

VULNERABILIDADES DA SEGURANÇA HÍDRICA NO BRASIL FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Vânia Rosa PEREIRA

Daniel Andrés RODRIGUEZ

RESUMO

Este trabalho apresenta as análises de impactos e vulnerabilidades frente às mudanças climáticas na segurança hídrica que subsidiaram os estudos da componente de Impactos, Vulnerabilidade e Adaptação (IVA) à mudança do clima, integrante da Quarta Comunicação Nacional (4CN) do Brasil à Convenção do Clima. Analisamos as vulnerabilidades da segurança hídrica a partir das dimensões de disponibilidade, acessibilidade, seguridade e governança. Os estudos de cenários de clima futuro indicam que os atuais impactos e vulnerabilidades na segurança hídrica serão aumentados. Os territórios atualmente marcados pela alta concentração populacional e de intenso uso múltiplo da água, tais como os presentes nos biomas da Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica são os que apresentaram redução da disponibilidade hídrica nos diferentes cenários de aquecimento. Os cenários de aquecimento indicam a vulnerabilidade de tais biomas em relação à oferta e demanda de água. Embora sejam vulnerabilidades em todos os biomas brasileiros, a ocorrência de inundações e a baixa qualidade da água nos centros metropolitanos são mais presentes na Amazônia, Mata Atlântica e Caatinga. A baixa acessibilidade à água potável e ao esgotamento sanitário são também vulnerabilidades marcantes. A universalização dos serviços de água e esgoto no nível municipal é questão de saúde pública, urgente e considerada uma ação necessária e independente das incertezas dos cenários climáticos. A ausência de informações de qualidade de água nas regiões mais distantes dos centros urbanos, em especial nos biomas Amazônia, Caatinga e Cerrado, dificulta o diagnóstico dos focos de poluição difusa em áreas com expressiva produção agropecuária. A legislação brasileira é avançada e enfatiza a descentralização da gestão hídrica. Porém, a ausência dos instrumentos básicos de gestão hídrica, tais como os planos de recursos hídricos estaduais e de bacias hidrográficas, em algumas regiões do país, é um entrave para que a lei das águas seja cumprida, em especial na Amazônia. A capacidade institucional se apresentou frágil e de abrangência limitada à proximidade de centros urbanos maiores. A universalização dos serviços de água e esgoto, o aumento da capacidade institucional e a ampliação dos sistemas de monitoramento para diagnóstico de maior precisão na escala municipal são pontos relevantes para aprimorar a segurança hídrica no país. A avaliação da efetividade da governança, assim como o diagnóstico de lacunas e oportunidades frente aos eventos extremos, também contribuem para evitar as crises hídricas, enchentes e inundações recorrentes.

Palavras-chave: Segurança hídrica; Mudanças climáticas; Disponibilidade; Acessibilidade; Governança; Seguridade.

ABSTRACT

VULNERABILITIES OF WATER SECURITY FACED WITH CLIMATE CHANGE IN BRAZIL. This study presents the analysis of impacts and vulnerabilities of water security faced with climate change in Brazil. The analysis is based on Impact, Vulnerability and Adaptation (IVA) climate change studies, component of the Fourth National Communication (4CN) of Brazil to the Convention on Climate.

We analyzed water security vulnerabilities from the dimensions of availability, accessibility, security, and governance. The future climate scenarios indicate an amplification of current impacts and vulnerabilities. The reduction in water availability in the Caatinga, Cerrado, and Atlantic Forest biomes, where territories are marked by high population concentration and multiple water uses, shows the fragility in the relationship between water supply and demand in different warming scenarios. All biomes, especially the Amazon, Atlantic Forest, and Caatinga, present vulnerability to floods and low water quality in metropolitan regions. Low rates of accessibility to drinking water and sanitary sewage are also important vulnerabilities. The water and sewage services universalization at the municipal level is an urgent public health matter and is considered an action independent of climate change scenarios uncertainties. The lack of water quality information in regions farther from urban centers, especially in the Amazon, Caatinga, and Cerrado biomes, complicates the diagnosis of diffuse pollution hotspots in areas with significant agricultural crops. The Brazilian legislation is progressive and emphasizes the decentralization of water management. However, the lack of basic instruments such as the state and river basin water resources plans is a barrier for water law guarantee, especially in the Amazon. Institutional capacity was fragile and limited according to its proximity to larger urban centers. The effectiveness of governance evaluation as well as the gaps and opportunities diagnosis in the face of extreme events are relevant contributions to avoid water crises and recurrent floods. The universalization of water and sewage services and the increase of institutional capacity are relevant topics. Furthermore, a monitoring system expansion for a more accurate diagnosis at the municipal scale – especially indicators of biodiversity, water quality, diffuse pollution, and consumption by sector – is also pertinent to improve the water security in the country.

Keywords: Water security; Climate change; Availability; Accessibility; Security; Governance.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho considera o conceito de segurança hídrica definido como a disponibilidade adequada de quantidade e qualidade de água para meios de vida, saúde, ecossistemas e produção. Tal disponibilidade hídrica deve estar ligada a um aceitável nível de riscos em relação às pessoas, à economia e ao meio ambiente (GREY & SADOFF 2007). Nesta definição de segurança hídrica, a água é considerada como fonte de vida, de produção e de destruição. A água é requisito mínimo para a vida e seus meios de produção, no entanto, quando em excesso, torna-se fonte de destruição (ex. as enchentes), de pobreza e de conflitos. Ou seja, o conceito de segurança hídrica comporta não só avaliações de condições de disponibilidade e demanda para um contexto na escala particular, como também em múltiplas dimensões.

Em termos de abrangência conceitual, a segurança hídrica engloba não só avaliações do déficit hídrico, mas também aspectos econômicos, sociais e ambientais. Segundo BIGGS *et al.* (2015),

a segurança ambiental ocorre quando a unidade de análise, que pode se dar em múltiplas escalas, de país para indivíduo, tem conhecimento e recursos para promover o bem-estar com seus recursos ambientais de maneira sustentável. Muitas vezes, populações pobres e vulneráveis dos países em desenvolvimento estão ainda mais inseguras em termos ambientais (UPRETI 2013).

A segurança hídrica é um tema complexo, cujo leque de conceitos pode ser amplo, a depender do propósito, do enfoque e da escala de análise. Porém, a necessidade de atendimento às demandas essenciais para a sobrevivência humana, em termos da garantia de quantidade e qualidade de água é o ponto em comum deste tema. Os conceitos diferem conforme o enfoque, que podem abarcar a proteção dos ecossistemas (WATER AID 2012, UN WATER 2013, WWC 2013), proteção ambiental via gestão de risco (OECD 2013), ou a proteção da saúde pública, cujo foco é reduzir doenças de veiculação hídrica (WATERAID 2012, BEEK & ARRIENS 2014), por exemplo. Os conceitos também podem se diferenciar conforme a escala de

análise. De uma perspectiva particular, como a da WATER AID (2012), o acesso à água deve garantir as necessidades humanas na escala local, os meios de subsistência e os serviços ecossistêmicos, ou as necessidades de determinada bacia hidrográfica (COOK & BAKKER 2012).

O conceito de segurança hídrica também incorpora a capacidade de adaptação às mudanças climáticas: para alcançar o primeiro, é preciso construir o segundo (LEMOS *et al.* 2016). Esses autores destacam que precisamos compreender quais são as combinações de capacidades de adaptação necessárias para saber quão controláveis são os parâmetros chave de segurança hídrica e quais os tipos de resultados que queremos atingir.

Um tema central na segurança hídrica é o desafio de equilibrar necessidades humanas e de consumo e desenvolvimento e, ao mesmo tempo, assegurar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos.

O presente trabalho apresenta as análises de impactos e vulnerabilidades na segurança hídrica frente às mudanças climáticas que subsidiaram a componente de Impactos, Vulnerabilidade e Adaptação (IVA) à mudança do clima, integrante da Quarta Comunicação Nacional (4CN) do Brasil à Convenção do Clima.

2 CONTEXTO DA SEGURANÇA HÍDRICA NO BRASIL

A variabilidade climática e o regime hidrológico de bacias hidrográficas são fatores que influenciam diretamente no desenvolvimento dos setores sociais e econômicos de uma sociedade. No Brasil, a agricultura, a produção de energia e a indústria são exemplos de atividades econômicas que são fortemente dependentes do clima e da disponibilidade hídrica e que, conseqüentemente, influenciam diretamente a qualidade de vida da população. As projeções de retirada de água da ANA (2018) para 2030 indicam um aumento de 2.000% em relação àquelas estimadas de 100 anos atrás, isto é, para 1931, podendo alcançar 2.600 m³/s de demanda hídrica em 2030. Só nas últimas décadas, houve um aumento de 80% no total retirado de água para uso múltiplo, evidenciando o ritmo crescente de demanda de água no país. As estimativas indicam um aumento de 24% na retirada de água de 2017 a 2030.

A irrigação destaca-se por ser o setor de maior uso dos recursos hídricos no Brasil. A irrigação responde atualmente por 52% da vazão de retirada dos

recursos hídricos e 68,4% da vazão efetivamente consumida (ANA 2019). De 2015 a 2030, isto é, num intervalo de 15 anos, projeta-se um aumento de 45% das áreas irrigadas com aproveitamento de 28% do potencial efetivo estimado. Tal aumento seria da ordem de aproximadamente 200 mil hectares (ha) ao ano, que, acumulados, aproximam o Brasil da área total de 10 milhões de ha irrigados em 2030 (ANA 2017).

De acordo com o *Atlas Irrigação* (ANA 2017), há três grandes áreas especiais de gestão dos recursos hídricos no Brasil classificadas por seu perfil de expansão de áreas de irrigação: a) polos consolidados com menor perspectiva de expansão (arroz irrigado no Sul; projetos públicos no Semiárido; região canavieira do Nordeste; e algumas áreas no Sudeste); b) polos consolidados onde há forte perspectiva de expansão (oeste baiano; Triângulo Mineiro; Paranapanema, SP; região de fronteira do Distrito Federal, Goiás e Minas Gerais, nas bacias dos rios Preto, Paracatu e São Marcos; região canavieira do Centro-Sul etc.); e c) polos novos ou em consolidação com forte perspectiva de expansão (na fronteira da agricultura de sequeiro das últimas décadas, onde a irrigação tem avançado mais recentemente – Mato Grosso, Goiás e MATOPIBA, que corresponde à fronteira agrícola entre os Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia; além do Rio Grande do Sul na bacia do alto rio Jacuí e de afluentes do rio Uruguai).

O Brasil também se destaca por ser um dos grandes produtores mundiais de energia de fontes renováveis, de força hidráulica, equivalendo a 10% da produção energética mundial. Em 2018, o Brasil registrou participação de 66,6% de fontes hidráulicas em sua matriz elétrica (MME 2019).

As regiões brasileiras apresentam contextos climáticos e socioambientais heterogêneos e desafiadores em relação aos recursos hídricos. O Semiárido brasileiro, por exemplo, apresenta balanço hídrico desfavorável e convive, desde sempre, com as secas. Já a região Sudeste, embora não apresente quadro de criticidade hídrica de ordem natural, possui desafios de disponibilidade e demanda devido às pressões de aumentos populacionais.

A região semiárida do nordeste brasileiro possui 5% do total de água do país, porém, abriga 28% da população brasileira e ocupa 18% do território nacional. Assim, tal desproporção entre disponibilidade e demanda evidencia seu perfil de criticidade hídrica (PEREIRA & FORMIGA-JOHNSON 2005). O semiárido possui regiões classificadas como de alto risco hídrico, com ocorrên-

cia de chuvas anuais inferiores a 700 mm, déficit hídrico e secas prolongadas, além de ausência de sistemas aquíferos sedimentares e de rios perenes. Nessas regiões os açudes são os sistemas utilizados para garantir a oferta de água. No caso, o São Francisco, um dos maiores e mais importantes rios do Brasil, com 631.133 km² de área, extensão de 2900 km e representando 7,5% da área total do Brasil, é o responsável por abastecer hidricamente grande parte do Nordeste (SANTOS *et al.* 2012). O abastecimento doméstico e industrial, irrigação, pesca, energia hidrelétrica e transporte caracterizam os usos múltiplos de suas águas (SANTOS *et al.* 2012). Ainda, a bacia do São Francisco é responsável por suprir 11% da água utilizada na agricultura irrigada no País. A relevância da bacia do São Francisco para o País é inquestionável. No entanto, as projeções indicam aumentos nas temperaturas para clima futuro e alterações em demais parâmetros climáticos (ROBERTSON *et al.* 2014, JONG *et al.* 2018) na área da bacia, o que pode amplificar as situações de escassez hídrica. A potencial amplificação dos impactos de ordem hídrica na bacia do rio São Francisco representa um dos maiores desafios nacionais, especialmente no que diz respeito aos conflitos entre disponibilidade e demanda de água (MARENGO & BERNASCONI 2015, JONG *et al.* 2018).

Outro exemplo em termos de especificidade regional de desafios é o das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, no Sudeste, onde a situação de conflitos por recursos hídricos é diferente da do Nordeste. A região concentra 75% da população do estado de São Paulo e é responsável por 85% do seu PIB. Porém, a disponibilidade hídrica atual, mesmo contando com chuvas totais da ordem de 2000 mm/ano e presença de cursos d'água perenes, atinge uma oferta de água de cerca de 37m³/s, enquanto a demanda é estimada em 34 m³/s, aproximadamente 90% de sua capacidade (COBRAPE 2011). A projeção de demanda para os próximos anos ultrapassa os 100%, indicando o agravamento de um contexto já crítico no presente.

A atual situação de intensa exploração dos aquíferos Guarani - Sistema Bauru (Sudeste) e Alter do Chão (Amazônia) também é um alerta para a situação dos recursos hídricos subterrâneos no País. Num cenário de superexploração desses dois aquíferos os estudos indicaram reduções consideráveis em seus níveis de água (SARAIVA 2017, BOICO *et al.* 2018). O sistema aquífero Alter do Chão (AAC) suporta e abastece hidricamente a região de Manaus, incluindo a Zona Franca de

Manaus, que é um polo industrial responsável por 1,4% do PIB nacional. O Sistema de Informação de Água Subterrânea (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil (SGB-SPRM) tem registrado mais de 3.000 poços de água subterrânea cadastrados, com estimativa de mais 6.000 em situação clandestina, uma vez que todas as indústrias do Polo Industrial de Manaus possuem poços. Partindo da vertente ambiental e econômica há um diagnóstico de superexploração e insustentabilidade desse recurso, o que pode levar a intensas reduções de seu nível de água (SARAIVA 2017). A redução da disponibilidade hídrica e da qualidade de água prejudica os usuários e pode gerar situações de conflitos pelo direito ao uso da água, além de impactar negativamente os custos de produção, uma vez que a água é um insumo primário no processo fabril da região (SARAIVA 2017).

O município de Bauru, no estado de São Paulo, tem 60% de seu sistema de abastecimento urbano baseado em retiradas de água subterrânea do Aquífero Guarani. Já existe um diagnóstico regional de provável aumento de exploração de água subterrânea devido às pressões de ordem de crescimento populacional (BOICO *et al.* 2018). Já foi identificado um rebaixamento de 50 m do nível potenciométrico desde o início da exploração na região com estimativa de rebaixar mais 10 a 15 m. A superexploração do aquífero no longo prazo pode causar a diminuição de seu potencial (BOICO *et al.* 2018).

As crises hídricas ocorridas no Brasil desde 2012 salientam que a vulnerabilidade de bacias hidrográficas depende de sua disponibilidade hídrica e de suas características naturais e, também, da intensidade da demanda e da situação da qualidade de suas águas. São alguns exemplos as crises do sistema Cantareira em São Paulo no ano de 2014, que pressionou o sistema do rio Paraíba do Sul no Rio de Janeiro, a dos rios Pardo, Mucuri e São Mateus nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Bahia em 2015, a de Brasília, no Distrito Federal em 2017, a do Tocantins-Araguaia, no Maranhão, a do nordeste setentrional entre 2012 a 2017 (ANA 2018). Fatores como o desmatamento, a erosão dos solos, a redução dos totais de precipitação, o aumento da demanda hídrica são pressões que favorecem a condição de escassez. As crises hídricas interferem de maneira explícita, mesmo com intensidades diferentes, em todos os usos da água. Inclusive nos usos não consuntivos como navegação, pesca, turismo e lazer.

A variabilidade da oferta de água, em especial os episódios de secas prolongadas, comprometem a qualidade da água e diminuem as vazões a ponto de reduzir drasticamente o armazenamento de água nos reservatórios e mananciais. E, também, adiciona mais uma camada de vulnerabilidade aos sistemas que já funcionam na capacidade limite. Tais situações, que passaram a ser mais evidentes com os episódios das crises hídricas ocorridas a partir de 2012, impactam diretamente na qualidade de vida da população, com consequências para a saúde pública. Além disso, episódios de secas hidrológicas também são considerados gatilhos para a geração ou intensificação de conflitos pelo uso da água, mesmo em regiões que não são naturalmente marcadas por condições de déficit hídrico. Por exemplo, as intermitências e interrupções no fornecimento de água levam a situações de descontrole na gestão da água. A estocagem de água de forma autônoma pela população aumenta as chances de consumo de água contaminada e, em muitos casos, a proliferação de vetores causadoras de doenças, como o *Aedes aegypti*.

Os episódios de secas hidrológicas também influenciam no custo final do tratamento de água, pois os valores de turbidez, sólidos totais, pH, condutividade elétrica, fósforo total, clorofila entre outros indicadores de qualidade de água são diretamente proporcionais à capacidade de diluição dos corpos hídricos. As condições de uso das terras nas áreas urbanas, com predominância de áreas impermeabilizadas e a ausência de áreas verdes, em especial de vegetação nas margens dos rios, reduzem as condições da qualidade das águas. A eficiência do serviço de saneamento é central para a segurança hídrica. No Brasil, o índice médio de atendimento de rede de esgoto é de 60% da população das áreas urbanas, com aproximadamente 60 milhões de habitantes sem atendimento (SNIS 2016). Além disso, nem a metade do esgoto gerado é tratado no Brasil e temos, na média, apenas 45% de tratamento do esgoto (SNIS 2016). Na região Sudeste, aproximadamente 80% das micro, pequenas e médias empresas são abastecidas pelas Companhias de Saneamento (CNI 2018). Assim, as medidas de racionamento e políticas tarifárias praticadas são sujeitas às adotadas por tais empresas. A redução das vazões em episódios de seca quando em conjunto ao lançamento de esgotos sem tratamento aumentam o custo da água e geram efeitos negativos em cascata, com consequências de ordem social e econômica. A indústria, representou em 2012 aproximadamente 20% do PIB nacional e abrigou 8,7 mi-

lhões de postos de trabalho. Tal representatividade do setor industrial no sistema produtivo brasileiro indica a alta susceptibilidade do setor a variações de disponibilidade hídrica e aumentos no custo da água, uma vez que responde por 17% da vazão retirada total e a 7% da vazão consumida (ANA 2019).

Entretanto, embora seja um dos pilares da segurança hídrica, universalizar o acesso aos serviços de saneamento básico (água, esgoto, resíduos e drenagem) no Brasil ainda tem muitos desafios de caráter estrutural, legal e financeiro e parece uma realidade distante. Segundo o Plano Nacional de Saneamento Básico, os custos são da ordem de US\$ 159 bilhões para universalizar o acesso aos quatro serviços do saneamento.

3 VULNERABILIDADE E IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA SEGURANÇA HÍDRICA NO BRASIL

As regiões brasileiras têm vivenciado aumentos nos episódios de eventos extremos nos últimos anos (CUNHA *et al.* 2018, CHAGAS *et al.* 2022) e os cenários de mudanças climáticas indicam aumento na frequência de tais eventos (MARENGO & VALVERDE 2007, ALMAZROUI *et al.* 2021). Na região Amazônica, GLOOR *et al.* (2013), CORREA *et al.* (2017), BARICHIVICH *et al.* (2018) e ALMAZROUI *et al.* (2021) identificaram alterações significativas nos eventos extremos nas observações de clima atual e nos cenários de mudanças climáticas. Mudanças também foram identificadas nas regiões Nordeste (OLIVEIRA *et al.* 2014, MARENGO *et al.* 2017a, CUNHA *et al.* 2018), Sudeste (ÁVILA *et al.* 2016, ZILLI *et al.* 2017, PEREIRA *et al.* 2018, LYRA *et al.* 2018) e Sul (MURARA *et al.* 2019). Ainda, estudos recentes identificaram a atribuição antropogênica como uma das causas para os episódios de secas extremas na Amazonia (RIBEIRO *et al.* 2022) e precipitações intensas no Nordeste (ZACHARIAH *et al.* 2022).

As análises de cenários com base nas simulações de modelos de mudanças climáticas indicam fortes evidências científicas de intensificação do ciclo hidrológico atribuído aos aumentos de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera (ALMAZROUI *et al.* 2021) e, também, de aumento de eventos extremos de seca e cheia nas diversas regiões e unidades hidrográficas do país (RIBEIRO NETO *et al.* 2016, SANTOS *et al.* 2020). A seção a seguir guiou-se nos resultados dos estudos de cenários de clima futuro de RIBEIRO NETO *et*

al. (2016), ALMAZROUI *et al.* (2021) e SANTOS *et al.* (2020).

Na Amazônia a alta disponibilidade hídrica não garante a segurança hídrica, uma vez que a região é marcada por déficits de infraestrutura e serviços de saneamento básico. Ademais, há uma ausência de comitês de bacias e de alguns instrumentos básicos de gestão dos recursos hídricos, como os planos estaduais e de bacias. São os planos que fundamentam e orientam a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Embora a existência da estrutura institucional mínima para a implementação da PNRH seja apenas o passo inicial e não garanta a sua efetividade. A incipiência de pontos de monitoramento de qualidade de água também indica uma fragilidade da governança regional para lidar e conhecer os impactos dos eventos extremos de secas e inundações que ocorrem frequentemente neste bioma. Os cenários de clima futuro indicam redução das vazões e aumento de eventos extremos de secas e cheias (SANTOS *et al.* 2020, ALMAZROUI *et al.* 2021) e, consequentemente, podem amplificar a vulnerabilidade já existente na região. As pressões de ordem socioeconômica tais como o atual déficit de infraestrutura, saneamento básico e pontos de monitoramento, assim como desmatamentos, presença de população em situação de pobreza e povos tradicionais, tornam a região altamente vulnerável frente às mudanças climáticas.

No Cerrado a relação entre demanda e disponibilidade hídrica é de cautela. Embora haja alta disponibilidade de recursos hídricos, este bioma possui regiões com intensas retiradas de água para a agricultura irrigada. As maiores fragilidades do Cerrado, considerando o clima atual, estão relacionadas ao controle das fontes de poluição difusa e a contaminação do lençol freático. A região é considerada uma liderança na produção agropecuária nacional, com crescente demanda de água. Porém, possui limitada acessibilidade aos serviços de esgotamento sanitário, em especial ao saneamento rural. As diminuições nas vazões apontadas pelos estudos de cenários de clima futuro (RIBEIRO NETO *et al.* 2016) indicam uma piora dos riscos atuais, i. e., demanda hídrica crescente relacionada à expansão da agricultura irrigada, falta de saneamento e controle de qualidade de água e de fontes de poluição difusa, em especial no meio rural, assim como perdas na biodiversidade.

A Caatinga, em relação aos demais biomas, apresenta a pior situação de disponibilidade de água no clima atual. A criticidade da exploração

de água demanda intenso gerenciamento e investimentos de grandes proporções para garantir a disponibilidade hídrica. É fato que a região é marcada por uma condição natural de déficit hídrico, com sazonalidade de regime de chuvas composta por longas e severas estiagens que resultam em rios de regimes intermitentes. No entanto, as intensas retiradas tanto dos polos de agricultura irrigada quanto dos grandes centros urbanos agravam a situação de déficit hídrico natural. A situação de governança já estabelecida, com presença de instrumentos de gestão em funcionamento não foram suficientes para barrar a sequência de crises hídricas. A Caatinga também apresenta as piores condições de acessibilidade aos serviços de saneamento básico do país. Os cenários de clima futuro indicam redução das vazões e aumento de eventos extremos de secas. Assim, a região pode tornar-se ainda mais vulnerável em relação à qualidade e quantidade de água. As pressões de ordem socioeconômica, tais como o atual déficit de infraestrutura e saneamento básico, população em situação de pobreza e de agricultura familiar com cultura de sequeiro, são as principais vulnerabilidades frente às mudanças climáticas neste bioma.

A Mata Atlântica apresenta a melhor conjuntura de segurança hídrica quando comparada aos demais biomas brasileiros. No entanto, a situação de exploração de água na região é crítica, em especial nos grandes centros urbanos, o que requer expressivo gerenciamento e altos investimentos em infraestrutura. Os instrumentos de gestão bem sólidos e estabelecidos não foram suficientes para lidar com os desafios ligados às limitadas condições de Acessibilidade, Segurança e Qualidade de Água, que ainda estão bem abaixo das médias mundiais. Os cenários de clima futuro indicam redução de vazão e aumento de eventos extremos de secas e cheias. As pressões socioeconômicas tais como desigualdade social, infraestrutura deficiente, em especial de drenagem, ocupações irregulares, altos níveis de produção e consumo e atividades agropecuárias são as principais vulnerabilidades. Situações de desabastecimento, aumentos de episódios de enchentes e deslizamentos e de doenças de veiculação hídrica, assim como perdas de safra, são algumas das potenciais consequências considerando os cenários de mudanças climáticas.

No Pantanal, os atuais déficits de infraestrutura e de serviços de saneamento básico e o frágil monitoramento e controle de qualidade de água indicam situação de alerta em relação à segurança hídrica. Embora haja alta disponibilidade hídrica

no clima atual, há uma frágil condição de governança regional para lidar com eventos extremos de seca. Os instrumentos básicos de gestão dos recursos hídricos, como os planos estaduais, ainda se encontram em estado inicial de elaboração. As maiores fragilidades para o clima atual no Pantanal estão ligadas à limitada acessibilidade aos serviços de esgotamento sanitário. Ausência de saneamento nas áreas rurais, de controle das fontes de poluição difusa e de potenciais pontos de contaminação de lençol freático são alguns exemplos das atuais fragilidades. Os cenários de clima futuro indicaram aumento de episódios de secas excepcionais que podem causar mudanças consideráveis nos pulsos de inundação. Tais cenários indicam que a região pode tornar-se ainda mais vulnerável à poluição difusa, contaminação de água subterrânea e perda de biodiversidade.

O bioma Pampa apresenta alta disponibilidade hídrica no clima atual, acessibilidade aos serviços de saneamento básico acima da média dos demais biomas e instrumentos de gestão de recursos hídricos bem estabelecidos. Porém há o potencial de aumento das fontes de poluição difusa e de contaminação do lençol freático devido à crescente demanda de água para a produção agropecuária, em especial a de arroz irrigado. Os cenários de clima futuro indicam aumento de eventos extremos de secas e cheias. Tais cenários indicam potencial de aumento de conflitos pelo uso múltiplo da água, perdas de biodiversidade e de qualidade de água.

A costa brasileira é apontada como susceptível às subidas do nível do mar, com registros de aumentos da erosão e da inundação costeira (PBMC 2014). Tais subidas do nível do mar podem causar impactos que afetam a qualidade de vida população, tais como vulnerabilidade de bens e serviços e redução de espaços habitáveis, intrusão salina e perda da biodiversidade e de produção pesqueira. O processo de saturação e salinização das bacias que desaguam no litoral interferem e pioram a qualidade da água dos corpos hídricos na região. As regiões mais afetadas são os estados do Rio de Janeiro e São Paulo (HARARI *et al.* 2007, ALFREDINI *et al.* 2013, MARENGO *et al.* 2018) e cidades importantes como Santos, Parati, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Duque de Caxias, Magé e Campos dos Goytacazes são consideradas vulneráveis à elevação do nível do mar. Soma-se a essas circunstâncias o aumento de tempestades e ventos mais fortes, que podem causar danos e prejuízos nas infraestruturas das cidades da costa brasileira.

Os diagnósticos atuais e de clima futuro indicam um provável aumento nos conflitos entre as seguranças hídrica, alimentar, energética e socioambiental já existentes no país. Há um claro diagnóstico de redução da disponibilidade hídrica atual no território nacional (GETIRANA 2016, GETIRANA *et al.* 2021). Temos ainda os diagnósticos de aumento de eventos extremos previstos nos cenários de mudanças climáticas do sexto relatório do IPCC para a América do Sul (IPCC-WGII 2022) e, em paralelo, as projeções crescentes de retirada de água para o horizonte de 2030.

A Mata Atlântica é um bioma marcado por expressivo uso múltiplo da água cujo funcionamento já está próximo da capacidade limite de seus recursos hídricos disponíveis. Este bioma abriga usos múltiplos tais como intensas ocupações populacionais, atividades produtivas e de consumo, atividades de mineração e o sistema sudeste de reservatórios hidrelétricos. Tal configuração de disponibilidade e demanda na capacidade próxima ao limite tem um considerável potencial de aumento de conflitos nos cenários de mudanças climáticas.

No contexto nacional, regiões onde a relação entre oferta e demanda de recursos hídricos já é crítica e com instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos não plenamente implementados são claramente as mais vulneráveis aos episódios de crises hídricas – situações nas quais os usos se aproximem ou superem a oferta em determinado período do ano.

Quando a disponibilidade de água ocorre abaixo do esperado e se configura uma crise hídrica, os conflitos pelos recursos hídricos são disparados, gerando incertezas quanto ao fornecimento de água. Nessas circunstâncias, sem a devida governança, o uso competitivo entre setores usuários é deflagrado, colocando sob tensão a relação dos diversos usuários estabelecidos na região (ANA 2017).

Ainda, os trabalhos que exploram os desafios ligados à segurança hídrica indicam que a gestão dos recursos hídricos no Brasil carece de uma visão preditiva, integrada e focada em ecossistemas (AMBRIZZI & COELHO 2015, BICUDO *et al.* 2015, MARENGO *et al.* 2015, TUNDISI & TUNDISI 2015, GESUALDO *et al.* 2021). A gestão ainda é focada na cultura da abundância, em gerenciar e expandir os macrossistemas e pouco integrada a governança na escala local e na avaliação dos riscos. Temos ainda um longo caminho para garantir a governança e transparência na gestão dos recursos hídricos na escala local, com intensa participação

setorial, dos comitês de bacias, das partes interessadas de forma proativa e independente e que se respalde nas Soluções Baseadas na Natureza, considerada a nova geração de solução para os centros urbanos.

Dentre os impactos relacionados às crises hídricas, destacam-se os que ocasionam efeitos em cascata, como a redução da qualidade da água e suas inúmeras consequências, como os efeitos na saúde humana. No período de estiagem, as fontes de contaminação favorecem ainda mais o desenvolvimento de patógenos, bactérias e vírus nos corpos d'água. Resíduos domésticos orgânicos, poluição industrial e agrícola, poluição térmica via efluentes industriais de refrigeração são alguns exemplos das fontes de contaminação que influenciam diretamente na qualidade dos corpos d'água. Todos esses componentes têm um efeito considerável na saúde humana. Ainda, as substâncias orgânicas dissolvidas, como pesticidas e herbicidas, cosméticos, remédios e hormônios, cujos efeitos diretos e indiretos na saúde humana não são totalmente conhecidos (TUNDISI *et al.* 2015). Populações que não têm acesso à água tratada e utilizam os sistemas alternativos de acesso, como as cisternas, no caso do Nordeste, se tornam ainda mais vulneráveis. O incremento de eventos de secas e de sua intensidade, sob o impacto das mudanças climáticas, resulta na diminuição da qualidade de águas em reservatórios, em regiões já fortemente afetadas pela seca (RAULINO *et al.* 2021).

A competição pela água em situações de redução da oferta gera um aumento nos custos de produção dos alimentos e diminuição da capacidade de estoque. Essas situações também impulsionam/agravam processos de migração da população para outras cidades e/ou outros estados, mesmo quando a situação ocorre longe de seus territórios. Esta competição acirra também os conflitos entre usuários localizados a montante e a jusante da bacia hidrográfica. As retiradas de água podem comprometer a disponibilidade do recurso em localidades a jusante, comprometendo interesses e bem-estar das comunidades vizinhas. Ainda, o despejo de esgoto doméstico e industrial com pouco ou nenhum tratamento e o lavado de produtos e dejetos agropecuários diminuem a qualidade de água disponível a jusante, incrementando custos de tratamento ou mesmo podendo chegar a inviabilizar alguns usos dessas águas e exacerbando desta forma os conflitos.

As reduções de vazões também modificam a capacidade de geração de energia elétrica, reduzin-

do seu potencial, o que pode aumentar a utilização de fontes não renováveis, como as térmicas, e gerar impactos adicionais, como a emissão de GEEs e aumento das tarifas de energia (MICHELS-BRITO *et al.* 2021).

Os episódios de seca extrema também isolam populações mais vulneráveis nas regiões mais remotas do país, como as populações ribeirinhas, que ficam sem acesso à água potável, alimentos e energia por longos períodos e evidenciam nossa vulnerabilidade, que é a profunda desigualdade estrutural existente no país.

A intensificação de eventos extremos afeta diretamente a qualidade de vida da população e a segurança socioambiental. Eventos extremos de inundações, por exemplo, resultam, muitas vezes, em perdas e danos de bens, serviços, infraestrutura, saúde e atividades socioeconômicas, causando impacto de longo prazo na região atingida.

Os possíveis aumentos do nível do mar podem intensificar a erosão costeira, a intensidade e frequência das inundações. Os possíveis impactos relacionados aos aumentos do nível do mar são as desorganizações no fornecimento de bens e serviços, redução de espaços habitáveis e redução da qualidade da água para consumo. O fenômeno da intrusão marinha reduz a qualidade da água doce, além de impactar a biodiversidade local (MARENGO *et al.* 2017b).

O baixo índice de acessibilidade ao saneamento básico é um desafio atual e afeta negativamente as condições de vida da população. O cenário de menor disponibilidade hídrica, aumento de eventos extremos e de ausência de saneamento básico potencializa a recorrência de doenças de veiculação hídrica, os custos de tratamento de água, a perda de serviços ecossistêmicos e os impactos negativos das cheias e secas. Nesse sentido, uma sociedade com sistemas de saneamento dos serviços de água e esgoto universalizados e com capacidade institucional para lidar com conflitos de forma integrada apresentam uma maior resiliência aos desastres, gerando benefícios para o bem-estar da população.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os cenários de clima futuro indicam a exacerbção de impactos sobre os recursos hídricos e o aumento das vulnerabilidades na segurança hídrica do Brasil. Nos biomas da Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica se destaca a vulnerabilidade do equilíbrio entre oferta e demanda, diante da redução de dis-

ponibilidade hídrica indicada por diferentes cenários de aquecimento. Outras questões que merecem destaque são a baixa qualidade da água em regiões metropolitanas e a vulnerabilidade a inundações que afetam os biomas, em particular a Amazônia, Mata Atlântica e Caatinga.

Há também a vulnerabilidade nas questões de acessibilidade à água potável e ao esgotamento sanitário. A universalização dos serviços de água e esgoto no nível municipal é questão de saúde pública, urgente e considerada uma ação necessária e independente das incertezas dos cenários climáticos. Nesse sentido, só trará benefícios e deve ser considerado o primeiro passo para construir resiliência na segurança hídrica e evitar o aumento dos atuais impactos ambientais e socioeconômicos.

O monitoramento de qualidade de água consolidado a nível nacional precisa ser ampliado para todo o território. A ausência de informações de qualidade de água nas regiões mais distantes dos centros urbanos, em especial nos biomas Amazônia, Caatinga e Cerrado, dificulta o diagnóstico dos focos de poluição difusa em áreas com expressiva produção agropecuária. A legislação brasileira, que impulsiona a descentralização da gestão dos recursos hídricos, é uma das mais avançadas a nível mundial. Não obstante, ainda há ausência dos instrumentos básicos em algumas regiões do país para garantir que a lei das águas seja cumprida, em especial na Amazônia.

Ademais, a existência da estrutura institucional mínima para a implementação da PNRH é apenas o passo inicial e não garante sua efetividade. A gestão dos recursos naturais passa pela definição de escala ótima e distribuição justa dos benefícios e tal ideia deveria ser adotada na gestão dos recursos hídricos no Brasil. No entanto, a gestão descentralizada e democrática só ocorre se há, de fato, capacidade institucional e uma intensa participação das lideranças locais.

Assim, a capacidade institucional se apresentou frágil e de abrangência limitada à proximidade de centros urbanos maiores. Há uma evidente necessidade de fortalecimento institucional para aprimoramento dos sistemas de monitoramento existentes e ampliação nas regiões distantes dos grandes centros. Existem grandes diferenças enquanto capacidade institucional entre unidades da federação e entre os municípios do Brasil. Isso expõe populações ao risco e as torna vulneráveis, havendo, portanto, relativa coincidência entre regiões com maiores fragilidades institucionais com a presença de populações mais vulneráveis.

Para se atingir um patamar de segurança hídrica é preciso evoluir na universalização dos serviços de água e esgoto, no aumento de capacidade institucional e ampliação dos sistemas de monitoramento para diagnóstico de maior precisão na escala municipal, em especial de indicadores de biodiversidade, qualidade de água, poluição difusa e consumo por setor. Ademais, se faz necessário evoluir na avaliação da efetividade da governança, assim como no diagnóstico de lacunas e oportunidades frente aos eventos extremos, que geram crises hídricas, enchentes e inundações.

O entendimento das vulnerabilidades atuais é um alicerce para planejar a adaptação às mudanças climáticas no contexto da segurança hídrica, de forma que os resultados obtidos oferecem subsídios suficientes e relevantes neste contexto.

5 AGRADECIMENTOS

À toda a equipe da Quarta Comunicação Nacional (4CN). Aos pareceristas, pelas sugestões que enriqueceram o manuscrito.

6 REFERÊNCIAS

- ALFREDINI, P.; ARASAKI, E.; PEZZOLI, A.; FOURNIER, C.P. 2013. Impact of Climate Changes on the Santos Harbor, São Paulo State (Brazil). *TransNav*, 7(4): 609-617. <http://dx.doi.org/10.12716/1001.07.04.17>
- ALMAZROUI, M.; ASHFAQ, M.; ISLAM, M.N.; RASHID, I.U.; KAMIL, S.; ABID, M.A.; O'BRIEN, E.; ISMAIL, M.; REBOITA, M.S.; SÖRENSON, A.A.; ARIAS, P.A.; ALVES, L.M.; TIPPET, M.K.; SAEED, S.; HAARSMA, R.; DOBLAS-REYES, F.J.; SAEED, F.; KUCHARSKI, F.; NADEEM, I.; SILVA-VIDAL, Y.; RIVERA, J.A.; EHSAN, M.A.; MARTÍNEZ-CASTRO, D.; MUÑOZ, A.G.; ALI, M.A.; COPPOLA, E.; SYLLA, M.B. 2021. Assessment of CMIP6 Performance and Projected Temperature and Precipitation Changes Over South America. *Earth Systems and Environment*, 5: 155-183. <https://doi.org/10.1007/S41748-021-00233-6>
- AMBRIZZI, T.; COELHO, C. 2015. A Crise Hídrica e a Seca de 2014 e 2015 em São Paulo: Contribuições do Clima e das Atividades Humanas. In: M. Buckeridge & W.C. Ribeiro (orgs.) *Livro Branco da Água. A Crise Hídrica*

- ca na Região Metropolitana de São Paulo em 2013-2015: *Origens, Impactos e Soluções*. São Paulo, Instituto de Estudos Avançados, p. 22-36.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2017. *Atlas Irrigação*. Brasília, Agência Nacional de Águas - Ministério de Meio Ambiente (MMA).
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2018. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2018: Informe Anual*. Brasília, Agência Nacional de Águas - Ministério de Meio Ambiente (MMA).
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2019. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: Informe Anual*. Brasília, Agência Nacional de Águas - Ministério de Meio Ambiente (MMA).
- AVILA, A.; JUSTINO, F.; WILSON, A.; BROMWICH, D.; AMORIM, M. 2016. Recent Precipitation Trends, Flash Floods and Landslides in Southern Brazil. *Environmental Research Letters*, 11(11): 114029. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/114029>
- BARICHIVICH, J.; GLOOR, E.; PEYLIN, P.; BRIENEN, R.J.W.; SCHÖNGART, J.; ESPINOZA, J.C.; PATTNAYAK, K.C. 2018. Recent Intensification of Amazon Flooding Extremes Driven by Strengthened Walker Circulation. *Science Advances*, 4(9). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat8785>
- BEEK, E.V.; ARRIENS, W.L. 2014. *Water Security : Putting the Concept into Practice*. TEC background papers; No. 20. Global Water Partnership (GWP).
- BICUDO, C.E.M.; NOBRE, C.A.; TUCCI, C.; DALBERSON, D.; ASSAD, E.; BARBOSA, F.; KELMAN, J.; TUNDISI, J.; MARENGO, J.A.; ROSA, L.P. 2015. Carta de São Paulo Recursos Hídricos no Sudeste: Segurança, Soluções, Impactos e Riscos. *Revista USP*, 106: 11-20. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p11-20>
- BIGGS, E.M.; BRUCE, E.; BORUFF, B.; DUNCAN, J.A.M.; HORSLEY, J.; PAULI, N.; MCNEILL, K.; NEFF, A.; OGTROP, F.v.; CURNOW, J.; HAWORTH, B.; DUCE, S.; IMANARI, Y. 2015. Environmental Science & Policy Sustainable Development and the Water – Energy – Food Nexus : A Perspective on Livelihoods. *Environmental Science and Policy*, 54: 389-397. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.002>
- BOICO, V.F.; WENDLAND, E.; BATISTA, J.A.N. 2018. Assessment of the Potentiometric Drawdown in the Guarani Aquifer System in Bauru / SP by a Model of Analytical Elements. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 23: e2. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.0318170121>
- CHAGAS, V.B.P.; CHAFFE, P.L.B.; BLÖSCHL, G. 2022. Climate and Land Management Accelerate the Brazilian Water Cycle. *Nature Communications*, 13: 5136. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32580-x>
- CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. 2018. *Segurança Hídrica : Novo Risco Para a Competitividade*. Brasília, Confederação Nacional da Indústria.
- COBRAPE. 2011. Plano Das Bacias Hidrográficas Dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020: Relatório Síntese. São Paulo, COBRAPE.
- COOK, C.; BAKKER, K. 2012. Water Security: Debating an Emerging Paradigm. *Global Environmental Change*, 22(1): 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.011>
- CORREA, S.W.; PAIVA, R.C.D.; ESPINOZA, J.C.; COLLISCHONN, W. 2017. Multi-Decadal Hydrological Retrospective: Case Study of Amazon Floods and Droughts. *Journal of Hydrology*, 549: 667-84. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2017.04.019>
- CUNHA, A.P.; TOMASELLA, J.; RIBEIRO-NETO, G.; BROWN, M.; GARCIA, S.R.; BRITO, S.B.; CARVALHO, M.A. 2018. Changes in the Spatial–Temporal Patterns of Droughts in the Brazilian Northeast. *Atmospheric Science Letters*, 19(10): e855. <https://doi.org/10.1002/ASL.855>

- GESUALDO, G.C.; SONE, J.S.; GALVÃO, C.O.; MARTINS, E.S.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; TOMASELLA, J.; MENDIONDO, E.M. 2021. Unveiling Water Security in Brazil: Current Challenges and Future Perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 66(5): 759-68. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1899182>
- GETIRANA, A. 2016. Extreme Water Deficit in Brazil Detected from Space. *Journal of Hydrometeorology*, 17(2): 591-599. <https://doi.org/10.1175/jhm-d-15-0096.1>
- GETIRANA, A.; LIBONATI, R.; CATALDI, M. 2021. Brazil Is in Water Crisis — It Needs a Drought Plan. *Nature*, 600(7888): 218-220. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-03625-w>
- GLOOR, M.; BRIENEN, R.J.W.; GALBRAITH, D.; FELDPAUSCH, T.R.; SCHÖNGART, J.; GUYOT, J.L.; ESPINOZA, J.C.; LLOYD, J.; PHILLIPS, O.L. 2013. Intensification of the Amazon Hydrological Cycle over the Last Two Decades. *Geophysical Research Letters*, 40(9): 1729-1733. <https://doi.org/10.1002/GRL.50377>
- GREY, D; SADOFF, C.W. 2007. Sink or Swim ? Water Security for Growth and Development. *Water Policy*, 9: 545-571. <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>
- HARARI, J.; FRANÇA, C.A.S.; CAMARGO, R. 2007. Variabilidade de longo termo de componentes de maré e do nível médio do mar na costa brasileira. *Afro-America Gloss News*, 11(1). http://www.mares.io.usp.br/aagn/aagn11/ressimgf_versao2008.pdf
- IPCC-WGII. 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegria, M. Craig, et al. (orgs.) *Summary for Policymakers*. Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- JONG, P.; TANAJURA, C.A.S.; SÁNCHEZ, A.S.; DARGAVILLE, R; KIPERSTOK, A.; TORRES, E.A. 2018. Hydroelectric production from brazil's são francisco river could cease due to climate change and inter-annual variability". *Science of the Total Environment*, 634: 1540-1553. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.256>
- LEMOS, M.C.; NAVARRETE, D.M.; WILLEMS, B.L.; CARAVANTES, R.D.; VARADY, R.G. 2016. Advancing Metrics: Models for Understanding Adaptive Capacity and Water Security. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 21: 52-57. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.004>
- LYRA, A.; TAVARES, P.; CHOU, S.C.; SUEIRO, G.; DEREZYNSKI, C.; SONDERMANN, M.; SILVA, A.; MARENGO, J.A.; GIAROLLA, A. 2018. Climate Change Projections over Three Metropolitan Regions in Southeast Brazil Using the Non-Hydrostatic Eta Regional Climate Model at 5-Km Resolution. *Theoretical and Applied Climatology*, 132: 663-682. <https://doi.org/10.1007/S00704-017-2067-Z/TABLES/4>
- MARENGO, J.A.; BERNASCONI, M. 2015. Regional Differences in Aridity/Drought Conditions over Northeast Brazil: Present State and Future Projections. *Climatic Change*, 129(1-2): 103-115. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>
- MARENGO, J.A.; VALVERDE, M.C. 2007. Caracterização do clima no século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. *Multiciência*, nº 8.
- MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; SELUCHI, M.E.; CUARTAS, A.; ALVES, L.M.; MENDIONDO, E.M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. 2015. A Seca e a Crise Hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP*, 106: 31-44. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44>
- MARENGO, J.A.; TORRES, R.R.; ALVES, L.M. 2017a. Drought in Northeast Brazil – Past, Present, and Future. *Theoretical and Applied Climatology*, 129(3-4): 1189-1200. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>
- MARENGO, J.A.; MULLER-KARGER, F.; PELLING, M.; REYNOLDS, C.J.; MERRILL, S.B.; NUNES, L.H.; PATERSON

- S.; GRAY, A.J.; LOCKMAN, J.T.; KARTEZ, J.; MOREIRA, F.A.; GRECO, R.; HARARI, J.; SOUZA, C.R.G.; ALVES, L.M.; HOSOKAWA, E.K.; TABUCHI, E.K. 2017b. An Integrated Framework to Analyze Local Decision Making and Adaptation to Sea Level Rise in Coastal Regions in Selsey (UK), Broward County (USA), and Santos (Brazil). *American Journal of Climate Change*, 6(2): 403-424. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2017.62021>
- MARENGO, J.A.; MULLER-KARGER, F.; PELLING, M.; REYNOLDS, C. 2018. The METROPOLE Project - An Integrated Framework to Analyse Local Decision Making and Adaptive Capacity to Large-Scale Environmental Change: Decision Making and Adaptation to Sea Level Rise in Santos, Brazil. In: L.H. Nunes, R. Greco, J. Marengo (Eds.) *Climate Change in Santos Brazil: Projections, Impacts and Adaptation Options*. Springer, p. 3-15.
- MICHELS-BRITO, A.; RODRIGUEZ, D.A.; CRUZ JUNIOR, W.L.; VIANNA, J.N.S. 2021. The Climate Change Potential Effects on the Run-of-River Plant and the Environmental and Economic Dimensions of Sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147: 111238. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111238>
- MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. 2019. *Resenha Energética Brasileira - Exercício de 2018*. Brasília, MME. <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/resenha-energetica-brasileira/resenhas/Resenha-Energetica-Brasileira-2018/view>
- MURARA, P.; ACQUAOTTA, F.; GARZENA, D.; FRATIANNI, S. 2019. Daily precipitation extremes and their Variations in the Itajaí River Basin, Brazil. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 131(4): 1145-1156. <https://doi.org/10.1007/s00703-018-0627-0>
- OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. 2013. Water Security for Better Lives. <https://www.oecd.org/env/water-security-better-lives.htm>
- OLIVEIRA, P.T.; SILVA, C.M.S.; LIMA, K.C. 2014. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. *Atmospheric Science Letters*, 15(3): 172-177. <https://doi.org/10.1002/ASL2.484>
- PBMC – PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. 2014. *Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*. T. Ambrizzi & M. Araújo (coords.), Rio de Janeiro, Coppe - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- PEREIRA, D.S.P.; FORMIGA-JOHNSON, R.M. 2005. Descentralização da Gestão de Recursos Hídricos em Bacias Nacionais no Brasil. *Revista de Gestão de Águas Da América Latina*, 2(1): 53-72.
- PEREIRA, V.R.; BLAIN, G.C.; AVILA, A.H.M.; PIRES, R.C.O.; PINTO, H.S. 2018. Impacts of climate change on drought: changes to drier conditions at the beginning of the crop growing season in Southern Brazil. *Bragantia*, 77(1): 201-211. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017007>
- RAULINO, J.B.S.; SILVEIRA, C.S.; LIMA NETO, I.E. 2021. Assessment of Climate Change Impacts on Hydrology and Water Quality of Large Semi-Arid Reservoirs in Brazil. *Hydrological Sciences Journal*, 66(8): 1321-1336. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1933491>
- RIBEIRO NETO, A.; PAZ, A.R.; MARENGO, J.A.; CHOU, S.C. 2016. Hydrological Processes and Climate Change in Hydrographic Regions of Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, 8(12): 1103-1127. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.812087>
- RIBEIRO NETO, G.G.; ANDERSON, L.O.; BARRETO, N.J.C.; ABREU, R.; ALVES, L.; DONG, B.; LOTT, F.C.; TETT, S.F.B. 2022. Attributing the 2015/2016 Amazon Basin Drought to Anthropogenic Influence. *Climate Resilience and Sustainability*, 1(1): e25. <https://doi.org/10.1002/CLI2.25>
- ROBERTSON, A.W.; BAETHGEN, W.; BLOCK, P.; LALL, U.; SANKARASUBRAMANIAN,

- A.; SOUZA FILHO, F.A.; VERBIST, K.M. 2014. Climate Risk Management for Water in Semi-Arid Regions. *Earth Perspectives*, 1(1): 12. <https://doi.org/10.1186/2194-6434-1-12>
- SANTOS, D.J.; PEDRA, G.U.; SILVA, M.G.B.; GUIMARÃES, C.A.; ALVES, L.M.; SAMPAIO, G.; MARENGO, J.A. 2020. Future Rainfall and Temperature Changes in Brazil under Global Warming Levels of 1.5°C, 2°C and 4°C. *Sustainability in Debate*, 11(3): 57-90. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33933>
- SANTOS, G.B.; POMPEU, P.S.; SALVADOR, G.N.; PESSALI, T.C.; RABELO, N.V.; LEAL, P.H.R.; MESQUITA, E.D.S. 2012. Marcação e recaptura da Curimatápioa (*Prochilodus Costatus*) em um afluente do Rio São Francisco e avaliação da necessidade de transposição de peixes na UHE Gafanhoto. In: M. Lopes & F.O. Silva (orgs.) *Transposição de Peixes*. Belo Horizonte, CEMIG, p. 35-58.
- SARAIVA, M.A. 2017. *Avaliação da sustentabilidade do uso da água do aquífero Alter do Chão na zona urbana de Manaus*. Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Ciências Exatas, Dissertação de Mestrado, Manaus, 73 f.
- SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. 2016. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - 2016*. Brasília.
- TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. 2015. As múltiplas dimensões da crise hídrica. *Revista USP*, 106: 21-30. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p21-30>
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; CIMINELLI, V.S.; BARBOSA, F.A. 2015. Water Availability, Water Quality Water Governance: The Future Ahead. *IAHS-AISH Proceedings and Reports* 366 (June 2014): 75-79. <https://doi.org/10.5194/piahs-366-75-2015>
- UN WATER. 2013. *Water Security and the Global Water Agenda. A UN-Water Analytical Brief*. <https://www.unwater.org/publications/water-security-and-global-water-agenda>
- UPRETI, B. 2013. Environmental Security and Sustainable Development. In: R.A. Matthew (org.) *Environmental Security: Approaches and Issues*. New York, Routledge, 1st ed. , p. 220-233.
- WATER AID. 2012. *Water Security Framework*. WaterAid, London, 64 p.
- WWC – WORLD WATER COUNCIL. 2013. *A Pact for Water Security*. World Water Council, Marseille. <https://www.worldwatercouncil.org/en/publications/pact-water-security>
- ZACHARIAH, M.; VASCONCELOS JR., F.C.; SILVA, T.L.V.; SANTOS, E.P; COELHO, C.A.S.; ALVES, L.M.; MARTINS, E.S.P.R.; KÖBERLE, A.C.; SINGH, R.; VAHLBERG, M.; MARCHEZINI, V.; HEINRICH, D.; THALHEIMER, L.; RAJU, E.; KOREN, G.; PHILIP, S.; KEW, S.; BONNET, R.; LI, S.; YANG, W.; SUN, J.; VECCHI, G.; OTTO, F.E.L. 2022. *Climate Change Increased Heavy Rainfall, Hitting Vulnerable Communities in Eastern Northeast Brazil*. World Weather Attribution. Disponível em <https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/Brazil-Floods-Scientific-report.pdf>. Acessado em 23 out. 2022.
- ZILLI, M.T.; CARVALHO, L.M.V.; LIEBMANN, B.; SILVA DIAS, M.A. 2017. A Comprehensive Analysis of Trends in Extreme Precipitation over Southeastern Coast of Brazil. *International Journal of Climatology*, 37(5): 2269-2279. <https://doi.org/10.1002/JOC.4840>

Endereço dos autores:

Vânia Rosa Pereira* – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura – CEPAGRI, Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária Zeferino Vaz, CEP 13083-871, Campinas, SP, Brasil. *E-mail:* rosa.vania@gmail.com

Daniel Andrés Rodriguez – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Athos da Silveira Ramos, 149, Ilha do Fundão, CEP 21941-909, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *E-mail:* daniel.andres@coc.ufrj.br

*Autor correspondente

Artigo submetido em 8 de novembro de 2022, aceito em 21 de dezembro de 2022.



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License.