–784, 2016.

COHEN, D. A. The rationed city: the politics of water, housing, and land use in drought-parched São Paulo. **Public Culture**, United States, v. 28, n. 2, p. 261–289, 2016.

CÔRTES, P. L.; TORRENTE, M.; PINTO, A. P. A.; RUIZ, M. S.; DIAS, A. J. G.; RODRIGUES, R. Crise de abastecimento de água em São Paulo e falta de planejamento estratégico. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 29, n. 84, p. 7-26, 2015.

CUARTAS, L. A; CUNHA, A. P. M. A.; ALVES, J. A.; PARRA, L. M. P.; DEUSDARÁ-LEAL, K.; COSTA, L. C. O.; MOLINA, R. D.; AMORE, D.; BROEDEL, E.; SELUCHI, M. E.; CUNNINGHAM, C.; ALVALÁ, R. C. S.; MARENGO, J. A. Recent hydrological droughts in Brazil and their impact on hydropower generation. **Water**, Switzerland, v. 14, n. 4, 601, 2022.

CUNHA, A. P. M. A.; ZERI, M.; LEAL, K. D.; COSTA, L.; CUARTAS, L. A.; MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M.; BARBOSA, A. A.; CUNNINGHAM, C.; GARCIA, J. V. C.; BROEDEL, E.; ALVALÁ, R.; RIBEIRO-NETO, G. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, Switzerland, v. 10, n. 11, p. 642-662, 2019.

DE JESUS, E. T.; AMORIM, J. DA S.; JUNQUEIRA, R.; VIOLA, M. R.; DE MELLO, C. R. Meteorological and hydrological drought from 1987 to 2017 in Doce River Basin, Southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 25, e29, p. 1-10, 2020.

DIAMOND, J. **Colapso: como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso**. Rio de Janeiro: Record, 2005. 724 p.

ELETROBRÁS FURNAS. **Sistema FURNAS: Usina de Furnas - 1.216 MW**. Disponível em: https://www.furnas.com.br/furnas/?culture=pt. Acesso em: 29 nov. 2021.

EMPINOTTI, V. L.; BUDDS, J.; AVERSA, M. Governance and water security: the role of the water institutional framework in the 2013-15 water crisis in São Paulo, Brazil. **Geoforum**, United Kingdom, v. 98, p. 46-54, 2019.

GEIRINHAS, J. L.; RUSSO, A.; LIBONATI, R.; SOUSA, P. M.; MIRALLES, D. G.; TRIGO, R. M. Recent increasing frequency of compound summer drought and heatwaves in Southeast Brazil. **Environmental Research Letters**, United Kingdom, v. 16, n. 3, 034036, 2021.

GLOBAL PRECIPITATION CLIMATOLOGY CENTRE (GPCC). **National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)**. Disponível em: https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.gpcc.html. Acesso em: 08 jul. 2022.

GOLDENBERG, J.; PRADO, L. T. S. Reforma e crise do setor elétrico no período FHC. **Tempo Social**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 219-235, 2003.

GOMES, A. C. C.; BERNARDO, N.; ALCÂNTARA, E. Accessing the southeastern Brazil 2014 drought severity on the vegetation health by satellite image. **Natural Hazards**, Netherlands, v. 89, p. 1401-1420, 2017.

GONÇALVES, S. T. N.; VASCONCELOS JUNIOR, F. DAS C.; SAKAMOTO, M. S.; SILVEIRA, C. DA S.; MARTINS, E. S. P. R. Índices e Metodologias de Monitoramento de Secas: Uma Revisão.

Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro, v. 36, n. 3 (suplemento), p. 495-511, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Bacias e divisões hidrográficas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. 160 p. (Relatórios Metodológicos, ISSN 0101-2843; v. 48).

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Clima**. Disponível em: https://clima.inmet.gov.br/. Acesso em: 29 out. 2021.

JACOBI, P. R.; CIBIM, J.; LEÃO, R. de S. Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 29, n. 84, p. 27-42, 2015.

JARDIM, C. H. A "crise hídrica" no sudeste do Brasil: aspectos climáticos e repercussões ambientais. **Revista Tamoios**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 67-83, 2015.

LEME, A. A.O setor elétrico brasileiro entre as transformações contemporâneas: O caso da crise elétrica em 2001. **Crítica e Sociedade**, Uberlândia, v. 8, n. 1, p. 4-34, 2018.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; MENDIONDO, E. A.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, São Paulo, n. 106, p. 31-44, 2015.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **Geousp – Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 485-494, 2015.

MEIRELES, S. Setor elétrico em choque. *In*: **Cadernos do Terceiro Mundo**. Rio de Janeiro: TerceiroMilênio, ano 25, n. 212, set. 1999. 80 p.

MELO, D. C. D.; SCANLON, B. R.; ZHANG, Z.; WENDLAND, E.; YIN, L. Reservoir storage and hydrologic responses to droughts in the Paraná River basin, south-eastern Brazil. **Hydrologyand Earth System Sciences**, Germany, v. 20, p. 4673-4688, 2016.

MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná. *In*: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (org.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. cap. 16, p. 265-279.

MILLINGTON, N. Producing water scarcity in São Paulo, Brazil: the 2014-2015 water crisis and the binding politics of infrastructure. **Political Geography**, United Kingdom, v. 65, p. 26–34, 2018.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M. Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, United States, v. 8, p. 252-262, 2016.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Avaliação das condições de atendimento eletroenergético do Sistema Interligado Nacional – estudo prospectivo julho a novembro de 2021**. Rio de Janeiro: ONS, 2021. 50 p.

PIRES, J. C. L. O processo de reformas do setor elétrico brasileiro. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 12, p. 137-167, 1999.

PIVELLO, V. R.; VIEIRA, I.; CHRISTIANINI, A. V; RIBEIRO, D. B.; MENEZES, L. S.; BERLINCK, C. N.; MELO, F. P. L.; MARENGO, J. A.; TORNQUIST, C. G.; TOMAS, W. M.; OVERBECK, G. E. Understanding Brazil's catastrophic fires: causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in ecology and conservation**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 233-255, 2021.

RICHTER, R. M.; JACOBI, P. R. Conflitos na macrometrópole paulista pela perspectiva da crise hídrica. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, Belo Horizonte, v. 20, n. 3, p. 556-569, 2018.

ROSA, L. P.; LOMARDO, L. L. B. The Brazilian energy crisis and a study to support building efficiency legislation. **Energy and Buildings**, Netherlands, v. 36, n. 2, p. 89–95, 2004.

ROSA, L. P. A crise energética: uma reputação empírica do modelo econômico neoliberal. *In*: LESSA. C. (org.). **O Brasil à luz do apagão**. Rio de Janeiro: Palavra e Imagem, 2001. 320 p.

SILVA JUNIOR, C. H. L.; ARAGÃO, L. E. O. C.; FONSECA, M. G.; ALMEIDA, C. T.; VEDOVATO, L. B.; ANDERSON, L. O. Deforestation-induced fragmentation increases forest fire occurrence in Central Brazilian Amazonia. **Forests**, Switzerland, v. 9, n. 305, p. 1-16, 2018.

SOUSA JÚNIOR, M. A. S.; LACRUZ, M. S. P. Sensoriamento remoto para seca/estiagem. *In*: SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. (org.). **Sensoriamento Remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. cap. 6, p. 149-169.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). **GAR Special Report on Drought 2021**. Geneva, 2021. 208 p.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding the Drought Phenomenon: the Role of Definitions. **Water International**, United Kingdom, v. 10, n. 3, p. 111-120, 1985.

WILHITE, D. A.; SIVAKUMAR, M. V. K.; PULWARTY, R. Managing drought risk in a changing climate: the role of national drought policy. **Weather and Climate Extremes**, Netherlands, v. 3, p. 4-13, 2014.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges**. Weather and climate information for sustainable agricultural development. WMO, n. 1006, 2006. 24 p.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO); GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP). **National drought management policy guidelines: a template for action**. Integrated Drought Management Programme (IDMP) Tools and Guidelines Series 1. Suiça: WMO, Suécia: GWP, 2014. 40 p.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **State of the Climate in Latin America and the Caribbean 2021**. WMO, n. 1295, 2022. 44 p.