



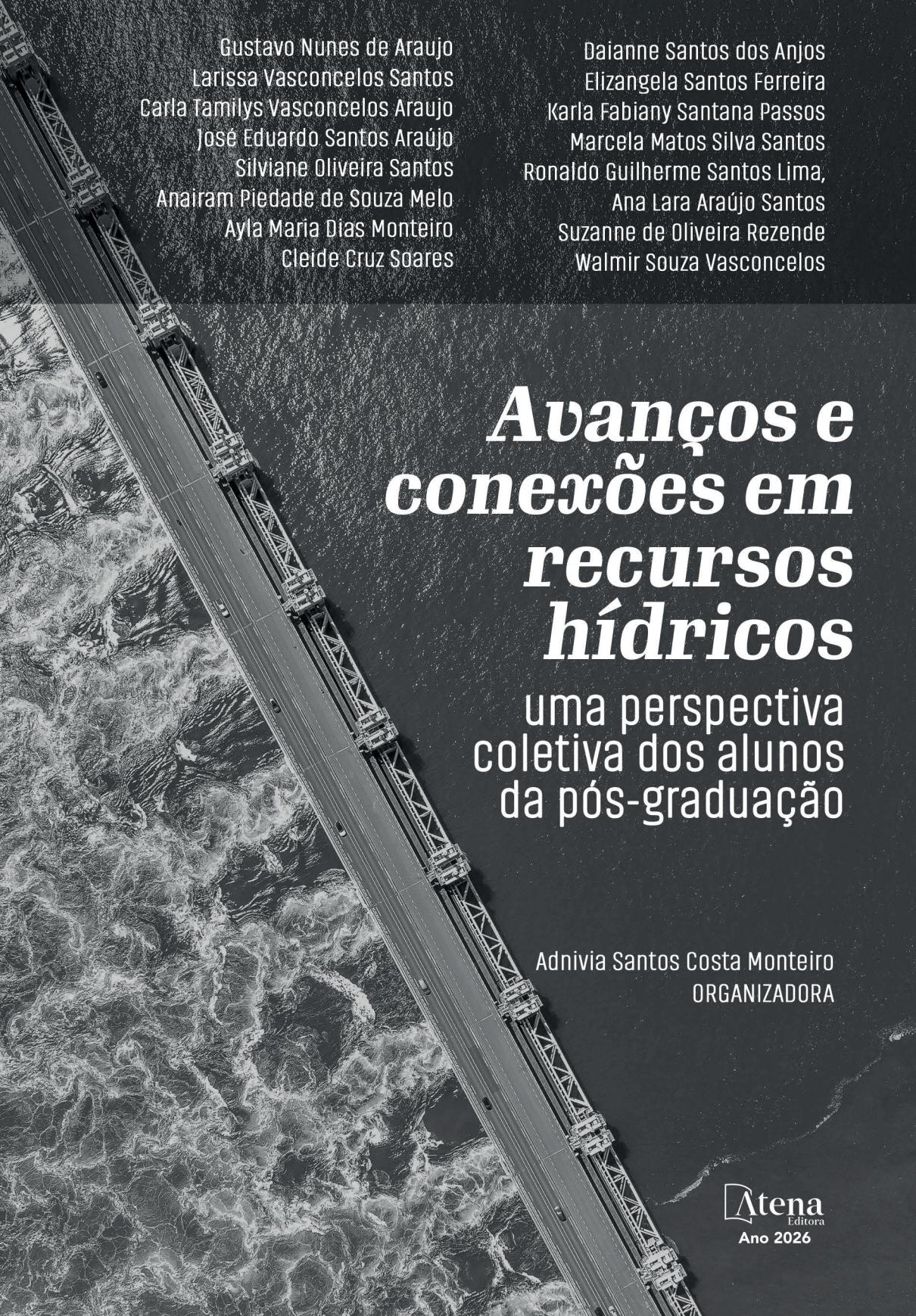
Gustavo Nunes de Araujo  
Larissa Vasconcelos Santos  
Carla Tamillys Vasconcelos Araujo  
José Eduardo Santos Araújo  
Silviane Oliveira Santos  
Anairam Piedade de Souza Melo  
Ayla Maria Dias Monteiro  
Cleide Cruz Soares

Daianne Santos dos Anjos  
Elizangela Santos Ferreira  
Karla Fabiany Santana Passos  
Marcela Matos Silva Santos  
Ronaldo Guilherme Santos Lima,  
Ana Lara Araújo Santos  
Suzanne de Oliveira Rezende  
Walmir Souza Vasconcelos

# *Avanços e conexões em recursos hídricos*

## uma perspectiva coletiva dos alunos da pós-graduação

Adnivia Santos Costa Monteiro  
ORGANIZADORA

A black and white aerial photograph of a long bridge spanning a body of water. The water is dark and shows significant white foam and spray, indicating strong currents or waves. The bridge has a dark asphalt road surface with white dashed lines and a light-colored metal railing. It appears to be a multi-lane highway. The surrounding land on either side of the bridge is visible, showing some vegetation and possibly some industrial or residential structures in the distance.

Gustavo Nunes de Araujo  
Larissa Vasconcelos Santos  
Carla Tamilys Vasconcelos Araujo  
José Eduardo Santos Araújo  
Silviane Oliveira Santos  
Anairam Piedade de Souza Melo  
Ayla Maria Dias Monteiro  
Cleide Cruz Soares

Daianne Santos dos Anjos  
Elizangela Santos Ferreira  
Karla Fabiany Santana Passos  
Marcela Matos Silva Santos  
Ronaldo Guilherme Santos Lima,  
Ana Lara Araújo Santos  
Suzanne de Oliveira Rezende  
Walmir Souza Vasconcelos

# Avanços e conexões em recursos hídricos

uma perspectiva  
coletiva dos alunos  
da pós-graduação

Adnivia Santos Costa Monteiro  
ORGANIZADORA

2025 by Atena Editora

Copyright © 2025 Atena Editora

Copyright do texto © 2025, o autor

Copyright da edição © 2025, Atena Editora

Os direitos desta edição foram cedidos à Atena Editora pelo autor.

*Open access publication by Atena Editora*

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira Scheffer

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Yago Raphael Massuqueto Rocha



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

A Atena Editora tem um compromisso sério com a transparência e a qualidade em todo o processo de publicação. Trabalhamos para garantir que tudo seja feito de forma ética, evitando problemas como plágio, manipulação de informações ou qualquer interferência externa que possa comprometer o trabalho.

Se surgir qualquer suspeita de irregularidade, ela será analisada com atenção e tratada com responsabilidade.

O conteúdo do livro, textos, dados e informações, é de responsabilidade total do autor e não representa necessariamente a opinião da Atena Editora. A obra pode ser baixada, compartilhada, adaptada ou reutilizada livremente, desde que o autor e a editora sejam mencionados, conforme a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Cada trabalho recebeu a atenção de especialistas antes da publicação. A equipe editorial da Atena avaliou as produções nacionais, e revisores externos analisaram os materiais de autores internacionais.

Todos os textos foram aprovados com base em critérios de imparcialidade e responsabilidade.

# Avanços e Conexões em Recursos Hídricos: Uma Perspectiva Coletiva dos Alunos da Pós-Graduação

## | Organizadora:

Adnívia Santos Costa Monteiro

## | Revisão:

Os Autores

## | Diagramação:

Nataly Gayde

## | Capa:

Yago Raphael Massuqueto Rocha

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A946 Avanços e conexões em recursos hídricos: uma perspectiva coletiva dos alunos da pós-graduação / Organizadora Adnívia Santos Costa Monteiro. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2026.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-3924-0

DOI <https://doi.org/10.22533/at.ed.240261102>

1. Recursos hídricos. 2. Gestão ambiental. 3.

Pesquisa interdisciplinar. I. Monteiro, Adnívia Santos Costa (Organizadora). II. Título.

CDD 333.91

**Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

## Atena Editora

📞 +55 (42) 3323-5493

📞 +55 (42) 99955-2866

🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto: contato@atenaeditora.com.br)

# CONSELHO EDITORIAL

## CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ariadna Faria Vieira – Universidade Estadual do Piauí  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidade Federal de Ouro Preto  
Prof. Dr. Cláudio José de Souza – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Elio Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Dr. Joachin de Melo Azevedo Sobrinho Neto – Universidade de Pernambuco  
Prof. Dr. João Paulo Roberti Junior – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Juliana Abonizio – Universidade Federal de Mato Grosso  
Prof. Dr. Julio Cândido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof. Dr. Sérgio Nunes de Jesus – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

# APRESENTAÇÃO

## APRESENTAÇÃO

A crescente complexidade dos desafios associados aos recursos hídricos tem exigido abordagens cada vez mais integradas, capazes de articular diferentes escalas, métodos e perspectivas científicas. Questões como governança da água, qualidade hídrica, salinização de solos e águas, mudanças climáticas e saneamento básico demandam não apenas soluções técnicas, mas também reflexões interdisciplinares que considerem os contextos socioambientais nos quais esses problemas se manifestam.

Nesse cenário, a presente obra reúne e sistematiza os principais avanços científicos desenvolvidos por doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe (PRORH/UFS). O livro é resultado direto das reflexões promovidas na disciplina **Avanços em Recursos Hídricos**, cujo propósito central foi identificar conexões entre as diferentes teses em desenvolvimento, evidenciando convergências temáticas, abordagens metodológicas e contribuições científicas para o campo dos recursos hídricos.

Mais do que uma simples reunião de estudos, esta obra assume caráter autoral e integrador, ao propor uma leitura articulada dos temas investigados pelos discentes. A partir desse exercício coletivo, foi possível compreender como pesquisas distintas dialogam entre si e como, em conjunto, ampliam o entendimento sobre a gestão, conservação e uso sustentável da água em diferentes contextos ambientais e climáticos.

Com um enfoque didático, o livro foi estruturado de modo a facilitar a compreensão dos principais conceitos, métodos e aplicações discutidos, tornando-se uma referência tanto para estudantes de pós-graduação quanto para pesquisadores e profissionais que atuam na área de recursos hídricos. Ao apresentar avanços teóricos e aplicados, a obra também contribui para o fortalecimento da formação acadêmica crítica, estimulando a reflexão sobre o papel da ciência na busca por soluções sustentáveis e socialmente justas para os desafios hídricos contemporâneos.

Assim, este livro representa não apenas um registro do amadurecimento científico dos doutorandos do PRORH/UFS, mas também um convite ao diálogo, à integração do conhecimento e ao avanço contínuo das pesquisas em recursos hídricos.

# RESUMO

## RESUMO

A água é um recurso essencial à vida e ao equilíbrio dos ecossistemas, porém seu uso inadequado e a ausência de gestão eficiente têm agravado problemas ambientais e socioeconômicos, como a salinização do solo e a escassez hídrica. Diante disso, este capítulo apresenta as contribuições dos avanços em recursos hídricos desenvolvidos por pós-graduandos do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe, com foco na gestão, conservação e uso sustentável da água. A metodologia baseou-se na elaboração de um mapa mental, construído a partir das percepções dos estudantes, e em uma revisão sistemática da literatura nas bases Scopus, Web of Science e Google Acadêmico, contemplando publicações entre 2020 e 2025. Os resultados evidenciam predominância de pesquisas realizadas no Brasil, além da abordagem de temáticas relacionadas à qualidade da água, salinidade dos solos, mudanças climáticas e saneamento. Tais estudos reforçam a importância de estratégias integradas e sustentáveis voltadas à resiliência hídrica e ao cumprimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

**PALAVRAS-CHAVE:** recursos hídricos; sustabilidade; salinização; mudanças climáticas; saneamento; poluentes emergentes.

# ABSTRACT

## ABSTRACT

**ABSTRACT:** Water is an essential resource for life and the balance of ecosystems; however, its improper use and the lack of efficient management have intensified environmental and socioeconomic problems, such as soil salinization and water scarcity. In this context, this chapter presents the contributions of advancements in water resources developed by graduate students from the Water Resources Postgraduate Program at the Federal University of Sergipe, focusing on water management, conservation, and sustainable use. The methodology was based on the creation of a mind map, built from the students' perceptions, and on a systematic literature review conducted in the Scopus, Web of Science, and Google Scholar databases, covering publications from 2020 to 2025. The results reveal a predominance of studies conducted in Brazil, as well as the inclusion of topics related to water quality, soil salinity, climate change, and sanitation. These studies highlight the importance of integrated and sustainable strategies aimed at strengthening water resilience and achieving the Sustainable Development Goals.

**KEYWORDS:** water resources; sustainability; salinization; climate change; sanitation; emerging pollutants.

# SUMÁRIO

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>4</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>5</b>
GOVERNANÇA HÍDRICA.....	7
Uso eficiente de recursos hídricos na agricultura .....	7
Operação otimizada de reservatórios .....	9
Otimização do uso de água em regiões vulneráveis.....	10
INFLUÊNCIA DA SALINIDADE EM AMBIENTES NATURAIS.....	11
Origem e classificação dos solos afetados por sais.....	11
Salinidade da água.....	13
Degradação de ambientes naturais.....	14
QUALIDADE DA ÁGUA.....	16
Águas superficiais.....	16
Poluição por Micropolásticos.....	17
Bioindicadores de contaminação .....	18
Águas subterrâneas.....	20
Tratamentos alternativos de água .....	22
MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	24
Eventos extremos .....	26
Mitigação dos efeitos das mudanças climáticas .....	27
Cidades sustentáveis .....	28
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>30</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>32</b>
<b>AUTORES.....</b>	<b>56</b>
<b>ORGANIZADORA .....</b>	<b>59</b>



# INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável para a sobrevivência de todas as espécies, assegurando a saúde humana e a preservação dos ecossistemas (Kozen *et al.*, 2024). No entanto, o crescimento populacional, associado à intensificação das atividades antrópicas, tem tornado os recursos hídricos cada vez mais escassos e menos acessíveis a determinados estratos sociais (Gontijo *et al.*, 2024). O uso inadequado desses recursos, aliado à ausência de uma gestão eficiente, resulta em diversos problemas ambientais, como a salinização do solo induzida pela irrigação (Singh, 2021).

Partindo dessa problemática, observa-se que a salinidade em ambientes naturais representa um dos maiores desafios para produção agrícola e a sustentabilidade dos ecossistemas em regiões áridas e semiáridas (Carmo; Shima, 2024; Wijitkosum, 2021). Os solos halomórficos, formados por processos naturais ou induzidos por atividades antrópicas, são classificados como salinos, salino-sódicos e sódicos, os quais afetam diretamente as propriedades químicas e físicas dos solos (Montoroi, 2018; Syed *et al.*, 2021; Daba, 2025).

A compreensão da dinâmica desses solos exige considerar fatores locais que condicionam sua formação e comportamento. O material de origem do solo influencia o teor de sais na água, sua composição iônica e qualidade, sendo esses aspectos condicionados por fatores climáticos, geológicos, hidrológicos e sazonais (Lima *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2022). Além disso, altas taxas de evapotranspiração, má drenagem e uso inadequado da irrigação comprometem a qualidade dos recursos hídricos e a fertilidade dos solos (Castro; Santos, 2020; Saraiva Filho e Bonilla 2022). Nesse contexto, tecnologias como o sensoriamento remoto e modelos de inteligência artificial têm se mostrado eficazes no monitoramento e manejo desses ambientes, sujeitos à intensa ação antrópica nas últimas décadas (Monteiro *et al.*, 2022; Mohamed *et al.*, 2023).

Ao mesmo tempo, a qualidade da água é essencial para a saúde pública, a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável. Diante das pressões antrópicas sobre os recursos hídricos (Kozen *et al.*, 2024), torna-se necessário o monitoramento e o tratamento adequado das águas, em conformidade com as

legislações vigentes. Adicionalmente, diversas comunidades ainda não possuem acesso adequado à água potável, exigindo maiores investimentos e soluções tecnológicas adequadas às realidades locais para melhorar a qualidade de vida da população (Chave; Marques; Malheiros, 2025). Nesse contexto, métodos de avaliação da qualidade e alternativas de tratamento buscam atender aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), conforme preconiza a Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), reforçando a importância de estratégias integradas e sustentáveis para garantir a disponibilidade e a preservação dos recursos hídricos.

Esses desafios tornam-se ainda mais expressivos diante das mudanças climáticas, que se configuram como um dos mais complexos e desafiadores problemas do século XXI (Marengo *et al.*, 2023; Gatti *et al.*, 2021). Sejam de origem antrópica ou natural, estas provocam impactos significativos para os ecossistemas em escala global (Marengo *et al.*, 2024; Collischonn *et al.*, 2025). Dessa forma, é possível afirmar que o aquecimento global tem modificado padrões significativos nos fluxos de energia e umidade na atmosfera, intensificando o aumento da frequência de extremos hidrometeorológicos, incluindo secas, enchentes e ondas de calor (Santana *et al.*, 2024; Agbo *et al.*, 2023).

A mitigação das mudanças climáticas requer estratégias integradas que unam restauração de ecossistemas, reuso de águas pluviais e Soluções Baseadas na Natureza para reduzir emissões e fortalecer a resiliência hídrica (Lima *et al.*, 2022; Freitas *et al.*, 2022; Alencar *et al.*, 2024). Práticas como drenagem sustentável e recarga de aquíferos reforçam a adaptação a secas e inundações (Acosta *et al.*, 2023; Febriana *et al.*, 2020; Justino; Falaicha; Barbassa, 2021), em consonância com o Acordo de Paris (2015) e a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, 2025). Nesse contexto, é imprescindível reconhecer que as cidades sustentáveis, por sua vez, apresentam-se como soluções para questões voltadas às mudanças climáticas, além de fomentar os serviços ecossistêmicos (Yu, 2022; Morgado *et al.*, 2025).

Adicionalmente, a universalização do saneamento básico configura-se como um pilar fundamental para a sustentabilidade hídrica e a promoção da saúde pública, especialmente em regiões vulneráveis. O acesso pleno aos serviços de abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgotos é imprescindível para prevenir a contaminação dos recursos hídricos e diminuir os impactos negativos sobre os ecossistemas aquáticos (Brasil, 2020; Kozen *et al.*, 2024). A universalização contribui não apenas para a melhoria da qualidade de vida da população, reduzindo doenças de veiculação hídrica, mas também para a conservação dos solos e águas superficiais, mitigando os efeitos da poluição difusa e incentivando práticas mais sustentáveis de uso dos recursos naturais (Hutton; Varughese, 2016; Gontijo *et al.*, 2024). Nesse sentido, políticas integradas que promovam investimentos tecnicamente fundamentados e alinhados aos objetivos do Desenvolvimento Sustentável são

essenciais para garantir a equidade no acesso e a resiliência socioambiental das comunidades frente aos desafios climáticos e socioeconômicos contemporâneos (United Nations, 2023; Sousa et al., 2022).

Diante do exposto, este capítulo tem como objetivo apresentar as contribuições dos avanços em recursos hídricos desenvolvidos pelos pós-graduandos do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos (PRORH), destacando temáticas voltadas à gestão, conservação e uso sustentável da água em diferentes contextos socioambientais.



## METODOLOGIA

A pesquisa iniciou com a criação de um mapa mental, que refletiu as percepções dos estudantes de pós-graduação do Programa de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe, especificamente na disciplina de Avanços em Recursos Hídricos. Desse modo, o mapa mental possibilitou a identificação das principais percepções dos estudantes e serviu como fundamento para a determinação dos tópicos tratados no capítulo.

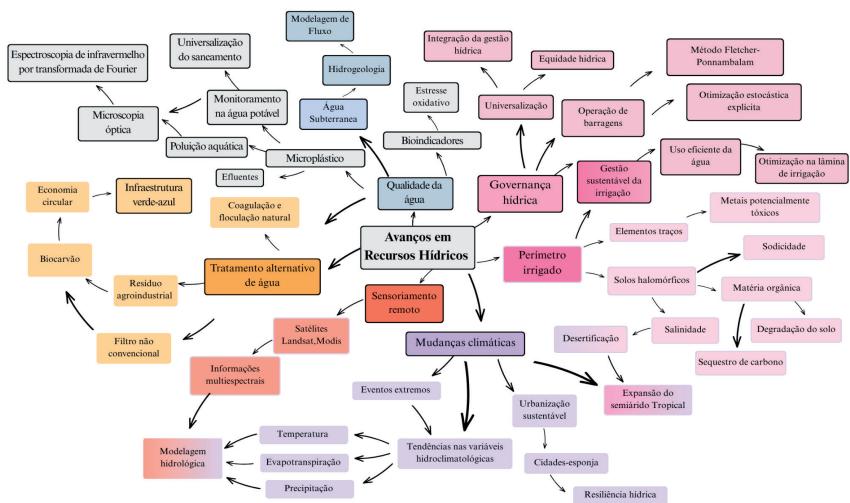
Posteriormente, foi conduzida uma revisão sistemática da literatura nas bases Scopus, Web of Science e Google Acadêmico, levando em conta publicações divulgadas entre 2020 e 2025. Ademais, foi realizada uma análise geográfica dos estudos selecionados para identificar os países onde as pesquisas foram realizadas e observar quais regiões apresentaram maior frequência de publicações utilizadas para desenvolvimento deste estudo.



## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A construção do mapa mental (Figura 1), elaborado a partir das percepções dos estudantes da pós-graduação, permitiu identificar as principais ideias e pesquisas dos discentes, servindo como base para a organização dos temas abordados.

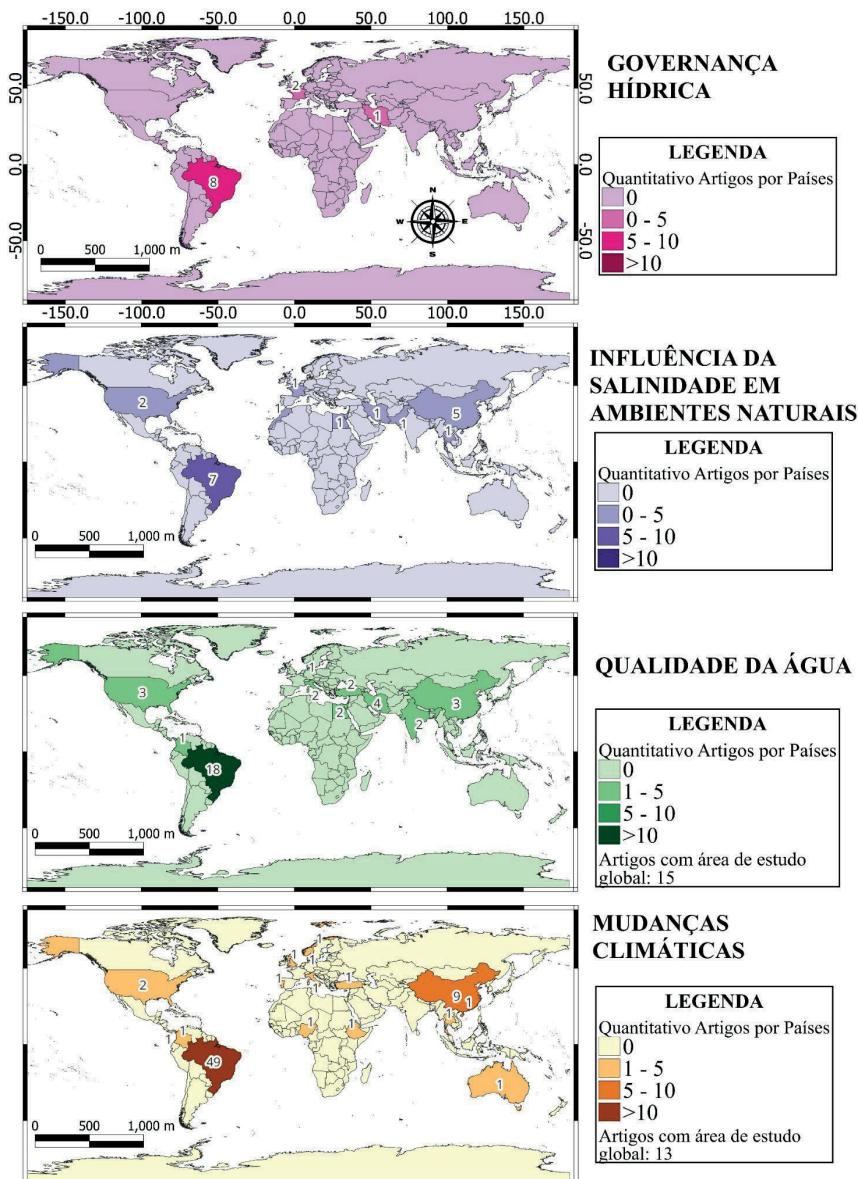
Figura 1. Mapa mental com as conexões entre as percepções dos alunos acerca dos temas centrais desenvolvidos nas pesquisas da pós-graduação.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a seleção dos trabalhos nas bases de dados que subsidiaram as seções deste capítulo foi realizada uma análise das áreas de estudo dos artigos (Figura 2). Observou-se uma predominância de pesquisas desenvolvidas no Brasil, o que provavelmente reflete a vinculação geográfica dos pesquisadores responsáveis por este estudo. Salienta-se que trabalhos em que a área de estudo foi de forma global também foram utilizados para a realização deste trabalho, analisando o comportamento dos temas abordados em diversas partes do mundo.

Figura 2. Mapa Coroplético das áreas de estudos dos artigos selecionados para desenvolvimento deste trabalho



## GOVERNANÇA HÍDRICA

### Uso eficiente de recursos hídricos na agricultura

A água é um recurso essencial à manutenção da vida e à produção agrícola, em que desempenha um papel central na segurança alimentar e no desenvolvimento socioeconômico. A agricultura irrigada tem sido indicada como o setor responsável por cerca de 70% das retiradas de água doce, seguida pela indústria e pelos usos domésticos (UNESCO, 2024). A crescente pressão sobre os mananciais, decorrente da intensificação das atividades antrópicas, das mudanças climáticas e da expansão da fronteira agrícola, tem imposto desafios à sustentabilidade do uso da água. Diante desse cenário, é importante compreender que o uso eficiente dos recursos hídricos na agricultura está intrinsecamente ligado à existência de uma governança hídrica sólida e de mecanismos de gestão integrados e participativos (Gontijo et al., 2024; Volken et al., 2022).

A governança hídrica refere-se ao conjunto de processos institucionais, legais e sociais que definem quem e como decidem, e com quais instrumentos será realizada a alocação da água (OECD, 2015). No Brasil, essa estruturação é orientada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433/1997, que reconhece a água como um bem de domínio público, dotado de valor econômico e cuja gestão deve assegurar o uso múltiplo e integrado dos recursos (BRASIL, 1997). Essa lei estabelece princípios como a descentralização, a participação dos usuários e da sociedade civil e a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão.

A gestão dos recursos hídricos, por sua vez, compreende os instrumentos que operacionalizam a governança, como os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos d'água, a outorga de direito de uso, a cobrança pelo uso, a compensação a municípios e o sistema de informações (BRASIL, 1997). Estudos como o de Volken et al. (2022), ao analisarem a gestão da demanda agrícola na bacia do Rio Urubu, demonstram que a eficiência hídrica depende não apenas de tecnologias de irrigação, mas também de arranjos institucionais que articulem diferentes escalas de decisão.

No contexto das políticas públicas, a política de irrigação ganha destaque como ferramenta de segurança hídrica e de eficiência produtiva. A articulação entre governança, gestão e políticas públicas constitui, portanto, a base para a sustentabilidade do uso da água no meio agrícola. Assim, o uso eficiente dos recursos hídricos não deve ser entendido apenas como um conjunto de técnicas de irrigação, mas como resultado de uma política pública coerente, capaz de equilibrar produtividade, equidade social e conservação ambiental (Castro, 2018; Estevam et al., 2021).

A política de irrigação baseada na governança hídrica torna-se ferramenta essencial em ambientes onde a água é recurso limitado, como no semiárido que possui um regime pluviométrico irregular, associado a alta evaporação, altas temperaturas e baixa precipitação e a irrigação é o único meio de viabilizar cultivos em períodos fora da estação chuvosa (Rodrigues *et al.*, 2021). O manejo de irrigação realizado da forma correta torna-se um fator decisivo para a gestão dos recursos hídricos na agricultura. Atualmente, existem vários programas de manejo de irrigação que facilitam as tomadas de decisão por parte do produtor, com diferentes níveis de exigência de interatividade e de manutenção (Petry *et al.*, 2024).

Dentro deste contexto, as metodologias desenvolvidas são fundamentais para o avanço de práticas sustentáveis na agricultura irrigada. O principal foco destas metodologias consiste na ideia de disponibilizar a água para determinada cultura na quantidade adequada, evitando desperdícios e garantindo a produção agrícola, e ao mesmo tempo, deve ser uma metodologia que o produtor saiba manejá-la, isto é, que seja simples e prática, e que o desonere da obrigatoriedade de alimentar o sistema com uma gama de informações muitas vezes distantes do domínio do produtor irrigante (Petry *et al.*, 2024).

Essas metodologias, desenvolvidas por universidades e outras instituições, fundamenta-se em princípios como o balanço hídrico do solo, evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>), evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), irrigação por demanda, umidade do solo e lisimetria (Jenkins *et al.*, 2024). Cada metodologia aborda esses princípios de forma particular, mas todas têm um propósito comum: determinar a quantidade ideal de água a ser aplicada na irrigação.

Entretanto, muitas dessas metodologias apresentam elevada complexidade, o que as torna pouco acessíveis aos produtores. Assim, é necessário adaptar os princípios científicos às condições reais do campo, sem perder a eficiência técnica. Um exemplo é a lisimetria, método que avalia o balanço hídrico no solo e pode ser aplicada por pesagem ou drenagem (Sulino *et al.*, 2019). Mais especificamente, essa metodologia pode ter abordagens de aplicação específica, sendo incorporadas em sistemas de manejo de irrigação, desenvolvidas por pesquisadores para atender as necessidades de irrigação de produtores. Santos *et al.* (2020) apresenta uma forma acessível e eficiente de utilização do manejo de irrigação para produtores em diferentes níveis, O SLIMCAP (Sistema Lisimétrico de Informações para Monitoramento do Consumo de Água pelas Plantas). Esta metodologia combina lisímetros de drenagem e aplicativo móvel para monitorar o consumo de água pelas plantas (evapotranspiração da cultura) e auxiliar na tomada de decisão no manejo da irrigação.

## Operação otimizada de reservatórios

O estudo de dimensionamento de reservatórios e de regularização de vazão em rios são aspectos importantes e que vêm sendo trabalhados ao longo dos anos com relação a gestão sustentável e governança hídrica. Os métodos tradicionais se baseiam na curva de massa e simulação. Tais métodos utilizam-se das séries históricas de dados sem considerar incertezas, ou seja, em situação determinística ao considerar que as características estatísticas da série de entradas serão completamente mantidas no futuro (ARAÚJO, CELESTE, 2024).

Em trabalhos recentes é introduzido a estocasticidade hidrológica com a consideração das incertezas nos dados de entrada, tanto para dimensionamento como para operação. Araújo e Celeste (2024) realizaram refinamento ao método estocástico explícito de Fletcher-Ponnambalam (FP) para dimensionamento de reservatórios com o intuito de construir relações capacidade-regularização-confiabilidade-vulnerabilidade. Para validar o modelo FP-SYRV, são utilizados registros históricos de vazão natural ao reservatório de Sobradinho. O modelo dependeu de assumir uma distribuição de probabilidade para as afluências do reservatório com o intuito de facilitar a resolução de várias integrais relativas às equações dos momentos estatísticos. A prática comum é assumir a distribuição gaussiana para as afluências, simplificando a derivação das expressões analíticas.

No que tange a operação de reservatórios, Celeste, Siqueira e Cai (2021) apresentaram uma maneira alternativa de aproximar a solução das várias integrais presentes no método FP usando amostras dos registros históricos de afluência. Para determinar os momentos estatísticos do armazenamento e as probabilidades de contenção, vertimento e déficit, essa abordagem permite obter informações estatísticas com boa precisão sem necessitar a consideração de uma distribuição específica, como a normal. Além disso, as expressões formuladas são mais curtas e exigem menor poder computacional.

Em novo aprimoramento ao método de Fletcher-Ponnambalam para operação de reservatórios, Mousavi et al. (2022) implementaram uma abordagem inovadora que evita o uso de restrições não lineares, reduzindo o número de variáveis e melhorando o desempenho computacional com uma significativa diminuição no tempo de resolução. A aplicação dessa abordagem a uma grande barragem no Brasil e a um sistema de reservatórios na Índia resultou em desempenhos satisfatórios.

A versão mais recente do método para o contexto de operação de reservatórios, apresentada por Mousavi e Ponnambalam (2025), foi aplicada a sistemas hidrelétricos multi-reservatório e incorpora equações analíticas para o cálculo direto da energia gerada em função das liberações e dos volumes armazenados. A formulação utiliza uma regra de decisão do tipo S, com foco na maximização do valor esperado da

produção anual de energia, além de permitir a estimativa da variância mensal dessa produção. Os resultados indicaram que o método FP apresentou desempenho comparável ao de abordagens mais complexas, como a Programação Dinâmica Estocástica (PDE) e a Otimização Estocástica Implícita (OEI), com a vantagem de exigir significativamente menos recursos computacionais.

## Otimização do uso de água em regiões vulneráveis

A otimização do uso da água em regiões vulneráveis tornou-se uma temática central nas discussões sobre o avanço do direito à universalização do saneamento básico no Brasil. Embora o país tenha experimentado melhorias institucionais após a Lei nº 14.026/2020, que estabeleceu metas ambiciosas para ampliar o acesso à água potável e ao esgotamento sanitário até 2033, ainda subsistem obstáculos consideráveis que dificultam a concretização desse compromisso. Estima-se que cerca de 34 milhões de brasileiros não possuam acesso a sistemas formais de água e mais de 90 milhões vivem sem coleta e tratamento de esgoto, números que destacam o longo caminho a ser percorrido, apesar das diretrizes claras presentes no Novo Marco Legal do Saneamento (Brito, 2025; Instituto Trata Brasil, 2025).

Essas dificuldades são especialmente agudas nos municípios das regiões Norte e Nordeste, os quais enfrentam desafios históricos e estruturais classificados por baixos níveis de atendimento, alta vulnerabilidade social, limitações técnicas e financeiras e, muitas vezes, deficitária capacidade de governança pública. O Ranking do Saneamento 2025 evidencia, por exemplo, que grandes cidades nordestinas apresentam indicadores de atendimento total inferiores a 4% e índices de perdas na distribuição de água que ultrapassam 70%, quando o ideal seria menos de 25%. Por outro lado, localidades do Sul e Sudeste, mais favorecidas por investimentos e regulação mais eficiente, apresentam desempenho muito superior, o que reforça o peso das disparidades regionais e da necessidade de uma política pública ajustada às realidades locais (Ranking do Saneamento 2025).

A otimização do uso da água nesses contextos perpassa diversas estratégias. Entre elas estão a implementação de sistemas de monitoramento das redes de distribuição, tecnologias de detecção e redução de perdas físicas e comerciais, e uso de soluções descentralizadas quando as condições geográficas ou de adensamento populacional dificultam a implantação dos modelos convencionais. O planejamento territorial integrado, o fortalecimento institucional dos órgãos reguladores e gestores locais, bem como a ampliação dos investimentos por meio de parcerias público-privadas e consórcios intermunicipais, são apontados como fatores-chave para a viabilização de soluções duradouras e eficientes (Brito, 2025).

Um dos pontos mais relevantes da literatura recente é a relação direta entre acesso à água segura e indicadores de saúde pública, produtividade econômica e escolarização. A expansão do saneamento básico, especialmente nas áreas mais vulneráveis, têm efeito comprovado na redução da mortalidade infantil, da incidência de doenças de veiculação hídrica e nos custos do sistema de saúde, além de contribuir para a preservação ambiental e para a justiça social em sentido amplo (Instituto Trata Brasil, 2025). Pesquisas reforçam que, para alcançar de fato a universalização, não basta o aumento dos investimentos, ainda insuficientes diante do desafio, mas também são indispensáveis esforços para promover inovação tecnológica, capacitação da gestão local, engajamento social e comunitário permanente no controle dos serviços e na tomada de decisões.

Apesar dos avanços proporcionados pelo novo marco regulatório de saneamento, a universalização ainda esbarra na falta de planejamento de longo prazo, em alterações frequentes das normas e na instabilidade jurídica, que podem desalentar investimentos de grande porte, sobretudo privados. Iniciativas mais recentes buscam flexibilizar exigências para pequenos municípios, o que gera críticas quanto à possibilidade de perpetuar desigualdades de infraestrutura e atendimento entre regiões (CLP, 2024; Brito, 2025).

Portanto, a otimização do uso da água em regiões vulneráveis, considerando o objetivo da universalização, requer uma combinação de investimentos contínuos, inovação tecnológica, regulação estável, fortalecimento dos arranjos institucionais, participação social ativa e estratégias personalizadas para cada território. Cabe ao poder público conduzir o processo de forma transparente e articulada, integrando diferentes políticas setoriais e promovendo a justiça hídrica como vetor fundamental de cidadania e desenvolvimento sustentável.

## **INFLUÊNCIA DA SALINIDADE EM AMBIENTES NATURAIS**

### **Origem e classificação dos solos afetados por sais**

Os solos halomórficos, conhecidos como salinos, sódicos e salinos-sódicos, são formados em ambientes sob condições de má drenagem. Nessas condições, ocorre o acúmulo de sais solúveis e sódio trocável nas camadas mais superficiais do solo (Syed *et al.*, 2021). Segundo a classificação americana de 1938, esses solos eram incluídos na ordem dos Intrazonas, cuja formação estava fortemente condicionada por fatores locais, especialmente pelo acúmulo de sais solúveis e sódio trocável. Com o avanço e a modernização do sistema de classificação de solos, essa ordem foi descontinuada. Atualmente os solos halomórficos podem ser enquadrados em diferentes ordens entre as doze reconhecidas, conforme seus horizontes diagnósticos, propriedades químicas e físicas (Hassani *et al.*, 2020).

O processo de salinização pode ser natural (primária), associado à própria pedogênese, ou induzido por atividades antrópicas (secundária) (Montoroi, 2018). Do ponto de vista histórico, teorias clássicas sobre a gênese e evolução desses solos remontam aos trabalhos de K. K. Gedroits, na década de 1920, destacando o papel da química coloidal e da saturação por cátions. Tais fundamentos foram reavidos e detalhados por pesquisadores norte-americanos, como C. E. Kellogg, nas décadas seguintes, servindo de base para modelos atuais, como o SOTE (Salt of the Earth) Model, voltado à avaliação de riscos de degradação associados à salinidade e à sodicidade em sistemas agrícolas (Kramer *et al.*, 2020).

Os solos halomórficos são formados a partir de processos como a salinização, a solonização e a solodização (Pessoa *et al.*, 2019). A salinização ocorre devido ao acúmulo de sais solúveis, com presença de íons de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  originando os solos salinos com predominância de cloretos e sulfatos de sódio e potássio. Esses solos mantêm boa permeabilidade devido ao baixo teor de sódio trocável. Quando a Percentagem de Sódio Trocável (PST) é igual ou superior a 15% e a condutividade elétrica (CE)  $\geq 4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , formam-se os solos salino-sódicos. A solonização que consiste na evolução do processo de salinização ocorre em duas fases: a sodificação, com a adsorção de  $\text{Na}^+$  no complexo coloidal, e a solodização, que remove sais solúveis e dá origem aos solos sódicos (Singh, 2021; Kramer e Mau, 2023; Daba, 2025).

Entender os processos de salinização é fundamental para a identificação e o manejo de solos halomórficos em diferentes regiões do mundo. No Oásis de Siwa, Egito, um estudo avaliou a eficiência de índices espectrais para monitoramento da salinidade do solo, combinando imagens de satélite Landsat com medições de condutividade elétrica (CE) em campo. Os resultados mostraram alta correlação em áreas moderadamente salinas ( $r = 0,96$ ;  $R^2 = 0,89$ ), mas menor precisão em zonas de salinidade extrema ( $r = 0,56$ ), revelando o potencial e as limitações do método (Salem e Jia, 2024). Isso demonstra que a integração entre o conhecimento pedogenético e o sensoriamento remoto, é essencial para identificar e classificar solos afetados por sais de uma maneira mais eficiente e sustentável.

Mohamed e colaboradores (2023), integraram sensoriamento remoto e inteligência artificial, usando Machine Learning e seleção de variáveis, para mapear solos salinos em uma região árida do Egito. Os modelos de Machine Learning superaram as limitações dos métodos tradicionais, melhorando a escolha das variáveis e a precisão das análises. Essa abordagem avançada tornou o monitoramento da salinidade mais eficiente, favorecendo o manejo agrícola sustentável e o uso racional dos recursos naturais.

## Salinidade da água

A água é um recurso essencial para a vida e desempenha um papel fundamental na regulação do clima da Terra (Chang, 2019). Suas características físicas, químicas e biológicas, variam conforme a região, e seu uso na agricultura está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao aumento da produtividade em diversas partes do mundo (Yang *et al.*, 2021; Reche *et al.*, 2016). No entanto, a escassez de recursos hídricos tem se agravado devido ao crescimento populacional desordenado, à redução da cobertura vegetal e à degradação ambiental, fatores que comprometem tanto a recarga quanto a qualidade das reservas de água (Silveira *et al.*, 2022).

Independentemente de sua origem, as águas, seja ela pluvial, superficial (rios, lagos e açudes) ou subterrânea (poços e cacimbas), apresentam sais dissolvidos em concentrações variáveis (Wang *et al.*, 2025). A composição iônica e a qualidade desses recursos hídricos são condicionadas por fatores climáticos, geológicos, hidrológicos e sazonais (Zhang *et al.*, 2022).

Em regiões áridas e semiáridas o material de origem dos solos tem influência direta na salinidade da água (Lima *et al.*, 2017). Dessa forma, estudos hidrogeoquímicas conduzidos em aquíferos cristalinos do semiárido cearense evidenciam que diversas amostras de água subterrânea apresentam em sua composição a predominância de íons de sódio e cloreto, com características intermediárias entre águas doces e salinizadas. A influência desses íons está associada, principalmente, à dissolução de sais evaporíticos e precipitados salinos acumulados na zona não saturada e nos sedimentos de lagoas temporárias durante os períodos de estiagem. Tais processos refletem a forte influência da evaporação e da concentração de sais sobre a evolução química das águas subterrâneas em ambientes áridos e semiáridos (Kreis *et al.*, 2024).

Nesse sentido, Salem e Jia (2024), ao aplicarem técnicas de sensoriamento remoto no Oásis de Siwa, Egito, apresentaram avanços significativos na identificação e monitoramento de águas salinas, sobretudo em regiões áridas e semiáridas, onde os processos intensos de evaporação e a má drenagem favorecem o acúmulo de sais. A integração entre dados de campo e imagens multiespectrais de satélite, possibilitou detectar e quantificar a concentração de sais dissolvidos tanto em corpos d'água superficiais quanto nos solos adjacentes, aprimorando a precisão e a abrangência das análises hidrogeoquímicas.

Monteiro e colaboradores (2022), utilizaram o modelo PHREEQC para simular como a evaporação influencia a composição iônica das águas superficiais em regiões semiáridas. O estudo mostrou que a evaporação intensa e a cristalização de sais são as principais causas do aumento da salinidade, reforçada pela dissolução de minerais e trocas iônicas. Esses resultados oferecem subsídios valiosos para o manejo sustentável da água e o controle da salinização em áreas sujeitas à escassez hídrica.

## Degradação de ambientes naturais

O processo de degradação de ambientes naturais pelo excesso de sais, tornou-se um problema crescente a nível global, impactando diretamente os ecossistemas, os recursos hídricos e a produtividade agrícola (Hossain; Li, 2024). O aumento de áreas degradadas proveniente do processo de salinização do solo, cresceu substancialmente nas últimas décadas, fatores estes oriundos do uso inadequado de terras marginais e de práticas ineficientes de manejo do solo e água utilizada na irrigação (Castro; Santos, 2020).

As ações humanas têm modificado o equilíbrio natural do ciclo hidrológico, impactando significativamente na qualidade da água e contribuindo para o aumento dos níveis de sal (Herbert *et al.*, 2015). O acúmulo de sais solúveis eleva a concentração de íons na água e no solo, desencadeando o processo de salinização (Sharma; Bhatt, 2023). Embora a irrigação, tenha causado uma “mini revolução verde”, inicialmente trazendo efeitos positivos em áreas áridas e semiáridas (IPCC, 2019), a mesma, após alguns anos, provoca impactos negativos, devido à ausência de manejo tanto do solo como da própria água de irrigação, sendo uma das principais causas pelo processo salinização e degradação de ambientes naturais (Taghipour-Javi *et al.*, 2016; Lahlaoui *et al.*, 2017; Wijitkosum, 2021).

O processo de salinização da água está diretamente ligado ao do solo. Segundo Cui *et al.* (2019), a qualidade da água subterrânea influencia o acúmulo de sais no solo, problema este que se intensifica com o uso excessivo da irrigação, a elevada taxa de evaporação e a presença de lençóis freáticos rasos. Dessa forma, a salinização da água acarreta diversas consequências, tanto ecológicas quanto socioeconômicas. Ela compromete os ecossistemas aquáticos e interfere nas funções fisiológicas essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Mohanavelu; Naganna; Al-Ansari, 2021).

Lilatien e Zeeb (2020) analisaram as concentrações e composições químicas dos sais, ressaltando que, em determinados níveis, a salinidade pode até contribuir positivamente para algumas propriedades físicas do solo. No entanto, quando essas concentrações se tornam elevadas os efeitos passam a ser negativos, comprometendo a produtividade agrícola e a qualidade ambiental ao redor. A salinização provoca a degradação do solo, alterando suas propriedades físicas, químicas e hidráulicas, favorecendo o aumento do escoamento superficial e da erosão. Como consequência, os impactos se estendem para o meio ambiente, agricultura, sociedade e os ecossistemas de uma forma geral (Daba, 2025).

O processo de salinização altera a composição iônica do solo bem como a pressão osmótica, de forma a afetar a microbiota reduzindo suas atividades enzimáticas. Consequentemente esses efeitos incidem diretamente na composição nutricional dos

solos, havendo uma indisponibilidade de nutrientes para as plantas e microrganismos que compõe a microbiota do solo, acarretando no desaparecimento de espécies mais vulneráveis (Li *et al.*, 2021; Haj-Amor, *et al.*, 2022).

Os solos são fortemente influenciados pela presença de sais e sedimentos oriundos de terras marginais. Estudos recentes evidenciam que determinados microrganismos pertencentes a táxon bacteriano apresentam capacidade de resistir a estresses significativos induzidos por condições de elevada salinidade (Rath *et al.*, 2019; Wan *et al.*, 2021). Além disso, observa-se uma redução de carbono orgânico no solo em ambientes salinos, acarretando a diminuição do potencial osmótico da solução do solo, refletindo na redução da atividade microbiana. Tais condições favorecem a toxicidade por íons comprometendo a decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), intensificando os desafios para a sustentabilidade da produção agrícola global (Yu *et al.*, 2020; Shahriar *et al.*, 2021; She *et al.*, 2021).

Suleymanov *et al.* (2023), aplicaram o método de Machine Learning Random Forest para mapear propriedades do solo, como carbono orgânico, pH e teor de  $\text{Na}^+$  em uma região semiárida. O modelo apresentou alta precisão, especialmente na estimativa da salinidade ( $R^2 = 0,78$ ), destacando a importância dos índices de salinidade e NDVI, como variáveis chave. Esses resultados reforçam o valor dos dados de alta resolução no manejo sustentável de solos degradados. Segundo Salem e Jia (2024), o monitoramento contínuo e a identificação precoce de áreas salinas são fundamentais para planejar ações eficazes de recuperação e gestão ambiental.

No Nordeste brasileiro, a desertificação das áreas agrícolas tem se agravado pela salinização dos solos, resultado do uso inadequado da irrigação e da baixa eficiência dos sistemas de drenagem (Callow; Hipsey; Vogwill, 2020; Do Carmo; Shima, 2024). Esse processo reduz a fertilidade e a produtividade do solo, intensificando a degradação ambiental. As regiões mais afetadas incluem o semiárido pernambucano, especialmente Petrolina e Cabrobó; o Sertão paraibano, nas cidades de Sousa e Patos; e o Alto Sertão sergipano, em Canindé de São Francisco e Poço Redondo (Castro; Santos, 2020; Lucena, 2019; Moraes; Wanderley; Delgado, 2024).

Portanto, pesquisas nessa área contribuem para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 2 (Fome Zero), o ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e o ODS 15 (Vida Terrestre). Shokri, Hassani e Sahimi (2024) destacam que falta uma política global voltada à degradação do solo e sugerem maiores investimentos em tecnologias de mitigação, práticas de irrigação sustentáveis e políticas de reforma agrária que promovam o uso equilibrado e responsável dos recursos naturais.

## QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água constitui um tópico fundamental para a saúde pública, a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável. Os recursos hídricos estão sujeitos a pressões antrópicas, o que impacta nos parâmetros de qualidade das águas (Kozen et al., 2024), que precisam estar em conformidade com as legislações vigentes.

Nessa perspectiva, surgem os métodos para avaliar a qualidade da água e métodos alternativos de tratamento, com o intuito de atender aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), como o objetivo número 6, que diz respeito à garantia da disponibilidade e a gestão sustentável de água potável e saneamento para a população, e o ODS 14, voltado à conservação e uso sustentável dos oceanos, mares e recursos marinhos (Organização das Nações Unidas – ONU, 2015), uma vez que, a poluição impacta diretamente os ecossistemas aquáticos.

Ainda vale frisar que técnicas de monitoramento das águas, como o uso de sensoriamento remoto (Paulista et al., 2023; Brito et al., 2022) e de modelos hidrodinâmicos (Podlaseka; Bujakowskib; Koda, 2020), têm contribuído para ampliar a compreensão sobre as condições dos corpos d'água e apoiar a tomada de decisões ambientais. Desse modo, desenvolver metodologias e métodos analíticos que possam auxiliar na melhoria da qualidade da água pode representar uma importante ferramenta para o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem um desenvolvimento populacional mais sustentável.

### Águas superficiais

Conforme Brasil (2005), a água integra os princípios do desenvolvimento sustentável, sendo o controle da poluição relacionado à preservação da saúde pública, à manutenção do meio ambiente e à promoção da qualidade de vida, tendo em vista que, a saúde humana, o bem-estar e o equilíbrio ecológico aquático não devem ser comprometidos pela degradação da qualidade da água.

Ao se utilizar manancial superficial como fonte de abastecimento, torna-se necessário realizar análises referentes aos parâmetros de qualidade cor verdadeira, turbidez, pH, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, oxigênio dissolvido, fósforo total, nitrogênio amoniacal total, parâmetros orgânicos, inorgânicos e agrotóxicos (Brasil, 2021). Ademais, é essencial verificar a presença de coliformes totais e termotolerantes, dada a importância de identificar microrganismos patogênicos e potenciais fontes de contaminação.

Além disso, a presença de microplásticos (MPs) no meio aquático tem se tornado uma preocupação crescente em relação à qualidade das águas superficiais, uma vez que, após serem liberados, esses poluentes podem se dispersar amplamente,

poluindo os ecossistemas e sendo absorvidos por organismos vivos, por múltiplas vias de exposição, tornando-se necessário compreender o cenário atual desses poluentes em águas superficiais, bem como identificar os riscos ecológicos e os potenciais efeitos toxicológicos (Razzaque; Melesse, 2025).

## Poluição por Microplásticos

A poluição por Microplásticos têm se tornado um problema global pelo fato de estarem onipresentes nos ecossistemas aquáticos, causando impactos no ambiente e na saúde pública. Entre os principais efeitos associados aos MPs estão a perda de biodiversidade, a bioacumulação e biomagnificação de contaminantes químicos na cadeia alimentar, e os riscos à saúde humana (Megha *et al.*, 2025). Os danos causados aos seres humanos podem gerar consequências ainda mais graves nas próximas gerações visto que estudos já mostram a presença de microplásticos na placenta humana e no leite materno, acúmulo em tecidos como o cérebro, fígado, rins e alterações metabólicas (Ragussa *et al.*, 2021; 2022; Gracia *et al.*, 2024), além de interferir no sistema endócrino, em função da sua capacidade de afetar os sistemas neurológico, imunológico e reprodutivo de animais (Yang *et al.*, 2021).

Os microplásticos são classificados como primários ou secundários, com dimensões menores que 5 mm. Os microplásticos de origem primária são aqueles produzidos intencionalmente como os produzidos para aplicação em cosméticos e produtos de higiene pessoal, enquanto que os de origem secundária foram degradados de plásticos maiores (como embalagens) que, uma vez expostos às intempéries e outros agentes estressores, resultam em fragmentos menores atingindo o tamanho de microplásticos (Montagner *et al.*, 2021). Infelizmente, o fato de sua degradação ser muito difícil, podendo variar de 100 a 400 anos a depender do tipo de plástico, eles permanecem muito tempo no meio ambiente, gerando problemas ambientais e potenciais riscos ecológicos (Wang *et al.*, 2020; Amaral, 2022).

Devido ao seu pequeno tamanho, essas micropartículas podem passar por estações de tratamento de água e serem adsorvidos a contaminantes, tornando-se vetores de transporte para vários organismos. Além disso, por serem em sua maioria de baixa densidade, os MPs possuem propriedades flutuantes e persistentes, e têm o potencial para ser amplamente dispersos por meio de processos hidrodinâmicos e correntes oceânicas, propiciando seu acúmulo nesses ambientes, causando sérios impactos negativos (Chen *et al.*, 2023).

Dentre os parâmetros definidos pela resolução do CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, alterada e complementada pela resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, na qual classifica os corpos de água (Brasil, 2005), os microplásticos não estão contemplados nesta lista como padrão de qualidade na resolução supracitada,

mesmo diante da magnitude do problema. Em diversos estudos, MPs já foram detectados em água engarrafada, água da torneira e outras bebidas (Zhang *et al.*, 2024).

Diante da complexidade e da abrangência da presença dos MPs é de fundamental importância a necessidade de estudos que avaliem a viabilidade da inclusão dos MP em padrões de qualidade e aprofundamento de discussões que visem tratativas sobre esse poluente emergente mitigando ações na produção e consumo sustentável, fontes geradoras e campanhas educativas, envolvendo diversas esferas da gestão, principalmente em recursos hídricos.

## Bioindicadores de contaminação

A degradação dos ecossistemas aquáticos resultante das atividades antrópicas é uma realidade global, a qual impõe desafios significativos ao gerenciamento da qualidade da água. A poluição gerada por esgoto doméstico, crescimento urbano desordenado, atividades agrícolas, mineração e descarte inadequado de resíduos causa desequilíbrios nos ecossistemas de água doce. Nesse contexto, os estudos ecotoxicológicos e o biomonitoramento tornaram-se ferramentas cruciais para a avaliação da saúde dos ecossistemas aquáticos. Em várias regiões do mundo, o uso de bioindicadores e biomarcadores tem se consolidado como uma ferramenta eficaz para monitorar os efeitos dos estressores ambientais sobre os sistemas biológicos dos organismos aquáticos. Entre esses organismos, os peixes destacam-se como excelentes modelos biológicos, uma vez que estão em constante exposição às condições ambientais, ocupam diversos níveis tróficos e desempenham um papel ecológico significativo (Manjarrés-López *et al.*, 2024; Pereira *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2024).

Os xenobióticos compreendem uma ampla variedade de compostos químicos, naturais ou sintéticos, que podem ser introduzidos nos ecossistemas aquáticos por diferentes vias, como efluentes domésticos e industriais, escoamento superficial, deposição atmosférica e processos biogeoquímicos. Esses compostos, caracterizados por estruturas químicas incomuns e potencial tóxico, podem se acumular no ambiente e causar efeitos adversos à fauna, flora e à saúde humana (Priya *et al.*, 2024). A contaminação aquática envolve uma ampla gama de xenobióticos, incluindo elementos potencialmente tóxicos e pesticidas. Estes contaminantes possuem tendência de bioacumulação nos organismos vivos, especialmente no fígado, músculo e rim, mesmo em concentrações não detectáveis na água. (Manjarrés-López *et al.*, 2024; Santos *et al.*, 2024). No entanto, a acumulação de elementos potencialmente tóxicos em peixes varia significativamente entre as espécies devido a fatores como ecologia, metabolismo, hábitos alimentares e habitat (Monier *et al.*, 2023). Estudos

demonstraram que contaminantes emergentes como amantadina, terbutrina e diazepam têm potencial de bioacumulação em órgãos de peixes, como rim, fígado e cérebro (Manjarrés-López et al., 2024).

Os biomarcadores são indicadores que fornecem informações sobre os efeitos de contaminantes em organismos aquáticos, em diferentes níveis de organização biológica, celular, bioquímico e molecular, permitindo a compreensão de respostas precoces a xenobióticos (Pereira et al., 2020; Santos et al., 2024). Nos peixes, esses contaminantes podem causar alterações em vários níveis de organização biológica, tais como alterações em parâmetros relacionados ao estresse oxidativo. Esse processo ocorre quando há um desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio (EROS) e os sistemas de defesa antioxidante do organismo, induzindo danos às células e aos tecidos, manifestados principalmente como hidroxilação do DNA, desnaturação de proteínas, peroxidação lipídica e apoptose celular. Um antioxidante, por sua vez, é uma espécie química que atua como uma molécula que retarda, impede ou elimina danos oxidativos causados a outras moléculas. No sistema antioxidante enzimático, destacam-se as enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), glutationa S-transferase (GST) e glutationa redutase (GR), enquanto o sistema não enzimático é composto por moléculas como a glutationa reduzida (GSH), metalotioneínas, vitamina E e vitamina C, que atuam de forma complementar na neutralização do estresse oxidativo (Song et al., 2023; Kocalar et al., 2023).

Estudos mostram que as atividades de CAT e SOD geralmente aumentam após a exposição a elementos potencialmente tóxicos, representando a primeira linha de defesa contra o aumento da produção de ERO. A glutationa não-proteica (GSH) é um cofator que se liga à GST e à GPx para desintoxicar o corpo de xenobióticos e combater os EROS. Durante exposições agudas, os níveis de GSH podem sofrer depleção devido ao consumo elevado no processo de defesa, enquanto em exposições crônicas tendem a aumentar, refletindo um mecanismo compensatório de adaptação celular. Já no contexto da lipoperoxidação (LPO), o malondialdeído (MDA) é um dos produtos finais da degradação oxidativa de lipídios, sendo amplamente reconhecido como um biomarcador sensível de estresse oxidativo e dano celular (Santos et al., 2024; Kocalar et al., 2023).

A avaliação de biomarcadores tem se mostrado uma ferramenta eficaz para evidenciar os efeitos deletérios da má qualidade da água sobre a saúde da biota aquática. Em ambientes impactados, como rios que recebem efluentes domésticos e industriais, diversos estudos relatam alterações neurotóxicas, expressas pela redução da atividade da acetilcolinesterase no cérebro, além do aumento da atividade de enzimas antioxidantes e da intensificação dos danos por lipoperoxidação (Santos et al., 2024). Saç e Yeltekin (2023) avaliaram os efeitos neurotóxicos e oxidativos do arsênio em trutas-arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), evidenciando acentuado estresse

oxidativo nos tecidos cerebrais. A exposição ao arsênio resultou em desequilíbrio do sistema redox, associado à ativação de respostas inflamatórias, danos ao DNA e indução de vias apoptóticas neuronais, indicando o alto potencial desse metalóide em comprometer a integridade celular e a função neurológica de organismos aquáticos expostos.

Embora contaminantes como pesticidas ou elementos potencialmente tóxicos possam não ser detectados na matriz aquática, as respostas proeminentes dos biomarcadores no peixe (bioindicador) demonstram a presença de impacto ambiental e a acumulação de xenobióticos ao longo do tempo. Dessa forma, é fundamental o desenvolvimento de estudos futuros que expandam as matrizes analisadas para melhor qualificar a contaminação, incluindo os contaminantes emergentes (Manjarrés-López et al., 2024; Santos et al., 2024).

## Águas subterrâneas

A geologia exerce papel determinante nos sistemas de água subterrânea, uma vez que a litologia, a geometria dos depósitos, as estruturas tectônicas como falhas e fraturas e as heterogeneidades de rocha influenciam a porosidade, a permeabilidade e os caminhos de circulação da água. Estudos recentes demonstram que “a geologia do substrato rochoso, os sistemas de aquíferos fraturados e a configuração estrutural, causam variações espaciais substanciais na química das águas subterrâneas” (Levy; Fram, 2021). Em ambientes onde a estrutura geológica apresenta falhas preexistentes ou fraturas, a recarga e o escoamento subterrâneo podem ser significativamente condicionados a essas estruturas geológicas.

A classificação dos aquíferos é essencial para a compreensão de como a água é armazenada, circula e interage com os materiais geológicos. De modo clássico, distinguem-se aquíferos livres (não confinados), semiconfinados e confinados (artesianos). Estudos recentes revisam essa tipologia ampliando-a para sistemas sedimentares, fraturados, de rochas cristalinas/fraturadas e hidrogeologicamente complexos (Aranguren-Díaz et al., 2024). Assim, ao se estudar um aquífero ou recurso subterrâneo, torna-se imperativo considerar a arquitetura geológica — tipo de rocha, grau de fraturamento, estrutura tectônica e nível de meteorização — como base para avaliação de disponibilidade, vulnerabilidade e fluxos de água subterrânea. Dessa forma, o entendimento do tipo de aquífero é crucial para o delineamento de perímetros de proteção, estimativa de rendimento e avaliação de risco de contaminação.

As águas subterrâneas são uma fonte vital de recursos hídricos, representando uma parte significativa do abastecimento de água em diversas regiões (Loaiciga; Doh, 2023), atuando como reserva estratégica para garantir a segurança hídrica

de comunidades. Relatório da United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO, 2022) destaca que a água subterrânea representa uma parcela elevada da água doce líquida disponível no planeta e é cada vez mais relevante para segurança alimentar e hídrica, sendo fundamental para diferentes usos, como a agricultura, o consumo humano e a manutenção dos ecossistemas hídricos.

Assim, a análise e o monitoramento da qualidade hídrica são essenciais e devem seguir as diretrizes das normativas vigentes, como a CONAMA nº 396 (Brasil, 2008) e a portaria nº 888 do Ministério da Saúde (Brasil, 2021). Desse modo, normativas como a CONAMA nº 396 estabelecem padrões e diretrizes que orientam a gestão e o monitoramento da qualidade da água, assegurando que as fontes subterrâneas sejam utilizadas de forma sustentável e responsável (Brasil, 2008). Além disso, quando a fonte de abastecimento for manancial subterrâneo, de acordo com Brasil (2021), os parâmetros analisados devem ser cor verdadeira, turbidez, fósforo total, pH, nitrogênio amoniacal total, condutividade elétrica, os parâmetros orgânicos, inorgânicos e agrotóxicos.

Ao que tange os parâmetros de qualidade, os compostos nitrogenados são frequentemente associados à contaminação por atividades agrícolas, industriais e fossas sépticas mal construídas, e a presença excessiva desses compostos pode resultar em sérios riscos à saúde humana, como a metemoglobinemia, conhecida como síndrome do bebê azul (Mantey; Liu; Rehmann, 2025) e no meio ambiente pode causar a eutrofização. Ainda, estudo também associa a exposição crônica a compostos nitrogenados com riscos de parto prematuro e defeitos congênitos (Lin et al., 2023.; Coffman et al., 2022), reforçando a importância do monitoramento contínuo e da aplicação das normas de qualidade da água.

Ademais, tendo em vista a expansão da sociedade e da degradação da qualidade da água, estudos estão sendo desenvolvidos modelos hidrológicos com avaliações de qualidade da água para fornecer uma compreensão mais abrangente dos sistemas aquíferos subterrâneos (Valadkhan; Moghaddasi; Mohammadinejad, 2022; Zeynali et al., 2022). A modelagem hidrológica espacialmente distribuída constitui um instrumento fundamental para a caracterização dos processos hídricos em bacias hidrográficas, ao integrar variáveis morfométricas, pedológicas, de uso do solo e redes de drenagem mediante plataformas de geoprocessamento (SIG). Por meio dessa abordagem, modelos como MGB-IPH, SWAT+ e HydroPol2D permitem a simulação de infiltração, escoamento superficial e subterrâneo, evapotranspiração e vazão, com base em entradas espaço-temporais detalhadas e parâmetros calibrados. Por exemplo, estudiosos observaram que a utilização de MDE, mapas de uso do solo e séries pluviométricas, integrados num ambiente SIG-modelo, contribui para maior representatividade física e espacial dos fenômenos hidrológicos (Rocha et al., 2025). Ainda, o avanço em modelos distribuídos acoplados à calibração automática

evidencia a atual tendência de se melhorar a precisão das previsões em bacias pouco monitoradas (Gomes Jr. et al., 2023), sendo esses avanços na modelagem hidrológica cruciais para a gestão sustentável dos recursos hídricos, permitindo a previsão e mitigação dos impactos da poluição e degradação da qualidade da água.

Portanto, a análise da qualidade da água subterrânea é crucial não apenas para garantir a segurança da água potável, mas também para proteger os ecossistemas, a biodiversidade, e a população, levando em consideração o papel vital das águas subterrâneas como ecossistemas fundamentais no ciclo hidrológico global, abrigando biodiversidade única e fornecendo serviços essenciais a humanidade (Saccò et al., 2024).

## Tratamentos alternativos de água

O tratamento da água é fundamental para a saúde pública e preservação ambiental. No entanto, tratamentos convencionais ou de ciclo completo, utilizam coagulantes inorgânicos, seguidos de filtração e desinfecção, em que, o uso contínuo desses materiais inorgânicos no tratamento pode gerar resíduos tóxicos que afetam o meio ambiente (Jesus et al., 2024). Adicionalmente, diversas comunidades ainda não possuem acesso adequado a água potável, necessitando investimentos financeiros mais expressivos e de inovações tecnológicas adaptadas à realidade regional, visando à melhoria na qualidade de vida da população (Chave, Marques, Malheiros; 2025).

Desse modo, estudos sobre tratamentos de água alternativos e de baixo custo contribuem para o avanço de tecnologias sustentáveis e mais acessíveis. Nesse cenário, a economia circular configura-se como uma abordagem estratégica para integrar práticas de reaproveitamento de resíduos aos processos de tratamento de água, tendo em vista que, os problemas de saúde da população devido a poluição do solo e das fontes de águas ocorrem também em virtude do manejo inadequado de resíduos, como os provenientes da agroindústria (Reis et al., 2024). Assim, a quantidade residual descartada poderia ser utilizada como matéria-prima para fins diversos, levando em consideração que, também dentre os ODS, destaca-se o objetivo número 12, que diz respeito a assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis (ONU, 2015).

Conforme Lima e Rollemburg (2020), os sistemas alternativos de tratamento de água baseiam-se em processos de baixo custo, geralmente associados ao uso de materiais naturais. Diversas pesquisas já evidenciam expressivas eficiências na remoção de contaminantes da água (Santos; Rosa; Michelan, 2022; Lima; Michelan; Silva, 2022; Eniola; Sizirici, 2023; Elmitwalli et al., 2024; Wang; Hou, 2024; Cherif et al., 2024; Thorat; Ushir; Singh, 2025; Kumar et al., 2025; Nabaterega; Vesuwe; Iorhemen, 2025), o que corrobora a viabilidade das técnicas alternativas, as quais devem assegurar potabilidade e qualidade da água, recurso essencial e diretamente associado à manutenção da vida.

Dentre as técnicas de tratamento que estão sendo desenvolvidas para atingir a universalização do abastecimento de água potável entre as comunidades de modo sustentável, se faz presente a técnica filtração, com filtros não convencionais que utilizam materiais alternativos nos leitos filtrantes (Lima; Michelan; Silva, 2022; Nabaterega; Vesuve; Iorhemen, 2025), como o biocarvão, que se demonstra como um material promissor para remoção de poluentes nas águas (Wang; Hou, 2024) e para o reaproveitamento de resíduos agroindustriais (Sieradzka et al., 2025), proveniente de diversificadas fontes de biomassas, como casca de batata, palha de arroz, bagaço de cana, serragem e folhas de tamareira (Eniola; Sizirici, 2023; Elmitwalli et al., 2024; Wang; Hou, 2024; Thorat; Ushir; Singh, 2025; Kumar et al., 2025). Dessa maneira, o uso do biocarvão como meio filtrante tem demonstrado expressiva eficiência de remoção, atingindo cerca de 100% para cor e turbidez, reduções superiores a 60% na concentração de ferro e remoção de coliformes totais acima de 90% (Eniola; Sizirici, 2023).

Além disso, vale mencionar que também existem diversos outros tipos de tratamentos alternativos, que também podem ser explorados, aperfeiçoados e associados, a exemplo da coagulação e da floculação com coagulantes e floculantes naturais como o quiabo (Santos; Rosa; Michelan, 2022), moringa oleifera (Michelan et al., 2021), cacto (Cherif et al., 2024), taninos vegetais (Jesus et al., 2024), entre outros, que podem gerar resíduos ambientalmente inofensivos à saúde humana e ao meio ambiente, podendo o lodo proveniente do tratamento ser reaproveitado na agricultura (Santos; Araújo; Michelan, 2025). Ademais, ao se utilizar coagulantes e floculantes naturais, verificam-se eficiências superiores a 80% na remoção de turbidez e 60% na remoção de cor aparente, com estabilidade do pH durante o tratamento, o que ressalta o seu potencial como alternativa sustentável em sistemas de tratamento de águas (Michelan et al., 2021; Santos; Rosa; Michelan, 2022, Cherif et al., 2024).

Ainda se destacam os métodos alternativos de desinfecção, como os que utilizam radiação solar para a inativação de microrganismos patogênicos presentes na água, alcançando reduções de até 99,9% dos coliformes totais, o que constitui uma alternativa prática, econômica e ambientalmente sustentável para a remoção de patógenos presentes na água (Reyes et al., 2024).

Portanto, as pesquisas desenvolvidas já evidenciam os métodos de tratamentos alternativos como soluções promissoras para a melhoria da qualidade da água. Nesse sentido, ressalta-se a relevância do desenvolvimento de pesquisas acerca de tais alternativas, considerando o seu potencial em mitigar o déficit de acesso à água potável, especialmente em regiões isoladas, como rurais, em que o abastecimento de água ocorre de modo mais limitado e remoto.

## MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Sejam de origem antrópica ou natural, as mudanças climáticas têm provocado impactos nos ecossistemas globais (IPCC, 2021; Alpino *et al.*, 2022; IPCC, 2023; Dao *et al.*, 2024; Núñez-Bolaño *et al.*, 2025), e podem ser definidas como variações significativas nos valores das médias temporais dos elementos meteorológicos, por exemplo, Temperatura Média do Ar, Evapotranspiração e Precipitação (WMO, 2017).

Em 2022, a concentração na atmosfera de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), um dos principais elementos que intensificam o efeito estufa, atingiu 417,2 ppm (Friedlingstein *et al.*, 2022), uma elevação de 51% frente ao período pré-industrial. Outros gases que intensificam o efeito estufa são o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), os quais tiveram um aumento em 150% e 25%, respectivamente, em comparação ao ano de 1750 (Lu *et al.*, 2022; IPCC, 2023; Lin *et al.*, 2024; WMO, 2024).

Consequentemente, com a intensificação do efeito estufa percebeu-se um aumento progressivo da temperatura do ar, causando um desequilíbrio no sistema climático global, promovendo alterações no balanço hídrico e energético da biosfera (Sun *et al.*, 2021; Copernicus, 2025; Zhang *et al.*, 2025). A elevação térmica intensifica os processos de evapotranspiração, remodelando a distribuição da água na atmosfera, ampliando o seu fluxo com a superfície terrestre, podendo alterar o regime de chuva em todo o globo (Abram *et al.*, 2021; Zeng *et al.*, 2021; Cheng *et al.*, 2024; Jaafar; Sujud, 2024; Wang *et al.*, 2024).

O aumento das temperaturas pode amplificar a gravidade das ondas de calor, aumentando a probabilidade de dias e noites extremamente quentes. Foi observado que a temperatura média global da superfície aumentou 1,1 °C entre os períodos de 2001–2021 e 1850–1900, com uma taxa que acelerou após a década de 1970 (IPCC, 2021), atingindo a marca de 1,5 °C em 2024 (COPERNICUS, 2025). Caso a emissão não diminua, estima-se uma elevação entre 2 °C e 6 °C até 2100 (NASA, 2025). Destaca-se que a atividade antrópica é a que gera maiores quantidades de gases estufa, podendo-se assim afirmar que são os maiores responsáveis pelas mudanças climáticas (IPCC, 2023).

Estudos em todo o globo corroboram o aquecimento da temperatura global (Regoto *et al.*, 2021; Agbo *et al.*, 2023; Anastácio *et al.*, 2025; Özbek; Bilgilī, 2025; Tesfaye *et al.*, 2025). Li *et al.* (2021) identificaram tendências significativas de elevação térmica do ar para os períodos de 1979–2019, 1951–2019, 1900–2019 e 1850–2019 respectivamente de 0,296, 0,219, 0,119 e 0,081 °C/década. Ainda, Rantanen *et al.*, (2022) perceberam que, entre 1979 e 2021, o Ártico aqueceu quase quatro vezes mais rápido que o globo inteiro, indo de encontro ao conhecimento amplamente divulgado como sendo apenas duas vezes mais rápido que o aquecimento no restante do globo. Os autores ainda afirmam que, em escala regional, áreas no setor eurasiano do Oceano Ártico aqueceram até sete vezes mais rápido que o globo.

Diante desse cenário, foi observada a intensificação da evaporação, ao mesmo tempo em que é favorecida a abertura estomática das plantas, resultando em maior transpiração. Esses processos promovem um incremento da Evapotranspiração Potencial (Zeng *et al.*, 2021; Vahmani *et al.*, 2022). Em diversas partes do mundo há evidências da mudança do comportamento dessa variável (Ruscica *et al.*, 2022; Di Nunno; Granata, 2023; Sujud, 2024; Souza *et al.*, 2025).

Entretanto, a Evapotranspiração Potencial apresenta comportamento heterogêneo a depender de fatores como vegetação, solo, tipo de irrigação e clima (Liu *et al.*, 2024). Jiao *et al.* (2025) observaram que, no Tibete, a evapotranspiração local contribui, em média, com 28% para a precipitação, atuando como um motor importante para o aumento da precipitação em grandes altitudes. Ainda, os autores reforçam que o aquecimento global e as atividades humanas podem alterar a distribuição e os regimes de evapotranspiração da vegetação, o que potencialmente modificará a sazonalidade e a disponibilidade dos recursos hídricos.

Quanto à precipitação, percebeu-se que seu comportamento sofre influência, principalmente, da circulação atmosférica, das anomalias de temperatura da superfície do mar, como por exemplo o El Niño–Oscilação Sul e da Oscilação Decadal do Pacífico (Chueasa; Humphries; Waqas, 2024; Mu *et al.*, 2024; Ruiz-Vásquez; Arias; Martínez, 2024). Ressalta-se que gradientes de temperatura significativos entre o Atlântico Norte Tropical e o Atlântico Sul Tropical podem amplificar ou enfraquecer os efeitos de El Niño e La Niña (Da Silva *et al.*, 2021). Outro fator crucial no comportamento da precipitação é a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), uma faixa de convergência de ventos que influencia diretamente os padrões de precipitação. por exemplo, durante eventos em que a ZCIT tende a deslocar-se para o norte, favorecendo anomalias negativas na região sul dessa zona (Hodson *et al.*, 2022; Dong *et al.*, 2023; Liao *et al.*, 2023; Lima; Saraiva, 2025).

Esses processos resultam em um contraste mais acentuado entre regiões úmidas e áridas, com aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, como secas severas e chuvas torrenciais (IPCC, 2023). Além disso, a distribuição da precipitação apresenta respostas diferentes conforme as características regionais. Enquanto áreas tropicais, litorâneas e de alta latitude tendem a registrar elevação na pluviosidade média, zonas subtropicais e semiáridas experimentam redução das chuvas e prolongamento dos períodos de estiagem (Lee *et al.*, 2025; Souza *et al.* 2025) . Essa redistribuição afeta diretamente a disponibilidade hídrica, a produtividade agrícola e a dinâmica dos ecossistemas, reforçando a importância de estudos contínuos sobre as tendências pluviométricas em escala global e regional.

## Eventos extremos

Em decorrência das mudanças climáticas, a ocorrência de eventos extremos está cada vez mais frequente e intensa em todo mundo, submetendo uma parcela significativa da população à ameaça física e financeira (Colônia *et al.*, 2025; Marengo, 2024; Silva Rodrigues *et al.*, 2020). Percebeu-se também que as alterações nos padrões climáticos vêm acontecendo em decorrência da aceleração do ciclo hidrológico (Brêda *et al.*, 2023; Mantovani *et al.*, 2025; WMO, 2025; Dijk *et al.*, 2025) gerando, consequentemente, desafios significativos para as grandes cidades (IPCC, 2021; Tavares e Ferreira, 2021).

Estudos realizados em diferentes regiões do globo evidenciam o aumento na frequência e intensidade dos Eventos Climáticos Extremos – ECE, nas últimas décadas (Collischonn *et al.*, 2025; Seneviratne *et al.*, 2023; Bartolomei *et al.*, 2024; Crespo *et al.*, 2021; Dalagnol *et al.*, 2022). Esses fenômenos climáticos intensos são definidos como acontecimentos raros na distribuição de frequência de uma variável atmosférica, como chuvas fortes, furacões e tempestades, que excedem os parâmetros de referência para a região e período do ano (IPCC, 2021; Di Giulio *et al.*, 2024; Marengo *et al.*, 2023; Tesfaye *et al.*, 2022; Cardoso *et al.*, 2020).

No Brasil, foram identificadas diversos ECE provenientes da intensidade de ondas de calor em diversas regiões do país (Silva *et al.*, 2023; Do Nascimento *et al.*, 2020; Zogahib *et al.*, 2024; Massulo Neto *et al.*, 2024; Joseph *et al.*, 2021). Ademais, Joseph *et al.* (2021), perceberam, com base nas tendências dos índices climáticos, que a Amazônia está se tornando sucessivamente mais quente, indicando uma mudança climática gradual desde 1960, corroborando, Gatti (2021), enfatiza que nos últimos 40 anos, a região leste do Amazonas, foi a que mais apresentou níveis de aumento na temperatura e redução de precipitações, o autor ressalta ainda que, esses efeitos ficam mais evidentes em áreas com taxas elevadas de desmatamento.

Em consonância, tendências preocupantes de precipitação extrema acontecem em várias regiões do mundo (Alvala *et al.*, 2024; Alcantara *et al.*, 2023; Tradowsky *et al.*, 2023;). No noroeste do Saara, episódios recentes de chuva extrema, resultaram em inundações inéditas e formação temporária de antigas depressões lacustres (Armon *et al.*, 2024; Piccolroaz *et al.*, 2025; WMO, 2025), um fenômeno inédito nas últimas décadas e representativo do aumento na ocorrência de eventos climáticos extremos em regiões áridas, ocasionado pela intrusão de massas de ar úmidas provenientes do Atlântico e pelo fortalecimento de instabilidades convectivas de alta intensidade (Rinat *et al.*, 2021; Rieder *et al.*, 2025). No final de abril e início de maio de 2024, o estado do Rio Grande do Sul ficou marcado na história, resultando em inundações e deslizamentos de terra pouco registrado no Brasil (Andrade Filho, 2024; CEMADEN, 2024; Marcuzzo *et al.*, 2024; Collischonn *et al.*, 2025). Além disso, recentemente,

episódios de chuvas intensas causaram inundações e deslizamentos no semiárido pernambucano, mostrando que áreas historicamente mais áridas também podem ser impactadas por extremos climáticos (Santana et al., 2024; Marengo et al., 2023).

Por fim, Rinat et al., 2021, esclarecem que o efeito devastador dos ECEs repentinos, advém não apenas da intensidade do evento, mas também de sua rápida concepção e ocorrência inesperada. Essa constatação é corroborada por Liu et al. (2025), ao demonstrarem que o aquecimento global tem intensificação no surgimento de secas rápidas vinculadas ao aumento das temperaturas, evidenciando a potencialização dos efeitos sobre os ecossistemas. Assim também, para Hawkins et al. (2023), a elevação das temperaturas globais contribui para a amplificação da frequência e variabilidade dos eventos extremos, resultando em manifestações mais imprevisíveis e severas em relação aos registros históricos.

## **Mitigação dos efeitos das mudanças climáticas**

A intensificação de eventos climáticos extremos exige uma resposta integrada que articule mitigação e adaptação, especialmente em áreas urbanas que concentram emissões, demandas hídricas e vulnerabilidades socioambientais (Alencar et al., 2024; Silva et al., 2023). Medidas de atenuação devem combinar estratégias de restauração de matas ciliares e de bacias hidrográficas, além da adoção de infraestrutura verde capaz de atuar de forma sinérgica na redução de emissões e na adaptação climática (Lima et al., 2022; Freitas et al., 2022). Nesse contexto, a realização da COP 30, prevista para 2025 no Brasil, representa um momento decisivo no esforço global de enfrentamento das mudanças climáticas, voltado ao avanço das metas de neutralidade de carbono e ao fortalecimento da resiliência dos sistemas ambientais e sociais. O encontro reafirma o compromisso internacional firmado no Acordo de Paris (2015) e reforça a importância de articular políticas de mitigação e adaptação que incorporem a gestão sustentável da água como eixo estratégico, em consonância com os princípios orientadores da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, 2025).

A integração de ações voltadas, simultaneamente, para a manutenção da qualidade da água e para o sequestro de carbono representa um dos principais desafios para garantir a segurança hídrica em grandes metrópoles latino-americanas (Freitas et al., 2022). Entretanto, tais ações não são facilmente transferíveis entre contextos distintos, devendo ser adaptados às especificidades ambientais, socioeconômicas e político-institucionais locais. Além disso, exigem revisões periódicas e forte colaboração multinível, com a participação social desde o planejamento, para ampliar a co-criação e a identificação comunitária (Hale et al., 2023).

Essas abordagens baseadas na natureza demonstram potencial para reduzir escoamento superficial, aumentar a recarga e fortalecer a resiliência do abastecimento hídrico quando adequadamente planejadas (Lima *et al.*, 2022; Freitas *et al.*, 2022). No âmbito da gestão integrada, práticas como reuso de águas pluviais, redução de perdas e planejamento de reservatórios multifuncionais articulados a Soluções Baseadas na Natureza (SBN) são fundamentais para mitigar os impactos de secas e cheias. Estudos de modelagem indicam que intervenções orientadas por indicadores biofísicos e socioeconômicos oferecem benefícios mensuráveis para a regulação hidrológica (Freitas *et al.*, 2022).

Resultados de modelagens hidrológicas demonstram ainda que intervenções baseadas na natureza promovem a recarga de aquíferos e a manutenção de vazões durante períodos secos, ressaltando o papel estratégico das águas subterrâneas como “reservatórios invisíveis” para a resiliência climática (Acosta *et al.*, 2023). Por sua vez, projetos de drenagem sustentável (SuDS), que utilizam pavimentos permeáveis e biorretenção, têm mostrado eficácia no controle de inundações e na redução de sólidos suspensos totais, contribuindo para a qualidade da água (Febriana *et al.*, 2020). E, o uso de poços de infiltração (*drywells*), por sua vez, potencializa significativamente a recarga subterrânea, ao promover infiltração quase total do escoamento em áreas impermeáveis, diferentemente do manejo convencional (Justino; Falaicha; Barbassa, 2021).

## Cidades sustentáveis

No espaço urbano, a busca por cidades sustentáveis passa pela integração de mobilidade de baixa emissão, densificação orientada, infraestrutura verde-azul e economia circular (Alves *et al.*, 2020; Yu, 2022; Castro; Alvim, 2024; Silveira; Rodrigues; Dornelles, 2025). Experiências como as chamadas “cidades-esponja” mostram como é possível aumentar a infiltração, reduzir alagamentos e regenerar serviços ecossistêmicos (Yu, 2022; Morgado, 2025). Essas soluções, ao mesmo tempo que respondem aos efeitos das mudanças climáticas, também promovem benefícios sociais e ambientais.

No Brasil, estudos apontam que as SBN representam alternativas promissoras para complementar sistemas convencionais de drenagem, reduzindo riscos de alagamentos, valorizando o ambiente natural, promovendo biodiversidade e aumentando a resiliência urbana. A pesquisa evidencia ainda seu papel estratégico na proteção ambiental e no bem-estar social, contribuindo para a construção de cidades mais resilientes (Silveira; Rodrigues; Dornelles, 2025).

A literatura também aponta para a importância das combinações entre medidas verdes, azuis e cinzas, capazes de potencializar benefícios múltiplos. Estudos como os de Alves *et al.* (2020), Zhuang *et al.* (2023) e Castro e Alvim (2024) revelam que

as soluções cinzas são mais eficientes na redução imediata do risco de inundações, enquanto as verdes e azuis maximizam benefícios ambientais e sociais, compondo um quadro equilibrado de sustentabilidade urbana. Essa combinação em áreas urbanas vulneráveis potencializa benefícios múltiplos, promovendo soluções mais sustentáveis e preparadas para mudanças climáticas (Castro; Alvim, 2024; Martins; Matos; Rocha, 2024).

Já a integração do ambiente urbano com funções ecológicas do território e a implantação de zonas húmidas naturais ou construídas, por exemplo, fortalecem a resiliência hídrica, melhoram a infiltração e reduzem impactos de eventos extremos (Yu, 2022; Almeida, 2025; Morgado, 2025). Além dessas medidas, o uso de otimização como ferramenta de apoio à decisão contribui, nesse sentido, para a identificação de *trade-offs* entre custos, mitigação de danos e ganhos coletivos (Alves *et al.*, 2020).

Por fim, cabe destacar que tais iniciativas só asseguram justiça socioambiental quando vinculadas a processos participativos e políticas públicas multiescalares, capazes de garantir a distribuição equitativa de benefícios e proteções (Gomes Néto *et al.*, 2020; Azevedo; Silva; Silveira, 2022; Silva *et al.*, 2023). A integração entre diretrizes globais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 11 e 13, e as políticas municipais e nacionais é fundamental para consolidar um paradigma urbano resiliente, inclusivo e de baixa emissão (Lima *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2023).



## CONCLUSÕES

Para a obtenção de uma gestão eficiente, integrada e sustentável dos recursos hídricos é imprescindível a integração entre governança bem definida, inovação tecnológica e políticas públicas voltadas à equidade social e ambiental. A majoritariamente de estudos concentrados no Brasil demonstra uma grande preocupação com os impactos causados pela salinização dos solos, contaminantes emergentes, mudanças climáticas e a degradação ambiental resultantes de práticas inadequadas e uso de ocupação do solo de forma desordenada, reforçando a necessidade de políticas de mitigação e de uso racional dos recursos naturais.

A qualidade da água é comprometida por diversas pressões antrópicas, o que demanda o desenvolvimento de metodologias analíticas, biomarcadores e tecnologias de tratamento alternativo para garantir o acesso à água potável, a preservação dos ecossistemas e da saúde humana, cada vez mais impactada com a falta de gestão. Além disso, é necessário a realização de investimentos contínuos e estratégias adaptadas às realidades territoriais, especialmente em regiões vulneráveis, para garantir a otimização do uso da água. Os cenários resultantes da intensificação de eventos extremos e a alteração dos regimes hidrológicos impõem desafios de esferas globais, tornando essencial a adoção de soluções, inclusive baseadas na natureza, para fortalecer a resiliência hídrica e promover o desenvolvimento sustentável.



## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Cnpq), a Fundação de Apoio à Pesquisa e a Inovação Tecnológica de Sergipe (FAPITEC), pelo apoio financeiro para a realização dessa pesquisa.

# REFERÊNCIAS

ABRAM, N. J.; HENLEY, B. J.; SEN GUPTA, A.; LIPPMANN, T. J.; CLARKE, H; DOWDY, A. J.; ... & BOER, M. M. **Connections of climate change and variability to large and extreme forest fires in southeast Australia.** Communications Earth & Environment, v. 2, n. 1, p. 1-17, 2021.

ACOSTA, E. A.; CHO, S. J.; KLEMZ, C.; REAPPLE, J.; BARRETO, S.; CIASCA, B. S.; LEÓN, J.; ROGÉLIZ-PRA-DA, C. A.; BRACALE, H. **Biophysical Benefits Simulation Modeling Framework for Investments in Nature-Based Solutions in São Paulo, Brazil Water Supply System.** Water, v. 15, n. 4, p. 681, 2023.

AGBO, E. P., NKAJOE, U., OKONO, M. A., INYANG, E. P., & EDET, C. O. **Temperature and solar radiation interactions in all six zones of Nigeria.** Indian Journal of Physics, v. 97, n. 3, p. 655-669, 2023.

Agência Nacional de Águas (ANA). Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil.

AKINNAWO, S. O. **Eutrophication: causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies.** Environmental Challenges, v. 12, art. 100733, 2023.

ALCÂNTARA, E.; MARENGO, J.; MANTOVANI, J.; LONDE, L. R.; SAN, L. Y.; PARK, E.; LIN, Y. N.; WANG, J.; MENDES, T.; CUNHA, A. P.; PAMPUCH, L.; SELUCHI, M. E.; SIMÕES, S.; CUARTAS, L. A.; GONCALVES, D.; MASSI, K.; ALVALÁ, R. C. S.; MORAES, O. L.; SOUZA FILHO, C.; MENDES, R.; NOBRE, C. A. **Deadly disasters in southeastern South America: flash floods and landslides of February 2022 in Petrópolis, Rio de Janeiro, Nat.** Hazards Earth Syst. Sci., 23, 1-19. 2023.

ALENCAR, J.; PELLEGRINO, P. R. M.; MARTINS, J. R. S. **Reservatórios Multifuncionais Através de Soluções Baseadas na Natureza: uma Nova Geração de Reservatórios como Estratégia de Enfrentamento às Mudanças Climáticas.** Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 21, n. 2024, 2024.

ALMEIDA, C. M. R. **Zonas húmidas naturais e construídas como soluções baseadas na natureza para a manutenção da boa qualidade da água dos ecossistemas aquáticos.** Revista de Ciência Elementar, v. 13, n. 1, art. 007, 2025.

ALPINO, T. D. M. A., MAZOTO, M. L., BARROS, D. C. D., & FREITAS, C. M. D. **Os impactos das mudanças climáticas na Segurança Alimentar e Nutricional: uma revisão da literatura.** Ciência & Saúde Coletiva, v. 27, p. 273-286, 2022 (Brasil).

ALVES, Alida; VOJINOVIC, Zoran; KAPELAN, Zoran; SANCHEZ, Arlex; GERSONIUS, Berry. **Exploring trade-offs among the multiple benefits of green-blue-grey infrastructure for urban flood mitigation.** *Science of the Total Environment*, v. 703, p. 134980, 2020.

ALVES, F. G. D.; MOURA, E. P.; BIZARRIA, F. P. A. Vulnerabilidades social e saneamento básico: análise em regiões do Nordeste, 2024.

ALVES, R. de S.; LINHARES, S. S.; MÖBUS, G.; GASMI, H.; MARTINS, E. S. P. R.; ROCHA, R. V.; ESTÁCIO, A. B. S. **Effects of the latest drought on the alluvial aquifer of a semiarid region in north-eastern Brazil.** *Proceedings of IAHS*, v. 385, p. 225-229, 2024.

AMARAL, C. P. **Ação antrópica, descaso, degradação ambiental e a ascensão do plástico/Anthropic action, neglect, environmental degradation and the rise of plastic.** *Brazilian Journal of Development, [S. I.]*, 8(4), 26640-26651, 2022.

ANASTACIO, L. C., DAL POZ, W. R., DAS GRAÇAS MEDEIROS, N., & DOS SANTOS, A. D. P. **Avaliação da influência de variáveis naturais na temperatura do ar através de regressão linear: Evaluation of the influence of natural variables on air temperature through linear regression.** *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 11, n. 1, p. 388-401, 2025.

ANDRADES FILHO, C. O., MEXIAS, L., JACOMINI, A., IESCHECK, A., VIERO, A., GIACCOM, B., CARGNIN, B., MICHELIN, C., SLUTER, C. R., GONZATTI, C., MENEGHINI, C., CAVALHEIRO, D., CREMON, E., BONI, D., BARBOZA, E., SCHWARZER, G., DINIZ, F., JACQUES, F., OLIVEIRA, G., DORNELES, J., SANTOS, J., CACCIATORE, J., LESCANO, H., SCHMITT, H., NOVAKOSKI, K., DUARTE, L., GUASSELLI, L., PETRY, L., MEVEL, L., PERES, L., BRESSANI, L., ROSSO, K., REIS, M., ROSA, M., RIGHI, M., ROSA, M., SILVA, M., RIBEIRO JUNIOR, M., MACHADO, M., SOARES, N., GRUBER, N., HERRMANN, P., SOUZA, P., REMBOSKI, R., SCHUMACHER, R., QUEVEDO, R., MENDONÇA, R., PHILIPP, R., CÁRDENAS, S., SOARES, V., & NÚÑEZ, W. (2024). Nota técnica conjunta IGEO/CEPSRM. **Mapeamento das cítrizes de movimentos de massa decorrentes do acumulado de chuva no RS entre 27/04 e 13/05 de 2024.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ARANGUREN-DÍAZ, Y.; GALÁN-FREYLE, N. J.; GUERRA, A.; MANARES-ROMERO, A.; PACHECO-LONDOÑO, L. C.; ROMERO-CORONADO, A.; VIDAL-FIGUEROA, N.; MACHADO-SIERRA, E. **Aquifers and Groundwater: Challenges and Opportunities in Water Resource Management in Colombia.** *Water* (Basel), v. 16, n. 5, art. 685, 2024.

ARAÚJO, J. E. S.; CELESTE, A. B. **Explicit stochastic procedure for developing reservoir storage-yield-reliability-vulnerability relationships.** *Water Resources Management*, Springer Science and Business Media LLC, set. 2024. ISSN 1573-1650.

ARMON, M., de Vries, A. J., MARRA, F., Peleg, N., e WERNLI, H.: **Saharan rainfall climatology and its relationship with surface cyclones, 2024.** Weather and Climate Extremes. Volume 43, March 2024, 100638.

AZEVEDO, Flávio Souza; SILVA, Richard Marques da; SILVEIRA, José Augusto Ribeiro da. **Gestão de transição: estratégia de governança para impulsionar soluções baseadas na natureza.** Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v. 19, p. 1 15, 2022.

BARTOLOMEI, Fabiana da Rocha; REBOITA, Michelle Simões; DA ROCHA, Rosmeri Porfirio. **Ciclones extratropicais causadores de eventos extremos no sul do Brasil no inverno de 2023. 2024.** Terra e Didatica, Campinas, SP, v. 20, n. 00, p. e024003, 2024.

Brasil. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN. 2024. **Mapeamento dos movimentos de massa relacionados ao desastre de abril-maio de 2024 no estado do Rio Grande do Sul** (Nota Técnica, No. 412/2024/Sei-CEMADEN). Brasília.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União**, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas. **Diário Oficial da União**, 2008.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1997.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984/2000, nº 10.768/2003, nº 11.445/2007 e nº 12.305/2010. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

BRASIL. Portaria nº 888, de 4 de julho de 2021: Estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, 2021.

Brêda, J. P. L., Paiva, R. C. D., Siqueira, V. A., & Collischonn, W. (2023). **Avaliação do impacto das mudanças climáticas nas descargas de inundações na América do Sul e a influência de seus principais fatores.** Jornal de Hidrologia, 619, 129284.

Brito, A. da S. **A universalização do saneamento básico no Brasil: desafios e perspectivas à luz do novo marco legal.** Revista Tópicos, 2025.

BRITO, H. C. de; VASCONCELOS, R. S.; RUFINO, I. A. A.; BRITO, Y M. A. de. **Uso de sensoriamento remoto para monitoramento de parâmetros de qualidade de água no Rio Doce, Minas Gerais, Brasil.** Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 23, n. 90, p. 108–119, 2022.

BRK Ambiental. Competências essenciais e indicadores de desempenho no saneamento, 2019.

CALLOW, J. N.; HIPSEY, M. R.; VOGWILL, R. I. **Surface water as a cause of land degradation from dryland salinity.** Hydrology and Earth System Sciences, v. 24, n. 2, p. 717–734, 2020.

CARDOSO, Camila de Souza; LEAL DE QUADRO, Mário Francisco; BONETTI, Carla. **Persistência e abrangência dos eventos extremos de precipitação no Sul do Brasil: variabilidade espacial e padrões atmosféricos.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, n. 2, p. 203-217, 2020.

CASTRO, Afonso Celso de Vanoni; ALVIM, Angélica Tanus Benatti. **Sustainable Urbanization in Valley-Bottom Areas in Urban Settings: The Case of the Jaguaré Stream Basin, São Paulo, Brazil.** Sustainability, v. 16, n. 7, p. 3018, 2024. DOI: 10.3390/su16073018.

CASTRO, César Nunes. Sobre a agricultura irrigada no semiárido: uma análise histórica e atual de diferentes opções de política. Texto para Discussão, 2018.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. D. **Salinity of the soil and the risk of desertification in the semi-arid region.** Mercator (Fortaleza), v. 19, e19002, 2020.

CELESTE, A. B.; SIQUEIRA, J. I. P.; CAI, X. **Using inflow records to approximate solutions to statistical moment equations of an explicit stochastic reservoir optimization method.** Journal of Water Resources Planning and Management, American Society of Civil Engineers, v. 147, n. 7, p. 06021006, 2021.

CHANG, H. **Water and climate change.** In: The International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology. Wiley Online Library, 2019.

CHAVES, H. P.; MARQUES, R. C.; MALHEIROS, T. F. **Avaliação qualitativa do déficit de acesso a serviços de água e esgoto na região Amazônica brasileira.** REDES: Revista do Desenvolvimento Regional, v. 30, p. 18, 2025.

CHEN, B.; ZHANG, Z.; WANG, T.; HU, H.; QIN, G.; LU, T.; QIAN, H. **Global distribution of marine microplastics and potential for biodegradation.** Journal of Hazardous Materials, v. 451, p. 131198, 2023. DOI:

CHENG, T. F.; CHEN, D.; WANG, B.; OU, T.; LU, M. **Human-induced warming accelerates local evapotranspiration and precipitation recycling over the Tibetan Plateau.** Communications Earth & Environment, v. 5, n. 388, 2024.

CHERIF, L.; FELLAH, A. C.; REZAGUI, D.; GHERISSI, R. **Turbidity removal from surface water using Cactus opuntia.** Studies in Engineering and Exact Sciences, v. 5, n. 2, p. e11141, 2024.

CHUEASA, B.; HUMPHRIES, U. W.; WAQAS, M. **Influence of El Niño southern oscillation on precipitation variability in Northeast Thailand.** MethodsX, v. 13, Artigo 102954, 2024.

CLP. O desafio do Brasil cinco anos após o novo Marco Legal do Saneamento, 2024.

COFFMAN, V. R.; JENSEN, A. S.; TRABJERG, B. B.; PEDERSEN, C. B.; HANSEN, B.; SIGSGAARD, T.; OLSEN, J.; SCHULLEHNER, J.; PEDERSEN, M.; STAYNER, L. T. **Prenatal exposure to nitrate from drinking water and the risk of preterm birth: a Danish nationwide cohort study.** Environmental Epidemiology, v. 6, n. 5, p. e223, 2022.

COLLISCHONN, Walter; FAN, Fernando Mainard; POSSANTTI, Iporã; DORNELLES, Fernando; PAIVA, Rodrigo; MEDEIROS, Matheus Sampaio; MICHEL, Gean Paulo, FILHO, Fernando Jorge Corrêa Magalhães; MORAES, Sofia Royer; MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; MICHEL, Rossano Dalla Lana; BESKOW, Tamara Leitzke Caldeira; BESKOW, Samuel; FERNANDES, Elisa Helena Leão... (2025). **The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil.** RBRH, 30, e1.

COLÔNIA, Viktoria; MEILER, Simona; KROPF, Chahan M.; LÜTHI, Samuel; MEDE, Niels G.; BRESCHE, David N.; LECUONA, Oscar; BERGER, Sebastian; BESLEY, John; BRICK, Cameron; JOUBERT, Marina; MAIBACH, Edward W.; MIHELJ, Sabina; ORESKES, Naomi; SCHÄFER, Mike S.; VAN DER LINDEN, Sander; TISP Consortium. **Extreme weather event attribution predicts climate policy support across the world.** Nature Climate Change, v. 15, p. 725–735, 2025.

COPERNICUS, F.; STUART-SMITH, R.; HARRINGTON, L. **Extreme weather impacts of climate change: an attribution perspective.** Environmental Research: Climate, v. 1, n. 1, p. 012001, 2022.

Costa, M. R. F.; Pinheiro, J. P. V. Desafios para universalização do saneamento na região Nordeste até 2033, 2018.

CRESPO, Natalia Machado, ROCHA, Rosmeri Porfírio da; SPRENGER, Michel, WERNLI, Heini. 2021. **A potential vorticity perspective on cyclogenesis over centre-eastern South America.** International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 41(1), 663-678. doi:

CUI, G. et al. **Relationship between soil salinization and groundwater hydration in Yaoba Oasis, Northwest China.** Water (Switzerland), v. 11, n. 1, 2019.

DA SILVA, Djane Fonseca; SOUZA NETO, Pedro Fernandes de; SILVA, Silvana Donato da; et al. **Identificação das causas climáticas dos eventos extremos e dos impactos dos ENOS Canônico e Modoki nas macrorregiões de Alagoas.** Revista Brasileira de Geofísica, v. 14, n. 4, p. 1880-1897, 2021.

DABA, A. W. **Rehabilitation of soil salinity and sodicity using diverse amendments and plants: a critical review.** Discover Environment, v. 3, n. 1, p. 53, 2025.

DALAGNOL, Ricardo; GRAMCIANINOV, Carolina Barnez; CRESPO, Natália Machado; LUIZ, Rafael; CHIQUETTO, Julio Barboza; MARQUES, Márcia Tereza Alves; NETO, Giovanni Dolif; ABREU, Rafael C. de; LI, Sihan; LOTT, Fraser C.; ANDERSON, Liana O.; SPARROW, Sarah. **Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: Can we blame climate change?** Climate Resilience and Sustainability, v. 1, n. 15, 2022.

DAO, P. U., HEUZARD, A. G., LE, T. X. H., ZHAO, J., YIN, R., SHANG, C., FAN, C. **The impacts of climate change on groundwater quality: A review.** Science of the Total Environment, v. 912, p. 169241, 2024.

DE VRIES, Wim. **Impacts of nitrogen emissions on ecosystems and human health.** Science of The Total Environment, v. 760, art. 143340, 2021.

DI GIULIO, Gabriela Marques; GRESSE, Eduardo Gonçalves; JACOBI, Pedro Roberto. **Emergência climática, Eventos Extremos e as Experiências no Contexto Brasileiro.** Diálogos Socio-ambientais 7, v. 7 n. 19, 2025.

DI NUNNO, Fabio; GRANATA, Francesco. **Future trends of reference evapotranspiration in Sicily based on CORDEX data and Machine Learning algorithms.** Agricultural Water Management, v. 280, p. 108232, 2023.

DIJK, Van. A.I.J.M., H.E. Beck, E. Boergens; R.A.M. de Jeu; W.A. Dorigo; C. Edirisinghe; E. Forootan; E. Guo, A; Güntner, J. Hou, N; Mehrnegan, S; Mo, W; Preimesberger, J; Rahman, P; Rozas Larraondo. 2025. **Global Water Monitor 2024**, Summary Report. Global Water Monitor Consortium.

DO CARMO, E. R.; SHIMA, E. M. R. **Práticas de conservação de solo e água na agricultura como ferramentas de mitigação da degradação ambiental no Brasil.** Cadernos Macambira, v. 9, n. 2, p. 15–16, 2024.

DO NASCIMENTO, Jayne Soares Martin; AGUIAR, Renata Gonçalves; FISCHER, Graciela Redies; DE ANDRADE, Nara Luísa Reis; AGUIAR, Leonardo José Gonçalves; WEBLER, Alberto Dresch. **Mudanças no Uso da Terra na Amazônia Ocidental e a Resposta do Microclima à Ocorrência de Eventos Extremos. 2020.** Revista Brasileira de Meteorologia.

DONG, R.; GUAN, Y.; YAN, Y.; ZHANG, W.; CAO, Q. **Impact of Southern Indian ocean dipole via the ITCZ on winter and spring precipitation in China.** Atmospheric and Oceanic Science Letters, v. 16, Artigo 100358, 2023.

ELMITWALLI, T.; FOUAD, M.; MOSSAD, M.; SAMY, M. **Periodate activation by mulukhiyah stalks and potato peels-derived biochars for the efficient degradation of sulfamethazine.** Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 12, n. 2, p. 112101, 2024.

ENIOLA, J. O.; SIZIRICI, B. **Investigation of biochar-modified biosand filter performance for groundwater treatment for drinking water purposes: A laboratory and pilot scale study.** Journal of Water Process Engineering, v. 53, p. 103914, 2023.

ESTEVAM, Stênio Maia; DOS SANTOS MONTEIRO, Anailza Feitoza; DA SILVA ARAÚJO, Douglas. **Planejamento estratégico aplicado ao processo de desenvolvimento sustentável no perímetro irrigado no município de Pau dos Ferros/RN.** Revista Brasileira de Administração Científica, v. 12, n. 1, p. 232-245, 2021.

FEBRIANA, R.; LOW, J. H.; ZAHIDI, I.; OH, K. S. **Designing climate-resilient sustainable drainage system (SuDS) for mass rapid transit (MRT) development: A hydrodynamic modelling approach.** Journal of Hydrology, v. 648, p. 132366, 2025.

FREITAS, L. D. de; MORAES, J. F. L. de; COSTA, A. M. da; MARTINS, L. L.; SILVA, B. M.; AVANZI, J. C.; UEZU, A. **How Far Can Nature-Based Solutions Increase Water Supply Resilience to Climate Change in One of the Most Important Brazilian Watersheds?** Earth, v. 3, n. 3, p. 748–767, 2022.

FRIEDLINGSTEIN, P.; O'SULLIVAN, M.; JONES, M. W.; ANDREW, R. M.; et al. **Global Carbon Budget 2022.** Earth System Science Data, v. 14, n. 4, p. 1917-2005, 2022.

GARCIA, M. M.; ROMERO, A. S.; MERKLEY, S. D.; MEYER-HAGEN, J. L.; FORBES, C.; EL HAYEK, E.; SCIEZKA, D. P.; TEMPLETON, R.; GONZALEZ-ESTRELLA, J.; JIN, Y.; GU, H.; BENAVIDEZ, A.; HUNTER, R.P.; LUCAS, S.; HERBERT, G.; KIM, K. J.; CUI, J. Y.; GULLAPALLI, R.R.; IN, J. G.; CAMPEN, M.J. & CASTILLO, E. F.. **In Vivo Tissue Distribution of Polystyrene or Mixed Polymer Microspheres and Metabolomic Analysis after Oral Exposure in Mice.** Environmental Health Perspectives, v.132, n.4, 2024.

GATTI, Luciana V.; BASSO, Luana S., MILLER, John B.; GLOOR, Manuel; Gatti DOMINGUES, Lucas; CASSOL, Henrique L. G.; TEJADA, Graciela; ARAGÃO, Luiz E. O. C.; NOBRE, Carlos; Wouter, PETERS; MARANI, Luciano; ARAI, Egidio; ARAI, Alber H.; CORRÊA, Sergio M.; ANDERSON, Liana; RANDOW, Celso Von; CORREIA, Caio S. C.; P.; CRISPIM, Stephane. NEVES, Raiane A. L. **Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change**. *Nature*. 595, 388–393. 2021.

GOMES JUNIOR, Marcus Nóbrega; GIACOMONI, Marcio Hofheinz; NAVARRO, Fabricio Alonso Richmond; MENDIONDO, Eduardo Mário. **Global optimization-based calibration algorithm for a 2D distributed hydrologic-hydrodynamic and water quality model**. *Environmental Modelling & Software*, v. 179, art. 106128, 2024.

GOMES NÉTO, Nilson Coutinho; SOUZA, Laleska do Nascimento de; CASTRO, Camila Ariele Ferreira; COSTA, David de Andrade; FERREIRA, Maria Inês Paes. **Soluções Baseadas na Natureza aplicadas à conservação e à gestão integrada das águas – um estudo prospectivo à luz da Agenda 2030 da ONU**. *Revista Principia*, n. 51, p. 30 43, 2020.

GONTIJO, Hebert Medeiros; RIBEIRO, Samuel de Sá; LIMA, Sonaly Cristina Rezende Borges de. **Gestão da água e do esgotamento sanitário em Divinópolis/MG: o discurso vigente acerca da fragmentação urbano/rural**. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 62, n. 3, p. e265399, 2024.

Gontijo, R. et al. Os desafios para a universalização do saneamento básico no Brasil: análise socioambiental dos recursos hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 29, p. e33, 2024.

Guimarães, E. F. Indicadores do saneamento e universalização em áreas vulneráveis, 2014.

Habitat Brasil. Acesso à água potável: a realidade de um direito desigual, 2024.

HAJ-AMOR, Z. et al. **Soil salinity and its associated effects on soil microorganisms, greenhouse gas emissions, crop yield, biodiversity and desertification: a review**. *Science of the Total Environment*, v. 843, p. 156946, 2022.

HALE, S. E.; VON DER TANN, L.; REBELO, A. J.; ESLER, K. J.; DE LIMA, A. P. M.; RODRIGUES, A. F.; LATAWIEC, A. E.; RAMÍREZ-AGUDELO, N. A.; BOSCH, E. R.; SULEIMAN, L.; SINGH, N.; OEN, A. M. P. **Evaluating nature-based solutions for water management in peri-urban areas**. *Water*, v. 15, n. 5, p. 893, 2023.

HASSANI, A.; AZAPAGIC, A.; SHOKRI, N. **Predicting long-term dynamics of soil salinity and sodicity on a global scale**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 117, n. 52, p. 33017–33027, 2020.

HAWKINS, Ed; COMPO, Gilbert P.; SARDESHMUKH, Prashant D. **Translating historical extreme weather events into a warmer world.** *Earth System Dynamics*, v. 14, p. 1081-1095, 2023. DOI: doi.org/10.5194/esd-14-1081-2023.

HERBERT, E. R. et al. **A global perspective on wetland salinization: ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands.** *Ecosphere*, v. 6, n. 10, p. 1-43, 2015.

HODSON, D. L. R.; BRETONNIÈRE, P. A.; CASSOU, C.; DAVINI, P.; KLINGAMAN, N. P.; LOHMANN, K.; LOPEZ-PARAGES, J.; MARTÍN-REY, M.; MOINE, M. P.; MONERIE, P. A.; PUTRASAHAN, D. A.; ROBERTS, C. D.; ROBSON, J.; RUPRICH-ROBERT, Y.; SANCHEZ-GOMEZ, E.; SEDDON, J.; SENAN, R. **Coupled climate response to Atlantic Multidecadal Variability in a multi-model multi-resolution ensemble.** *Climate Dynamics*, v. 59, n. 3-4, p. 805-836, 2022.

HOSSAIN, M. L.; LI, J. **Salinity challenges and adaptive strategies in salinization-affected coastal Bangladesh: implications for agricultural sustainability and water resource management.** *Environmental Research Letters*, v. 19, n. 11, 2024.

Hutton, G.; Varughese, M. The costs of meeting the 2030 Sustainable Development Goal targets on water supply, sanitation, and hygiene. Washington, DC: World Bank, 2016.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Tecnologia e inovação para a redução do risco de crises hídricas.

Instituto Trata Brasil. (2025). Avanços do Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil: 2025.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2023: Synthesis Report — Longer Report*. Geneva: IPCC, 2023.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis.** Capítulo 11: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. Geneva: IPCC, 2021.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A.; CONNORS, S. L.; PÉAN, C.; BERGER, S.; et al. (Ed.). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

IPCC. Mudanças climáticas e terras: um relatório especial do IPCC sobre mudanças climáticas, desertificação, degradação da terra, gestão sustentável da terra, segurança alimentar e fluxos de gases de efeito estufa em ecossistemas terrestres - resumo para formuladores de políticas. 2019.

JAAFAR, Hadi H.; SUJUD, Lara H. **High-resolution satellite imagery reveals a recent accelerating rate of increase in land evapotranspiration.** *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 315, p. 114489, set. 2024.

JENKINS, Matthew; BLOCK, David E. **A Review of Methods for Data-Driven Irrigation in Modern Agricultural Systems.** *Agronomy*, v. 14, n. 7, p. 1355, 2024.

JESUS, J. O. N. de.; MEDEIROS, D. L.; ESQUERRE, K. P. O.; SAHIN, O.; ARAUJO, W. C. de. **Water treatment with aluminum sulfate and tanin-based biocoagulant in an oil refinery: the technical, environmental, and economic performance.** *Sustainability*, v. 16, n. 3, p. 1191, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16031191>

JIAO, Yinying; ZHU, Guofeng; QIU, Dongdong; LU, Siyu; MENG, Gaojia; LI, Rui. **Variations in vegetation evapotranspiration affect water yield in high-altitude areas.** *Biogeosciences*, v. 22, n. 17, p. 4433-4448, 2025. DOI: 10.5194/bg-22-4433-2025.

JOSEPH, Wisnel; SOUZA, Adilson Pacheco de; SABINO, Marlus. Índices de extremos de temperatura do ar na Amazônia brasileira. *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, n. 52, 2021.

JUSTINO, E. A.; FAILACHE, M. F.; BARBASSA, A. P. **Estimation of potential groundwater recharge by a drywell in sandy clay soil.** *BRBRH*, v. 26, p. e03, 2021.

KHADKA, P.; SHARMA, S.; MATHIS, T. **Monitoring an untagged coastal marsh to analyze the salinity interaction of the marsh with Lake Erie.** *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 193, n. 10, 2021.

KHASANOV, S. **Avaliação da extensão do deserto e da salinidade do solo na estepe de Mirzachul, Uzbequistão.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Wageningen, Wageningen, Holanda.

KOCALAR, K.; CANLI, E.G.; CANLI, M. **Responses of oxidative stress biomarkers of freshwater fish (*Oreochromis niloticus*) exposed to Cr<sup>6+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> in differing calcium levels.** *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, v. 267, p. 109577, 2023.

KONZEN, I. S.; GAMBOA, A.; GAIDA, W.; ROSA, G., M. DA.; FLACH, K. A.; BONES, U. A.; BREUNIG, F. M.; MENDONÇA, A. M.; MAHNKE, M. R.; MACIEL, D. H. **Impact of anthropogenic activities and land use on water quality: An analysis in microbasins in Rio Grande Do Sul, Brazil.** *Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, v. 20, p. e2070, 2024.

Kozen, A. et al. Água e saúde pública: perspectivas para a sustentabilidade hídrica em contextos vulneráveis. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 29, n. 1, p. 89-102, 2024.

KRAMER, I.; MAU, Y. **Modeling the effects of salinity and sodicity in agricultural systems.** *Water Resources Research*, v. 59, n. 6, e2023WR034750, 2023.

KRAMER, S.; RASCHE, F.; MEURER, K. H. E.; RUPP, H. **Soil degradation risks assessed by the SOTE model for salinity and sodicity.** *Water Resources Research*, v. 56, n. 12, e2020WR027456, 2020.

KREIS, M. B. et al. **Multidisciplinary approach to understand the salinization of fractured crystalline aquifers in semi-arid region.** *Proceedings of IAHS*, v. 385, p. 393–398, 2024.

KUMAR, T.; ANSARI, S. A.; SAWARKAR, R.; AGASHE, A.; SINGH, L.; NIDHEESH, P. V. **Bamboo bio-char: a multifunctional material for environmental sustainability.** *Biomass Conversion and Biorefinery*, p. 1-25, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-025-06608-3>

LAHLAOI, H. et al. **Avaliação da desertificação usando o modelo MEDALUS na bacia hidrográfica de Oued El Maleh, Marrocos.** *Geociências*, v. 7, n. 50, 2017.

LEE, S. S.; SHARMA, S.; ROSENBLOOM, N.; RODGERS, K. B.; KIM, J. E.; KWON, E. Y.; FRANZKE, C. L. E.; KIM, I. W.; SREEUSH, M. G.; STEIN, K. **Multi-centennial climate change in a warming world beyond 2100.** *Earth System Dynamics*, v. 16, n. 5, p. 1427–1451, 2025.

Leonet, A. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre políticas públicas, 2011.

LEVY, Zeno F.; FRAM, Miranda S. **Geologic influences on the quality of groundwater used for domestic supply in the northern Sierra Nevada Foothills.** U.S. Geological Survey Fact Sheet 2021-3013, 2021.

LEVY, Zeno F.; FRAM, Miranda S. **Status and understanding of groundwater quality in the northern Sierra Nevada Foothills domestic-supply aquifer study units, 2015–17 — California GAMA Priority Basin Project.** U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2021-5019, 2021.

LI, Q.; SUN, W.; YAN, Z.; THORNE, P. W.; HUANG, B.; ZHENG, X.; ZHANG, L.; JONES, P.; PARKER, D. **An updated evaluation of the global mean land surface air temperature and surface temperature trends based on CLSAT and CMST.** *Climate Dynamics*, v. 56, p. 829–849, 2021. DOI: [10.1007/s00382-020-05502-0](https://doi.org/10.1007/s00382-020-05502-0).

LI, X. et al. **Alta salinidade inibe a comunidade bacteriana do solo que media o ciclo do nitrogênio.** *Applied and Environmental Microbiology*, v. 87, 2021, e0136621.

LIAO, X.; HOLLOWAY, C. E.; FENG, X.; LIU, C.; LYU, X.; XUE, Y.; BAO, R.; LI, J.; QIAO, F. **Observed Interannual Relationship between ITCZ Position and Tropical Cyclone Frequency.** *Journal of Climate*, v. 36, n. 16, p. 5587–5603, 2023.

LIMA, A. D. O. et al. **Hydrochemistry of alluvial aquifer in the Cobra River sub-basin.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, n. 11, p. 785–790, 2017.

LIMA, Ana Paula Morais de; RODRIGUES, Aline Furtado; LATAWIEC, Agnieszka Ewa; DIB, Viviane; GOMES, Fernanda D.; MAIOLI, Veronica; PENA, Ingrid; TUBENCHLAK, Fernanda; REBELO, Alanna J.; ESLER, Karen J.; OEN, Amy M. P.; RAMÍREZ-AGUDELO, Nancy Andrea; BOSCH, Elisabeth Roca; SINGH, Nandita; SULEIMAN, Lina; HALE, Sarah E. **Framework for planning and evaluation of nature-based solutions for water in peri-urban areas.** *Sustainability*, v. 14, n. 13, p. 7952, 2022.

LIMA, G. V B.; SARAIVA, J. M. B. **Uma análise do papel da zcit na variabilidade pluviométrica do Estado do Amazonas.** *REVISTA GEOGRÁFICA ACADÊMICA*, [S. I.], v. 19, n. 1, p. 84–99, 2025.

LIMA, J. P. M.; ROLLEMBERG, S. Técnicas simplificadas de tratamento de água. *Revista*.

LIN, L.; CLAIR, S. S.; GAMBLE, G. D.; CROWTHER, C. A.; DIXON, L.; BLOOMFIELD, F. H.; HARDING, J. E. **Nitrate contamination in drinking water and adverse reproductive and birth outcomes: a systematic review and meta-analysis.** *Scientific Reports*, v. 13, p. 563, 2023.

LIN, Xin; PENG, Shushi; CIAIS, Philippe; HAUGLUSTAINE, Didier; LAN, Xin; LIU, Gang; RAMONET, Michel; XI, Yi; YIN, Yi; ZHANG, Zhen; BÖSCH, Hartmut; BOUSQUET, Philippe. **Recent methane surges reveal heightened emissions from tropical inundated areas.** *Nature Communications*, Londres, v. 15, n. 1, 10894, 2024.

LITALIEN, A.; ZEEB, B. **Curing the earth: a review of anthropogenic soil salinization and plant-based strategies for sustainable mitigation.** *Science of the Total Environment*, v. 698, p. 1–15, 2020.

LIU, H.; WEI, W.; ZHU, G. L.; DING, Y.; PENG, X. **The different vegetation types responses to potential evapotranspiration and precipitation in China.** *Frontiers in Environmental Science*, v. 12, 2024.

LIU, Yi; WANG, Zhimin; ZHANG, Xinyu; ZHU, Ye; REN, Liliang; YUAN, Shanshui; JIN, Junliang. **Accelerated soil moisture drought onset link to high temperatures and asymmetric responses.** *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 29, p. 1103–1118, 2025.

LOAICIGA, H. A.; DOH, D. **Groundwater as a strategic water reserve under climate variability.** *Hydrogeology Journal*, v. 31, p. 451-468, 2023.

LOAICIGA, H. A.; DOH, R. **Groundwater for People and the Environment: A Globally Threatened Resource.** *Groundwater*, V. 62, p. 332-340, 2023.

LU, Chaoqun; YU, Zhen; ZHANG, Jien; CAO, Peiyu; TIAN, Hanqin; NEVISON, Cynthia. **Net greenhouse gas balance in U.S. croplands: How can soils be part of the climate solution?** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 28, n. 6, p. 1928-1941, mar. 2022.

LUCENA, M. S. de. **Aspectos ambientais das áreas susceptíveis à desertificação e características socioambientais do núcleo de desertificação do Seridó do Rio Grande do Norte (RN) e Paraíba (PB).** *HOLOS*, v. 5, p. 1–17, 2019.

MANJARRÉS-LÓPEZ, D. P.; MONTEMURRO, N.; ULRICH, N.; EBERT, R.; JAHNKE, A.; PÉREZ, S. **Assessment, distribution, and ecological risk of contaminants of emerging concern in a surface water-sediment-fish system impacted by wastewater.** *Science of The Total Environment*, v. 935, p. 173358, 2024.

MANTEY, E. P.; LIU, L.; REHMANN, C. R. **Disparities in potential nitrate exposures within Iowa public water systems.** *Environmental Science: Water Research & Technology*, v. 11, n. 4, p. 959-971, 2025.

MANTOVANI, José Roberto; ALCÂNTARA, Enner; BAIÃO, Cheila Flávia; PAMPUCH, Luana; CURTARELLI, Marcelo Pedroso; RIBEIRO, João Vitor Mariano; GUIMARÃES, Yasmin Carvalho; LONDE, Luciana; MASSI, Klécia; MORENO, José MARENKO; NOBRE, Carlos Afonso; ASSIREU, Arcilan Trevenzoli; BORTOLOZO, Cassiano Antonio; SIMÕES, Silvio Jorge; TOMASELLA, Javíer; MORAES, Osvaldo Luiz Leal de; PARK, Edward. **Unprecedented flooding in Porto Alegre Metropolitan Region (Southern Brazil) in May 2024: Causes, risks, and impacts.** *Journal of South American Earth Sciences*, v. 160, p. 105533, 2025.

MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; KENUP, Rodrigo Eduardo; ZANETTI, Henrique Pires; BENVENUTTI, Leonardo; OLIVEIRA, Marcelo Pereira; WILSON, Eduardo Soares; ACOSTA, Carlos César; BAO, Rodrigo. **Nota técnica: aferição direta e avaliação indireta do nível máximo de rios em estações fluviométricas e marcas de inundação no Rio Grande do Sul na grande cheia de maio de 2024.** 6. versão. Porto Alegre: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2024.

MARENKO, José Antonio. **Impactos sociais dos eventos climáticos extremos.** *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 76, n. 3, p. 8–13, jul./set. 2024.

MARENGO, José Antonio; ALCANTARA, E.; CUNHA, A. P.; SELUCHI, M. E.; NOBRE, C.A.; DOLIF, G.; GONCALVES, D.; ASSIS DIAS, M.; CUARTAS, L. A.; BENDER, F.; RAMOS, A. M.; MANTOVANI, J. R.; ALVALÁ, R.C.S.; MORAES, O.L. **Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness.** Weather and Climate Extremes, 39, 100545. 2023.

MARENGO, José; ALCANTARA, Enner; CUNHA, Ana Paula et al. **Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness,** Weather and Climate Extremes, 2023.

MARIEN, L. et al. **Salinity spatial patterns in Mediterranean coastal areas: the legacy of historical water infrastructures.** Science of the Total Environment, v. 899, p. 165730, 2023.

MARTINS, Iago Longue; MATOS, Elisa Bomtempo; ROCHA, Bruno Massara. **Soluções baseadas na natureza e resiliência urbana: parâmetros de projeto para redes verde-azul de drenagem pluvial.** Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes, [S. I.], v. 12, n. 34, 2024.v.

MASSULO NETO, Gilberto; NASCIMENTO, Emerson Leão Brito do. **Mudanças climáticas: inteligência artificial na previsão de eventos hidrológicos extremos no estado do Amazonas.** Cuadernos de Educación y Desarrollo - [S. I.], v. 16, n. 13, p. e6849, 2024. DOI: 10.55905/cuadv16n13-046.

MEGHA, K. B; ANVITHA, D.; PARVATHI, S.; NEERAJ, A.; SONIA, J.; MOHANAN, P. V. 2025. **Environmental impact of microplastics and potential health hazards.** Critical Reviews in Biotechnology, v. 45, n. 1, p. 97-127, 2025.

MICHELAN, D. C. de G. S.; W. N. de A. S.; ROSA, T. S.; SANTOS, D. de G. S; JESUS, R. de C. S. de. **Uso do coagulante/floculante emergente à base de moringa no tratamento de água com verificação da composição e toxicidade do lodo produzido: tratamento de água com Moringa e toxicidade do lodo.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 26, p. 955-963, 2021.

MOHAMED, S. A. et al. **Integrating active and passive remote sensing data for mapping soil salinity using machine learning and feature selection approaches in arid regions.** Remote Sensing, v. 15, n. 7, p. 1751, 2023.

MOHANAVELU, A.; NAGANNA, S. R.; AL-ANSARI, N. **Irrigation induced salinity and sodicity hazards on soil and groundwater: an overview of its causes, impacts and mitigation strategies.** Agriculture (Switzerland), v. 11, n. 10, p. 983–1000, 2021.

MONIER, M.; SOLIMAN, A.M.; AL-HALANI, A.A. **The seasonal assessment of heavy metals pollution in water, sediments, and fish of grey mullet, red seabream, and sardine from the Mediterranean coast, Damietta, North Egypt.** Regional Studies in Marine Science, v. 57, p. 102744, 2023.

MONTAGNER, C. C.; DIAS, M. A.; PAIVA, E. M.; VIDAL, C. **Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos.** Química nova, v. 44, n. 10, p. 1328-1352, 2021.

MONTEIRO, A. S. C. et al. **Geochemical modeling of the evaporation process in salinized reservoirs in the semi-arid region of Northeastern Brazil.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 27, e21, 2022.

MONTOROI, J. P. **Soil salinization and management of salty soils.** In: Soils as a Key Component of the Critical Zone 5: Degradation and Rehabilitation, v. 5, p. 97–126, 2018.

MORAES, J. B. de; WANDERLEY, H. S.; DELGADO, R. C. Áreas suscetíveis à desertificação no Nordeste do Brasil e projeção para cenário de mudanças climáticas. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 17, n. 6, p. 4003–4014, 2024.

MORGADO, Manuel Higgs; VASTARDI, Despoina Vasiliiki; BAUDOT ALMEIDA, Flore-Eva; DAHY, Hanaa. **“Spongetown” Christiania as an urban living lab: Nature-based solutions for resilient, circular, symbiotic, and regenerative transitions in urban waters.** Nature-Based Solutions, v. 8, p. 100237, 2025.

MOUSAVI, S. J. et al. **Enhancements to explicit stochastic reservoir operation optimization method.** Advances in Water Resources, Elsevier, v. 169, p. 104307, 2022.

MOUSAVI, S. Jamshid; PONNAMBALAM, Kumaraswamy. **An analytical method for fast optimization of multireservoir hydropower systems operations considering risk-return tradeoffs.** Water Resources Research, v. 61, n. 6, p. e2024WR038520, 2025.

MU, Y.; JONES, C.; CARVALHO, L. M. V.; XUE, L.; LIU, C.; DING, Q. **Pacific decadal oscillation and ENSO forcings of northerly low-level jets in South America.** Climate and Atmospheric Science, v. 7, Artigo 297, 2024.

NABATEREGA, R.; VESUWE, R. N.; IORHEMEN, O. T. **Statistical evaluation of different filter media and application of multiple criteria analysis to select the best media for pollutants removal in wastewater biofiltration: A review.** Science of the Total Environment, v. 996, p. 180104, 2025.

NASA Earth Observatory. Goddard Space Flight Centre United States.

NUÑEZ-BOLAÑO, Y., HOYOS, N., CORREA-METRIO, A., MARTÍNEZ, C., PIZANO, C., ESCOBAR, J.,... JARAMILLO, C. **Influence of climatic variables on biome transitions in the Colombian and Panamanian Caribbean region.** *Global and Planetary Change*, v. 245, p. 104669, 2025.

OECD. *Principles on Water Governance*. Paris, 2015.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Resolution 70/1**. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: UN, 2015.

ÖZBEK, A.; BİLGİLİ, M. Time series analysis of the impact of global warming on Türkiye. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 277, 2025.

PACHECO, Priscila. **2024 teve recorde de desastres e piora nos principais indicadores climáticos.** Observatório do Clima, 19 mar. 2025.

PAULISTA, R. S. D.; ALMEIDA, F. T. de; SOUZA, A. P. de; HOSHIDE, A. K.; ABREU, D. C. de; ARAUJO, J. W. da S.; MARTIM, C. C. **Estimating suspended sediment concentration using remote sensing for the Teles Pires river, Brazil.** *Sustainability*, v. 15, n. 9, p. 7049, 2023.

PEREIRA, N. J.; SANTOS, M. M.; MAIÃO, J. P. L. S.; CAMPOS, J. S. P.; SILVA, N. D.; MENDES, D. C. S.; LENZ, T. M.; SANTOS, D. M. S. **Biomarcadores histológicos em brânquias de peixes na avaliação da contaminação ambiental do rio Mearim, nordeste brasileiro.** *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 8. 2020.

PESSOA, L. G. M. et al. **Characterization and classification of halomorphic soils in the semi-arid region of northeastern Brazil.** *Journal of Agricultural Science*, v. 11, n. 4, p. 405, 2019.

PETRY, Mirta Teresinha et al. Manejo da irrigação. NOGUEIRA-PECÃ, p. 207, 2024.

PICCOLROAZ, Sebastiano; RAGNO, Niccolò. **When rivers turn to deserts and deserts to rivers.** *Nature Water*, v. 3, p. 124, jan. 2025.

PODLASEK, A.; BUJAKOWSKI, F.; KODA, E. **The spread of nitrogen compounds in an active groundwater exchange zone within a valuable natural ecosystem.** *Ecological Engineering*, v. 146, p. 105746, 2020

PRIYA, A.; MURUGANANDAM, M.; KUMAR, A.; SENTHILKUMAR, N.; SNKIR, M.; PANDIT, B.; IM-RAN, M.; PRAKASH, C.; UBAIDULHAH, M. **Recent advances in microbial-assisted degradation and remediation of xenobiotic contaminants; challenges and future prospects.** *Journal of Water Process Engineering*, vol.60, 2024.

RAGUSA, A.; NOTARSTEFANO, V.; SVELATO, A.; BELLONI, A.; GIOACCHINI, G.; BLONDEEL, C.; GIORGINI, E. **Raman microspectroscopy detection and characterisation of microplastics in human breastmilk.** *Polymers*, v. 14, n. 13, p. 2700, 2022.

RAGUSA, A.; SVELATO, A.; SANTACROCE, C.; CATALANO, P.; NOTARSTEFANO, V.; CARNEVALI, O.; GIORGINI, E. **Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta.** *Environment international*, v. 146, p. 106274, 2021.

Ranking do Saneamento 2025. Instituto Trata Brasil, 2025.

RANTANEN, Mika; KARPECHKO, Alexey Yu.; LIPPONEN, Antti; NORDLING, Kalle; HYVÄRINEN, Otto; RUOSTEENOJA, Kimmo; VIHMA, Timo; LAAKSONEN, Ari. **The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979.** *Communications Earth & Environment*, v. 3, n. 168, 2022.

RATH, K. M.; MURPHY, D. N.; ROUSK, J. **Tamanho, estrutura e taxas de processamento da comunidade microbiana ao longo de gradientes naturais de salinidade do solo.** *Soil Biology & Biochemistry*, v. 138, 2019, 107607.

RAZZAQUE, A. S.; MELESSE, A. M. Global Insights into Micro-and Nanoplastic Pollution in Surface Water: A Review. **Hydrology**, v. 12, n. 10, p. 265, 2025.

RECHE, M. H. L. et al. **Microbial, physical and chemical properties of irrigation water in rice fields of Southern Brazil.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 88, p. 361–375, 2016.

REGOTO, P.; DERECHYNSKI, C.; CHOU, S. C.; BAZZANELA, A. C. **Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil.** *International Journal of Climatology*, v. 41, n. 11, p. 5125-5142, 2021.

REIS, L. M. dos; BRAGA, B. M. C.; TROMBETE, F. M.; CARLOS, L. de A. **Resíduos do processamento de batata inglesa: desenvolvimento e caracterização de biscoitos com substituição parcial de farinha de trigo por farinha da casca.** *Caderno Pedagógico*, v. 21, n. 6, p. e4500-e4500, 2024.

REYES, A. L. T.; TOVAR, M. M. R. Q.; CORREA, D. A. D.; MONTERO, D. J. G.; TOVAR, C. R. V. **Effectiveness of Solar Water Disinfection-“ SODIS method”, for the removal of total coliforms in municipal surface waters.** *Journal of International Crisis and Risk Communication Research*, v. 7, n. S7, p. 1929, 2024.

RIEDER, Joëlle Cécile; AEMESEGGER, Franziska; DENTE, Elad; ARMON, Moshe. **Meteorological ingredients of heavy precipitation and subsequent lake-filling episodes in the north-western Sahara.** *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 29, p. 1395-1427, 2025.

RINAT, Yair; MARRA, Francesco; ARMON, Moshe; METZGER, Asher; LEVI, Yoav; KHAIN, Pavel; VLADISLAVSKY, Elyakom; ROSENSAFT, Marcelo; MORIN, Efrat. **Hydrometeorological analysis and forecasting of a 3 d flash-flood-triggering desert rainstorm.** *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2021.

ROCHA, A. K. P. **Análise integrada espaço-temporal dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) e modelagem hidrológica na bacia hidrográfica do Rio Tibagi (PR).** 2025. Tese (Doutorado em Geografia) — Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2025.

RODRIGUES, Leoncio Gonçalves et al. **Desenvolvimento de software para o manejo da irrigação utilizando a evapotranspiração da cultura.** *Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, v. 7, n. 1, p. 66-90, 2021.

RUIZ-VÁSQUEZ, M., ARIAS, P.A. & MARTÍNEZ, J.A. **Enso influence on water vapor transport and thermodynamics over Northwestern South America.** *Theor Appl. Climatol* 155, 3771–3789 (2024).

RUSCICA, Romina C.; SÖRENSSON, Anna A.; DIAZ, Leandro B.; VERA, Carolina; CASTRO, Aline; PAPASTEFANOU, Phillip; RAMMIG, Anja; REZENDE, Luiz F. C.; SAKSCHEWSKI, Boris; THONICKE, Kirsten; VIOVY, Nicolas; VON RANDOW, Celso. **Evapotranspiration trends and variability in southeastern South America: The roles of land-cover change and precipitation variability.** *International Journal of Climatology*, v. 42, n. 4, p. 2019-2038, 2022.

SAÇ, H; YELTEKIN, A. Ç. **Investigation of oxidative stress status and apoptotic markers of juvenile trout exposed to arsenic toxicity.** *Toxicol Res (Camb)*, v. 12, n. 4, p. 608-614, 2023.

SACCÒ, M.; MAMMOLA, S.; ALTERMATT, F.; ALTHER, R.; BOLPAGNI, R.; BRANCELJ, A.; BRAN-KOVITS, D.; FIŠER, C.; GEROVASILEIOU, V.; GRIEBLER, C.; GUARESCHI, S.; HOSE, G. C.; KORBEL, K.; LICTEVOUT, E.; MALARD, F.; MARTÍNEZ, A.; NIEMILLER, M. L.; ROBERTSON, A.; TANALGO, K. C.; BICHUETTE, M. E.; BORKO, Š.; BRAD, T.; CAMPBELL, M. A.; CARDOSO, P.; CELICO, F.; COOPER, S. J. B.; CULVER, D.; DI LORENZO, T.; GALASSI, D. M. P.; GUZIK, M. T.; HARTLAND, A.; HUMPHREYS, W. F.; FERREIRA, R. L.; LUNGHI, E.; NIZZOLI, D.; PERINA, G.; RAGHAVAN, R.; RICHARDS, Z.; REBOLEIRA, A. S. P. S.; ROHDE, M. M.; SÁNCHEZ FERNÁNDEZ, D.; SCHMIDT, S. I.; VAN DER HEYDE, M.; WEAV-ER, L.; WHITE, N. E.; ZAGMAJSTER, M.; HOGG, I.; RUHI, A.; GAGNON, M. M.; ALLENTOFT, M. E.; REINECKE, R. **Groundwater is a hidden global keystone ecosystem.** *Global Change Biology*, v. 30, n. 1, p. e17066, 2024.

SALEM, O. H.; JIA, Z. **Evaluation of different soil salinity indices using remote sensing techniques in Siwa Oasis, Egypt.** *Agronomy*, v. 14, n. 4, p. 723, 2024.

SANTANA, Aline Cristina Almeida de; SALES FILHO, Romero Luiz Mendonça; SILVA, Claudionor Ribeiro da. **Estudo de tendência de mudanças climáticas, eventos extremos e análise comparativa entre dois municípios de regiões distintas do semiárido pernambucano.** Revista Brasileira de Geografia, v. 34, p. 335–359, 2024.

SANTOS, A. L. A.; ARAÚJO, T. D.; MICHELAN, D. C. de G. S. **Toxicity of sludge from water treatment using natural coagulants/floculants.** Journal of Water Process Engineering, v. 77, p. 108644, 2025.

SANTOS, A. L. A.; ROSA, T. S.; MICHELAN, D. C. de G. S. **Eficiência do tratamento de água por meio de coagulantes inorgânico sulfato de alumínio e orgânico *Abelmoschus esculentus* ou quiabo separadamente e associados.** Gaia Scientia, v. 16, n. 3, p. 84-108, 2022

SANTOS, H. A. G.; KITAMURA, R. S. A.; SOARES, G. C. B.; SANTOS, M. P.; MIRANDA, L. P. S.; MELA, M.; VITULE, J. R. S.; GRASSE, M. T.; CESTARI, M. M.; PADIAL, A. A.; ASSIS, H. C. S. **Assessing the water quality in a World Heritage Site using biomarkers in top fish predators.** Science of The Total Environment, v. 927, p. 172072, 2024.

SANTOS, Márcio Aurélio Lins dos. **Sistema Lisimétrico de Informações para Monitoramento do Consumo de Água pelas Plantas (SLIMCAP).** In: Desenvolvimento de Pesquisa Científica na Agricultura Irrigada, Cap. 7, p. 56–65. UFAL, Campus Arapiraca, 2020.

Schneider, D. D. et al. Indicadores para serviços de abastecimento de água e saneamento em áreas vulneráveis, 2010.

SENEVIRATNE, Sonia I.; ZHANG, Xi; ADNAN, Muhammad; BADI, W.; DERECZYNSKI, C.; DI LUCA, A.; GHOSH, S.; ISKANDAR, I.; KOSSIN, J.; LEWIS, S.; OTTO, F.; PINTO, I.; SATOH, M.; VICENTE-SERRANO, S. M.; WEHNER, M.; ZHOU, B. Weather and climate extreme events in a changing climate. In: MASSON-DELMOTTE, Valérie; ZHAI, Panmao; PIRANI, Anna; CONNORS, Siân L.; PÉAN, Cécile; BERGER, Sandra; CAUD, Norma; CHEN, Y.; GOLDFARB, Laurence; GOMIS, Maria I.; HUANG, Min; LEITZELL, Klaus; LONNOY, Etienne; MATTHEWS, John B. R.; MAYCOCK, Tim K.; WATERFIELD, Tara; YELEKÇİ, Orhan; YU, Rong; ZHOU, B. (Eds.). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2023. p. 1513-1766. DOI: 10.1017/9781009157896.013

SHAHARIAR, S. et al. **A salinidade elevada e o rebaixamento do lençol freático afetam significativamente as emissões de gases de efeito estufa em solos provenientes de práticas contrastantes de uso da terra na região de buracos de pradaria.** *Biogeochemistry*, v. 155, p. 127–146, 2021.

SHARMA, S.; BHATT, R. **Monitoring water and soil salinity across Mentor Marsh to investigate their temporal and spatial variability.** *Water (Switzerland)*, v. 15, n. 23, 2023.

SHOKRI, N.; HASSANI, A.; SAHIMI, M. **Multi-scale soil salinization dynamics from global to pore scale: a review.** *Reviews of Geophysics*, v. 62, e2023RG000804, 2024.

SIERADZKA, M.; JERZAK, W.; MLONKA-MĘDRALA, A.; MARSZAŁEK, A.; DUDZIAK, M.; KALEM-BA-REC, I.; BLONIARZ, A.; REINMÖLLER, M.; KOPIA, A.; NOWAK, W.; MAGDZIARZ, A. **Valorisation of food industry waste into high-performance biochar for environmental applications.** *Scientific Reports*, v. 15, n. 1, p. 26195, 2025.

SILVA RODRIGUES, Rodrigo Silvano; ALVES DA SILVA, Maria de Nazaré; FERREIRA FILHO, David Figueiredo; BEZERRA, Paulo Eduardo Silva; DE FIGUEIREDO, Nélia Moura. Análise dos efeitos de um evento extremo de chuva sobre o escoamento superficial em uma pequena bacia hidrográfica rural amazônica. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S. I.], v. 26, 2020.

SILVA, Ana Carolina; MEIRELES, Eduardo; CAROLINO, Karla; BALLIANO, Tatiane Luciano; ALVES, Daniela Cristina. **Belo Horizonte: vulnerabilidades e desafios no enfrentamento dos efeitos das mudanças climáticas.** *Boletim de Conjuntura (BOCA)*, Boa Vista, v. 15, n. 43, p. 244–267, 2023.

SILVA, Nádia Soares da; SANTOS, João Paulo dos; OLIVEIRA, Camila Fernandes de; LIMA, Rafael Henrique Moreira de. **Ocorrência de ondas de calor com dados de reanálises em áreas do Nordeste, Amazônia e Centro-Sudeste do Brasil.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 38, n. 2, p. 285–297, 2023.

SILVEIRA, Gabriela Borba; RODRIGUES, Lucia Helena Ribeiro; DORNELLES, Fernando. **Uso de soluções baseadas na natureza (SbN) pela gestão pública brasileira no manejo de águas pluviais urbanas.** *URBE. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 17, p. e20240012, 2025.

SILVEIRA, N. T. et al. **Avaliação da qualidade da água do reservatório Nilo Coelho, Terra Nova, Pernambuco, Brasil.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 6, p. 2866–2877, 2022.

SINGH, A. **Soil salinization management for sustainable development: a review.** *Journal of Environmental Management*, v. 277, 111383, 2021.

SONG, C.; SUN, C.; LIU, B.; XU, P. **Oxidative Stress in Aquatic Organisms.** *Antioxidants*, v. 12, n. 6, p. 1223, 2023.

SOUZA, T. P., SOUZA NETO, I. R. D., LIMA, R. G. S., & MENDES, L. A. **Climate Change in Sergipe, Northeast Brazil: Hydrological Trends in Recent Decades**. International Journal of Climatology, p. e8777, 2025.

Sousa, M.; Mendes, C.; Borges, P. Políticas públicas e sustentabilidade na universalização do saneamento básico: sinergia entre os ODS e o desenvolvimento local. Revista Brasileira de Políticas Públicas, v. 12, n. 1, p. 48-65, 2022.

SYLEYMANOV, A. et al. **Random forest modeling of soil properties in saline semi-arid areas**. Agriculture, v. 13, n. 5, p. 976, 2023.

SULINO, Adriano Lemes et al. **Construção e desempenho de lisímetros de drenagem para determinação do balanço hídrico no solo**. Brazilian Applied Science Review, v. 3, n. 2, p. 1193-1205, 2019.

SYED, A. et al. **Soil salinity research in 21st century in Pakistan: its impact on availability of plant nutrients, growth and yield of crops**. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 52, n. 3, p. 183–200, 2021.

TAGHIPOUR-JAVI, S.; FAZELI, A.; KAZEMI, B. **Um estudo de caso de mapeamento de riscos de desertificação usando a metodologia MEDALUS (ESAs) no sudoeste do Irã**. J. Nat. Resour. Dev., v. 6, p. 01–08, 2016.

TAVARES, Camila de Moraes Gomes; FERREIRA, Cássia de Castro Martins. **A Relação Entre a Orogenia e os Eventos Extremos de Precipitação para o Município de Petrópolis - RJ**. Revista Brasileira de Climatologia, [S. I.], v. 26, 2021.

TESFAYE, Yared; DECHASSA, Nigussie; ALEMAYEHU, Yibekal; BIRHAN, Dereje Ademe. **Spatio-temporal variability and trends in extreme rainfall and temperature indices in Southeastern Oromia, Ethiopia**. Scientific Reports, v. 15, n. 29782, 19 ago. 2025.

THORAT, D. S.; USHIR, Y. V.; SINGH, S. **Value-added-peanut shell as potential source for biofilters: an eco-friendly way to clean water and manage nutrients**. Biotechnology for Sustainable Materials, v. 2, n. 1, p. 12, 2025.

TRADOWSKY, Jordan Sophie; PHILIP, Sjoukje; VAN SCHAEYBROECK, Bert; VAUTARD, Robert; SASSI, Marc; LOTT, Fraser C.; et al. **Attribution of the heavy rainfall events leading to severe flooding in Western Europe during July 2021**. Climatic Change, v. 176, art. 90, 2023.

Trata Brasil. Desafios para alcançar universalização do saneamento, 2024.

UNESCO. The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater – Making the Invisible Visible. Paris: UNESCO, 2022.

UNESCO. UN World Water Development Report. Disponível em: <https://www.unesco.org/reports/wwdr/en/2024/s>.

United Nations. The Human Right to Water and Sanitation: Media Brief. New York: United Nations, 2023.

UNFCCC. Paris Agreement. Paris: United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015.

UNFCCC. *United Nations Framework Convention on Climate Change – Conference of the Parties 30 (COP 30)*. Belém, Pará, Brasil, 10–21 nov. 2025.

VAHMANI, P.; JONES, A. D.; LI, D. **Will Anthropogenic Warming Increase Evapotranspiration? Examining Irrigation Water Demand Implications of Climate Change in California.** *Earth's Future*, v. 10, 2022.

VALADKHAN, A.; MOGHADDASI, M.; MOHAMMADINEJAD, H. **Integrated groundwater quality and hydrological modeling for aquifer system assessment.** *Journal of Environmental Management*, v. 320, p. 115833, 2022.

VALADKHAN, D.; MOGHADDASI, R.; MOHAMMADINEJAD, A. **Groundwater quality prediction based on LSTM RNN: An Iranian experience.** *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 19, n. 11, p. 11397-11408, 2022.

Virtual de Química, v. 12, n. 2, 2020.

Volken, N. J., Minoti, R. T., Alves, C. M. D. A., & Vergara, F. E. **Analyzing the impact of agricultural water-demand management on water availability in the Urubu River basin-Tocantins, Brazil.** *Revista Ambiente & Água*, v. 17, p. e2847, 2022.

WAN, W. et al. **Conectando bactérias raras e abundantes com a multifuncionalidade do ecossistema em solos agrícolas salinizados: da diversidade da comunidade à adaptação ambiental.** *mSystems*, v. 6, 2021.

WANG, F.; HOU, Y. **Adsorption of tricyclazole and 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid onto biochar produced from anaerobically digested sludge.** *Water*, v. 16, n. 18, p. 2697, 2024.

WANG, L.; SUN, Y.; YANG, C.; DONG, Y. **Groundwater–surface water interactions across an arid river basin: spatial patterns revealed by stable isotopes and hydrochemistry.** *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 29, n. 18, p. 4417–4436, 2025.

WANG, T.; WANG, L.; CHEN, Q.; KALOGERAKIS, N.; JI, R.; MA, Y. **Interactions between microplastics and organic pollutants: Effects on toxicity, bioaccumulation, degradation, and transport.** *Science of The Total Environment*, v. 748, p. 142427, 2020.

WANG, X.; CHENG, Y.; LIU, L.; NIU, Q.; HUANG, G. **Improved understanding of how irrigated area expansion enhances precipitation recycling by land–atmosphere coupling.** *Agricultural Water Management*, v. 299, n. 108904, 30 jun. 2024.

WIJITKOSUM, S. **Fatores que influenciam a sensibilidade à degradação do solo e à desertificação em uma bacia hidrográfica propensa à seca na Tailândia.** *Int. Soil Water Conserv. Res.*, v. 9, n. 2, p. 217–228, 2021.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guidelines on the calculation of climate normals.** Geneva: WMO, 2017. (WMO-No. 1203).

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 20: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2023.** Genebra: OMM, 2024. 11 p.

YANG, L.; LUO, W.; ZHAO, P.; ZHANG, Y.; KANG, S.; GIESY, JP. & ZHANG, F. **Microplastics in the Koshi River, a remote alpine river crossing the Himalayas from China to Nepal.** *Environmental Pollution*, v. 290, p. 118121, 2021.

YANG, X. et al. **Physical versus economic water footprints in crop production: a spatial and temporal analysis for China.** *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 25, n. 1, p. 169–191, 2021.

YU, Kongjian. **The Sponge City: Planning, Design and Political Design.** In: **Architecture and the Climate Emergency.** 28 dez. 2022.

YU, Y. et al. **A salinidade do solo altera a sensibilidade à temperatura das emissões de dióxido de carbono e óxido nitroso do solo.** *Catena*, v. 195, p. 104912, 2020.

ZENG, P.; SUN, F.; LIU, Y.; FENG, H.; ZHANG, R.; CHE, Y. **Changes of potential evapotranspiration and its sensitivity across China under future climate scenarios.** *Atmospheric Research*, v. 261, p. 105763, 2021.

ZEYNALI, H. et al. **Evaluation of groundwater vulnerability and quality index using GIS-based modeling.** Environmental Earth Sciences, v. 81, p. 1-15, 2022.

ZEYNALI, M. J.; POURREZA-BILONDI, M.; AKBARPOUR, A.; YAZDI, J.; ZEKRI, S. **Development of a contaminant concentration transport model for sulfate-contaminated areas.** Applied Water Science, v. 12, n. 7, p. 169, 2022.

ZHANG, J. et al. **Mechanism controlling groundwater chemistry in the hyper-arid basin with intermittent river flow: insights from long-term observations (2001–2023) in the lower Heihe River, Northwest China.** *Frontiers in Environmental Science*, v. 12, 1376443, 2024.

ZHANG, J.; LIU, Y.; ZHAO, L.; PENG, C.; WANG, L. **Microplastics and nanoplastics in drinking water and beverages: occurrence and human exposure.** Journal of Environmental Exposure Assessment, v. 3, n. 4, 2024.

ZHUANG, Qinru; LI, Mengru; LU, Zhongming. **Assessing runoff control of low impact development in Hong Kong's dense community with reliable SWMM setup and calibration.** Journal of Environmental Management, v. 345, p. 118599, 2023.

ZOGAHIB, André Luiz Nunes; SIMAS, Danielle Costa de Souza; FILHO, Antônio Ferreira do Norte; NORTE, Naira Neila Batista de Oliveira; DE SALES, Ricardo Augusto Campolina; DE LIMA, Jonathas Simas; BRAGA, Mauro Augusto Ponce de Leão. **Mudanças climáticas e seus impactos nas cidades: estudo de caso do fenômeno da seca no Estado do Amazonas, Brasil.** Research, Society and Development, v. 13, n. 9, p. e9913946940-e9913946940, 2024.

# AUTORES

## **ADNIVIA SANTOS COSTA MONTEIRO**

Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS).

São Cristóvão - Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/3151972615558389>

## **GUSTAVO NUNES DE ARAUJO**

Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS).

São Cristóvão - Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/5745758860679058>

## **LARISSA VASCONCELOS SANTOS**

Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS).

São Cristóvão - Sergipe

<https://orcid.org/0000-0002-7741-6528>

## **CARLA TAMILYS VASCONCELOS ARAUJO**

Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS).

São Cristóvão - Sergipe

<https://orcid.org/0009-0008-5314-7002>

## **JOSÉ EDUARDO SANTOS ARAÚJO,**

Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS)

São Cristóvão – Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/9149869010963573>

**SILVIANE OLIVEIRA SANTOS,**

Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PROEC) - Universidade

Federal de Sergipe (UFS)

São Cristóvão – Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/3232945958499484>

**ANAIRAM PIEDADE DE SOUZA MELO,**

Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal

de Sergipe (UFS)

São Cristóvão – Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/2324402537364012>

**AYLA MARIA DIAS MONTEIRO,**

Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS)

São Cristóvão – Sergipe

<https://orcid.org/0009-0001-6847-657X>

**CLEIDE CRUZ SOARES,**

Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS)

São Cristóvão – Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/7232035524209109>

**DAIANNE SANTOS DOS ANJOS,**

Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS)

São Cristóvão – Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/6123323863648052>

**ELIZANGELA SANTOS FERREIRA,**

Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS)

São Cristóvão – Sergipe

<https://lattes.cnpq.br/2988277153792547>

**KARLA FABIANY SANTANA PASSOS,**

Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS)

São Cristóvão – Sergipe

<https://lattes.cnpq.br/1783910297530902>

**MARCELA MATOS SILVA SANTOS,**

Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS)

São Cristóvão – Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/5336802381046267>

**RONALDO GUILHERME SANTOS LIMA,**

Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS)

São Cristóvão – Sergipe

<https://orcid.org/0000-0001-8885-2184>

**ANA LARA ARAÚJO SANTOS,**

Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS)

São Cristóvão – Sergipe

<https://orcid.org/0000-0001-7396-5098>

**SUZANNE DE OLIVEIRA REZENDE,**

Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS)

São Cristóvão – Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/2412134767985388>

**WALMIR SOUZA VASCONCELOS,**

Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) - Universidade Federal de Sergipe (UFS)

São Cristóvão – Sergipe

<https://orcid.org/0000-0002-4159-6432>

# ORGANIZADORA

## ADNIVIA SANTOS COSTA MONTEIRO

É química, doutora em Química e professora, com atuação consolidada nas áreas de **Química Analítica e Recursos Hídricos**. Graduada e mestre pela Universidade Federal de Sergipe (UFS), obteve o doutorado pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), com ênfase no desenvolvimento de métodos analíticos e eletroanalíticos aplicados à determinação e especiação de metais em sistemas aquáticos. Realizou estágio pós-doutoral na Universidade de São Paulo (USP) e experiência internacional na Universidade de Lérida, Espanha, ampliando sua atuação em análises ambientais e eletroquímica aplicada.

Na UFS, construiu trajetória acadêmica fortemente vinculada ao **Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PRORH)**, atuando como pesquisadora, docente e colaboradora em atividades de ensino, pesquisa e extensão, com foco na interface entre química analítica, qualidade da água e processos ambientais. Sua produção científica inclui estudos sobre metais traço, matéria orgânica natural e metodologias analíticas aplicadas a ambientes aquáticos.

Como educadora, tem como princípio **inspirar alunos e promover o desenvolvimento do pensamento crítico**, valorizando o ensino da Química como ferramenta para a formação científica, ética e cidadã, especialmente no contexto dos recursos hídricos e das análises ambientais.

A black and white aerial photograph of a long bridge spanning a body of water. The water is dark and shows significant whitecap and wave activity, indicating strong currents or wind. The bridge has a dark asphalt road surface with white dashed lines and a light-colored steel truss railing. Several cars are visible on the bridge, appearing as small white dots. The bridge extends from the top left towards the bottom right of the frame.

# Avanços e conexões em recursos hídricos

uma perspectiva  
coletiva dos alunos  
da pós-graduação

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 



# Avanços e conexões em recursos hídricos

uma perspectiva  
coletiva dos alunos  
da pós-graduação

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 