ÁGUAS DO CERRADO:

Biodiversidade, Recursos e Uso Sustentável



Claudia Padovesi Fonseca
(Organizadora)

EDITORA ARTEMIS
2026

ÁGUAS DO CERRADO:
Biodiversidade, Recursos e Uso Sustentável



Claudia Padovesi Fonseca
(Organizadora)

EDITORA ARTEMIS
2026

2026 *by Editora Artemis*
Copyright © Editora Artemis
Copyright do Texto © 2026 Os autores
Copyright da Edição © 2026 Editora Artemis

O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M.ª Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M.ª Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizadora	Profª Drª Claudia Padovesi Fonseca
Imagem da Capa	Lago Paranoá, Brasília, DF (autoria: Claudia Padovesi Fonseca)
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.ª Dr.ª Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México
Prof.ª Dr.ª Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Prof.ª Dr.ª Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.ª Dr.ª Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
Prof.ª Dr.ª Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.ª Dr.ª Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.ª Dr.ª Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuat*o, México
Prof.ª Dr.ª Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof.ª Dr.ª Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF, Brasil
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
Dr. Cristo Ernesto Yáñez León – New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ, Estados Unidos
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha

EDITORA ARTEMIS 2026

Editora Artemis
Curitiba-PR Brasil
www.editoraartemis.com.br
e-mail:publicar@editoraartemis.com.br

Prof.ª Dr.ª Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil
Prof.ª Dr.ª Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil
Prof.ª Dr.ª Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
Prof.ª Dr.ª Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo (USP), Brasil
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil
Prof.ª Dr.ª Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México
Prof.ª Dr.ª Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México
Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal*, Canadá
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona,* Espanha
Prof.ª Dr.ª Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof.ª Dr.ª Galina Gumovskaya – Higher School of Economics, Moscow, Russia
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis,* Argentina
Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires,* Argentina
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnido da Guarda, Portugal
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara, México*
Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg*, Suécia
Prof.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru
Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires,* Argentina
Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
Prof. Dr. José Cortez Godinez, Universidad Autónoma de Baja California, México
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,* México
Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil



Editora Artemis
Curitiba-PR Brasil
www.editoraartemis.com.br
e-mail:publicar@editoraartemis.com.br

Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof.ª Dr.ª Lívia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal
Prof.ª Dr.ª Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil
Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
Prof.ª Dr.ª María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil
Prof.ª Dr.ª Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
Prof.ª Dr.ª MªGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.ª Dr.ª María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara, México*
Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana*, Cuba
Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del Pais Vasco, Espanha
Prof.ª Dr.ª Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México
Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil
Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru
Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil
Prof.ª Dr.ª Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University,* Russia
Prof.ª Dr.ª Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha
Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal



Editora Artemis
Curitiba-PR Brasil
www.editoraartemis.com.br
e-mail:publicar@editoraartemis.com.br

Prof.ª Dr.ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil
Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia
Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León*, Espanha

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A268 Águas do Cerrado [livro eletrônico] : biodiversidade, recursos e uso sustentável / organização de Claudia Padovesi Fonseca. – 1. ed. – Curitiba, PR: Editora Artemis, 2026.
il. color.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-82858-04-8
DOI 10.37572/EdArt_250626048

1. Cerrado. 2. Biodiversidade – Conservação. 3. Recursos hídricos – Uso sustentável. I. Fonseca, Claudia Padovesi.

CDD 577.6

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

EDITORA ARTEMIS
2026

Editora Artemis
Curitiba-PR Brasil
www.editoraartemis.com.br
e-mail:publicar@editoraartemis.com.br

À ciência por dar luz a um mundo mais digno

Ao Cerrado com o florescer de suas águas

APRESENTAÇÃO

Eu vi as águas... e elas sustentam o Cerrado.

O Cerrado é o *berço das águas* do Brasil. As águas que brotam de suas entranhas conseguem alimentar oito das 12 grandes bacias hidrográficas do país. As raízes profundas da vegetação funcionam como uma esponja, absorvendo a chuva e alimentando extensos aquíferos, que mantém os cursos d'água e áreas alagadas, mesmo em período seco.

As águas do Cerrado desempenham papel fundamental na diversidade biológica e no equilíbrio dinâmico dos ecossistemas, tanto naturais como antrópicos, com reflexos para o Brasil e América do Sul. Como importante fonte de água, o Cerrado representa um elo entre ambiente, atividades económicas e populações humanas, sendo crucial equilibrar as atividades humanas com a conservação ambiental.

Este livro reúne diferentes abordagens sobre os ambientes aquáticos do Cerrado, explorando aspectos relacionados à diversidade biológica, aos recursos hídricos e às formas de uso sustentável. Apresenta estratégias para uma gestão eficaz e legislação pertinente a problemas atuais na questão hídrica do Brasil.

Os dois primeiros capítulos dissecam um panorama atual da qualidade das águas com estratégias para uma gestão hídrica eficaz no Distrito Federal (DF). Destacam ser indispensável equacionar os diversos usos humanos da água na região, especialmente por possuir baixa disponibilidade hídrica.

Na sequência, temos o uso de ferramenta tecnológica na avaliação ambiental de rios a ser aplicada em aulas de ensino médio no Brasil, com o objetivo de aproximar a realidade dos discentes do conhecimento acadêmico. O estudo foi desenvolvido em escolas públicas da cidade de Imperatriz (MA), e a sua aplicação potencializou o conhecimento e sensibilização dos usuários, bem como ampliou o debate sobre questões relacionadas à educação ambiental e à qualidade ambiental de rios urbanos.

Os dois próximos capítulos abordam regulamentação frente a problemas ambientais decorrentes a lançamentos de diversos resíduos em sistemas hídricos. O capítulo 4 viabiliza um diagnóstico sobre efluentes lançados em corpos d'água por atividades industriais no Brasil. Apresenta sugestões de melhoria como um sistema unificado nacional para facilitar a coleta de informações, bem como a

análise e o planejamento de ações corretivas e preventivas. O capítulo 5 propõe avanços regulatórios de microplásticos em água potável no Brasil. Destaca que no país os estudos são raros até o momento, com uma lacuna relevante no conhecimento sobre a contaminação por microplásticos nas águas distribuídas à população. Ainda se tem a necessidade de padronização metodológica, ampliação de pesquisas nacionais e desenvolvimento de uma normativa brasileira.

A biota aquática do Cerrado é explorada em outros cinco capítulos do livro. As águas do Cerrado abrigam uma elevada diversidade biológica, com alto registros de espécies endêmicas. A biota é formada por vários grupos, que incluem as algas, os microcrustáceos, a fauna bentônica (moluscos e fases imaturas de insetos) e peixes. São milhares de espécies que vivem em áreas de cabeceira e são adaptadas às variações de seca e cheia.

Os capítulos destacam a importância de conhecer os diversos grupos aquáticos das águas do Cerrado, com a finalidade primordial de reconhecimento como indicadores de qualidade ambiental e aquática.

As algas de águas abertas e mansas, denominadas de fitoplâncton, foram consideradas úteis como indicadores de qualidade das águas de reservatórios. A sazonalidade climática do Cerrado, com a seca prolongada, associada às pressões antrópicas e às mudanças climáticas, intensificaram a variabilidade ambiental e por conseguinte, influenciaram diretamente a dinâmica do fitoplâncton.

A microfauna de águas abertas, denominada zooplâncton, também foi essencial para avaliar a qualidade das águas de reservatórios no Cerrado. Esse grupo apresenta elevada sensibilidade às variações ambientais e seus estados tróficos. A sazonalidade do Cerrado, com secas marcantes, atuou como regulador principal sobre o zooplâncton. Por sua vez, a produtividade dos reservatórios evidenciou espécies oportunistas de acordo com o seu grau de fertilidade.

A fauna ocupante dos sedimentos de corpos d'água, os macroinvertebrados bentônicos, foi determinante para avaliar a qualidade das águas dos riachos do Cerrado. Grupos mais sensíveis foram frequentes em águas limpas, e raros ou ausentes em ambientes poluídos. Por sua vez, os tolerantes estiveram predominantes em águas com condições ambientais mais degradadas, em especial nas áreas urbanas.

Os peixes foram definitivos como indicadores de qualidade de água em ambientes do Cerrado. As espécies responderam de forma integrada às

alterações ambientais e biológicas dos sistemas aquáticos. A integração foi resultado de respostas fisiológicas, histopatológicas e ecológicas associadas à degradação ambiental.

Os peixes de cavernas foram representados por espécies especializadas e endêmicas, resultado de características ambientais peculiares, como ausência de luz, estabilidade ambiental e escassez de recursos. Em cavernas do Cerrado revelaram espécies indicadoras de ambientes subterrâneos antigos, estáveis e isolados.

Assim, com caráter interdisciplinar, esse livro busca contribuir para o avanço do conhecimento científico e para a conscientização sobre a importância da conservação dos ecossistemas aquáticos brasileiros. Alia o uso sustentável dos recursos hídricos, com gestão hídrica eficaz e regulamentação de lançamentos de efluentes, e a preservação ambiental.

Destina-se a pesquisadores, estudantes, gestores ambientais e a todos os interessados na sustentabilidade das águas e da biodiversidade do Cerrado e do Brasil.

A presente obra é produto do Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL) da Universidade de Brasília (UnB), cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) desde 1997.

Brasília, 03 de junho de 2026.

Claudia Padovesi Fonseca

Organizadora

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....1

CENÁRIO ATUAL E DESAFIOS DOS RECURSOS HÍDRICOS NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL CENTRAL

Claudia Padovesi Fonseca

https://doi.org/10.37572/EdArt_2506260481

CAPÍTULO 2.....16

ESTRATÉGIAS PARA UMA GESTÃO HÍDRICA EFICAZ NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL CENTRAL

Lucas Brandão de Moraes
Claudia Padovesi Fonseca

https://doi.org/10.37572/EdArt_2506260482

CAPÍTULO 3.....28

AVALIAÇÃO ECOLÓGICA DE RIACHOS URBANOS COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Anwar Faiz Ahmad Amorim
Claudia Padovesi Fonseca

https://doi.org/10.37572/EdArt_2506260483

CAPÍTULO 4.....44

EFLUENTES LÍQUIDOS DE ATIVIDADES POTENCIALMENTE POLUIDORAS NO BRASIL: BASE DOCUMENTAL E PROPOSTAS DE MELHORIA NAS ANÁLISES DE QUALIDADE

Thaianne Resende Henriques Fábio
Claudia Padovesi Fonseca

https://doi.org/10.37572/EdArt_2506260484

CAPÍTULO 5.....58

AVANÇOS REGULATÓRIOS PARA O CONTROLE DE MICROPLÁSTICOS EM ÁGUA POTÁVEL

Luiz Gustavo Haisi Mandalho
Claudia Padovesi Fonseca

https://doi.org/10.37572/EdArt_2506260485

CAPÍTULO 6 ..... **75**

FITOPLÂNCTON COMO BIOINDICADOR EM RESERVATÓRIOS DO CERRADO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Maria Júlia Sousa Paes
Ana Clara Alves da Silva

https://doi.org/10.37572/EdArt_2506260486

CAPÍTULO 7 ..... **89**

DIVERSIDADE DE ZOOPLÂNCTON EM RESERVATÓRIOS NO BIOMA CERRADO

Ana Clara Guedes de Souza
Vitória Araujo Martins

https://doi.org/10.37572/EdArt_2506260487

CAPÍTULO 8 ..... **103**

EFEITOS DA OCUPAÇÃO HUMANA SOBRE OS MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS DE RIACHOS DO CERRADO

Izabela Abadia Curcino Borges
Letícia Alcântara Silva

https://doi.org/10.37572/EdArt_2506260488

CAPÍTULO 9 ..... **113**

PEIXES COMO INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL EM ÁGUAS CERRATENSES

Théo Victor Mafra de Andrade
Alexandre Diadorim Zerbini Brandão

https://doi.org/10.37572/EdArt_2506260489

CAPÍTULO 10 ..... **126**

BIODIVERSIDADE DA ICTIOFAUNA CAVERNÍCOLA NO CERRADO

André Luiz Marques de Andrade
Otávio Silverio

https://doi.org/10.37572/EdArt_25062604810

SOBRE A ORGANIZADORA **136**

ÍNDICE REMISSIVO **137**

CAPÍTULO 1

CENÁRIO ATUAL E DESAFIOS DOS RECURSOS HÍDRICOS NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL CENTRAL

Data de submissão: 05/06/2026
Data de aceite: 18/06/2026

Claudia Padovesi Fonseca[1]
Professora Titular da
Universidade de Brasília (UnB)
Departamento de Ecologia
Instituto de Biologia
Universidade de Brasília – UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, DF, Brazil
https://orcid.org/0000-0001-7915-3496

RESUMO: Esse capítulo apresenta um breve histórico e um panorama atual dos recursos hídricos do Distrito Federal, Brasil, com usos potenciais e seus desafios. O Distrito Federal (DF) está coberto pelo Domínio Cerrado no Planalto Central, e esta região é considerada o "berço das águas" ou a "caixa d'água" do Brasil. Nascentes, zonas úmidas e uma rede intricada de cursos d'água de pequeno porte, como riachos e córregos, fluem em profusão. Os recursos hídricos no DF são destinados para dois principais usos: abastecimento humano e irrigação de hortaliças, frutas e grãos. Quase 100% da população tem acesso a água potável e 93% das residências são atendidas por coleta de esgoto. As áreas urbanas e as terras irrigadas representam os pontos de risco para a degradação e recarga das águas do Distrito Federal. A região apresenta aquíferos pequenos e os cursos d'água são de cabeceiras e de pequeno porte. Possui, assim, uma disponibilidade hídrica baixa. Com isso, torna-se indispensável equacionar os diversos usos humanos da água em região vulnerável à escassez hídrica como o Distrito Federal.
PALAVRAS-CHAVE: proteção integral; aquíferos; Planalto Central; Domínio Cerrado.

CURRENT SCENARIO AND WATER RESOURCES CHALLENGES IN THE FEDERAL DISTRICT, CENTRAL BRAZIL

ABSTRACT: This chapter presents a brief history and a current overview of the water resources of the Brazilian Federal District, including their potential uses and challenges. The Federal District (DF) is covered by Cerrado Domain, in the Brazilian Central Plateau, and this region is considered the "cradle of waters" or the "water tower" of Brazil. Springs, wetlands, and an intricate network of small waterways, such as streams and creeks, flow in abundance. Water resources in the Federal District are

[1] Líder do Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL) – CNPq, mestre e doutora em área de Limnologia pela Universidade de São Paulo (USP). Realizou pós-doutorado na Universidade de Paris Pierre e Marie Curie, na França, e na Universidade de Granada, na Espanha.

allocated for two main uses: human supply and irrigation of vegetables, fruits, and grains. Nearly 100% of the population has access to potable water, and 93% of homes are served by a sewage collection system. Urban areas and irrigated lands represent the risk points for water degradation and its recharge in the Federal District. Therefore, it becomes essential to consider the various human uses of water in a region vulnerable to water scarcity, such as the Federal District. The region has small aquifers, and the watercourses are springs and small. Therefore, it has low water availability. Therefore, it becomes essential to consider the various human uses of water in a region vulnerable to water scarcity, such as the Federal District.
KEYWORDS: integral protection; aquifers; Brazilian central plateau; Cerrado Domain.

1. INTRODUÇÃO

O Distrito Federal está situado no Domínio Cerrado, no centro do país, no Planalto Central brasileiro (BRASIL, 1998). A predominância de terras altas nesta região fornece condições para que as suas águas superficiais sejam drenadas para bacias contíguas. Nesse sentido, o Distrito Federal se situa no divisor de águas para o Brasil das principais bacias hidrográficas: Tocantins/Araguaia, São Francisco e Paraná (FONSECA, 2001).

Considerado o "berço das águas" ou a "caixa d'água" do Brasil, o território do DF está assentado na região nuclear do Domínio Cerrado. Nascentes e uma rede intricada de cursos d'água de pequeno porte, como riachos e córregos, fluem em profusão. Lagoas naturais e zonas úmidas são formadas pelo afloramento das águas subterrâneas (PADOVESI-FONSECA, 2005).

A obtenção de águas de boa qualidade para diversos usos pela humanidade é considerada uma das questões mais contundentes na atualidade. Água é um recurso de alto valor, com potenciais usos como: geração de energia elétrica, abastecimento doméstico e industrial, navegação, irrigação, recreação, piscicultura e pesca, entre outros. Constitui, dessa forma, uma das maiores riquezas do planeta. A posse das fontes naturais e nascentes é elemento-chave para a obtenção de água e na gestão de recursos hídricos regionais. O Brasil detém uma parcela expressiva dos deflúvios dos rios do mundo, e 12,7% escoam em suas redes hidrográficas (BRASIL, 1998).

Se por um lado o núcleo do Cerrado é especial por representar a região de nascentes e divisor de águas, por outro lado, há de ter habilidades na gestão de seus recursos hídricos pelas dificuldades inerentes em acumular e utilizar esta profusão de águas superficiais e subterrâneas.

O DF está situado em uma área com aquíferos de pequeno porte, e com o lençol freático, parte mais superficial das águas subterrâneas, bem raso, e chega a aflorar em alguns pontos, formando as nascentes. A primeira impressão é a água ser abundante nesta região. Na realidade, a água é de boa qualidade, mas é escassa. Os assentamentos humanos em áreas de recarga que abastecem os lençóis freáticos tornaram- se um dos principais problemas no uso da água no DF. Com isso, muitos olhos d' água e até lagoas naturais secaram na região (CAMPOS, 2004).

Além de ser uma região com fragilidades na disponibilidade hídrica, os mananciais do Distrito Federal vêm sendo progressivamente utilizados para abastecimento humano e irrigação de frutas, hortaliças e grãos. O crescimento populacional, especialmente após a construção de Brasília, transformou o DF em uma grande metrópole, com quase três milhões de habitantes. A mais recente crise hídrica, entre 2016 e 2017, nos alertou a buscar gestão hídrica que alie a potencialidade do uso dos recursos hídricos com as fragilidades naturais da região.

O presente capítulo apresenta um breve histórico e panorama atual dos recursos hídricos do Distrito Federal, com potencialidades e dificuldades no uso desses recursos. Perspectivas são referendadas como suporte para subsidiar as tomadas de decisões para a proteção dos mananciais e o consumo consciente e sustentável da água.

2. O DISTRITO FEDERAL

O Distrito Federal (DF) foi delineado como um retângulo situado na parte mais central do Brasil, em um relevo alto e plano, o Planalto Central Brasileiro. O DF, denominado de Quadrilátero Cruls de 1892, firma a plataforma continental brasileira, na porção central da Faixa de Dobramentos e Cavalgamentos Brasília, e assenta-se sobre algumas das rochas mais antigas do Planeta, da ordem de um a dois bilhões de anos (BERTRAN, 1995). Em cima desses solos e rochas seculares, se encaixam e fluem os cursos d'água, inúmeras nascentes brotam em profusão, com extensas áreas alagadas, as veredas e os campos úmidos.

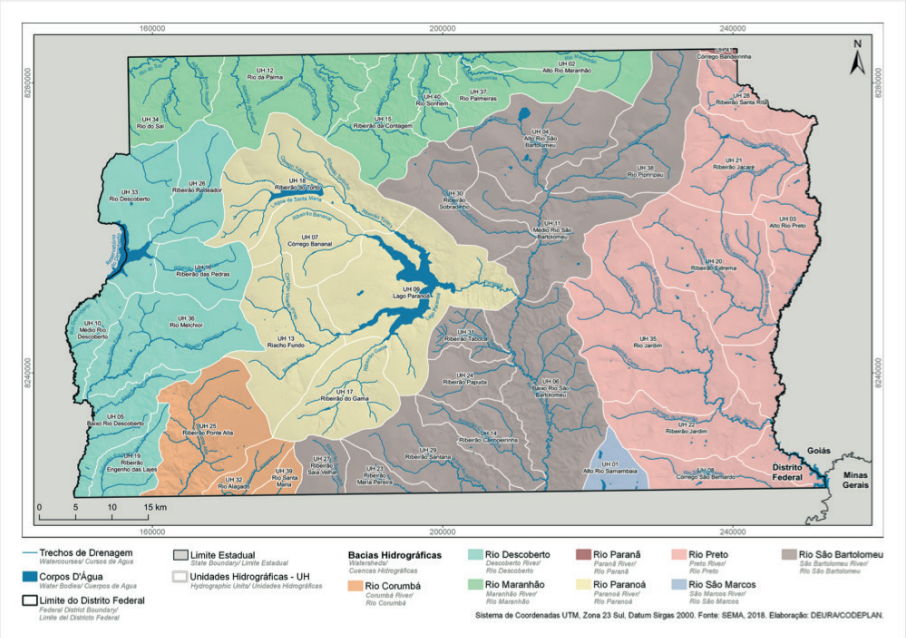
Segundo a classificação climática de Köppen, o clima no Distrito Federal é tropical, com concentração de precipitações no verão. Sazonalidade com períodos chuvoso e mais quente (entre outubro e março) e mais seco e mais frio (entre abril e setembro). Temperaturas do ar variam de 18 a 22°C, e podem chegar a um pouco mais de 30°C. O índice pluviométrico anual no DF varia entre 1000 e 1200 mm.

As áreas do DF abrangem cotas altimétricas entre 1000 e 1200 m (CODEPLAN, 2020b). Sua área territorial é de pouco mais de 5,76 mil km², a menor unidade em extensão do Brasil (IBGE, 2023).

O quadrilátero está assentado em dois grupos de aquíferos: os domínios aquíferos Poroso e Fraturado. No Domínio Poroso, a água ocupa os poros entre os minerais constituintes dos corpos rochosos. São solos e rochas que estão em processo de alteração. No domínio fraturado a água se acumula nas fraturas fendas ou falhas. Compõem o sistema de águas subterrâneas profundas com máxima profundidade superior a 250 metros. Esses aquíferos são aproveitados por meio de poços tubulares profundos (CODEPLAN, 2020a).

O relevo do DF caracteriza-se pelo padrão plano (0 a 3% de declividade) a suave ondulado (3 a 8% de declividade). Há relevos inclinados que se estendem da base das chapadas e dos morros residuais em direção aos vales. E relevos dissecados, ao longo dos rios Paranoá, São Bartolomeu, Preto, Maranhão e Descoberto. Esses rios formam as cinco principais bacias hidrográficas do DF (Figura 1). Nos vales dos rios das bacias do São Bartolomeu, Descoberto e Rio Preto apresentam declividades ondulada a forte ondulada (8 a 45%) (CARNEIRO; SOUZA, 2001).

Figura 1. Bacias hidrográficas do Distrito Federal. Fonte SEMA (2018).



Os solos do Distrito Federal são relativamente planos com várias profundidades texturas porosidades e diferentes níveis de fertilidade. Apresentam diversas cores, que vão de matizes avermelhadas até cinza e preto. Para o uso na agricultura, os solos do DF apresentam baixa fertilidade, sendo necessária a correção do solo para cultivo (detalhes, vide REATTO, 2004).

Predominam os Latossolos, com 60% do território, e os Cambissolos, com 31% da área do DF. Os Latossolos são de coloração avermelhada, altamente intemperizados, muito profundos, bem drenados, distróficos, ácidos e com teores de argila variando entre 15 e 80%; ocorrem em áreas de topografia plana a suave ondulada.

Os Cambissolos são pouco desenvolvidos, com minerais facilmente intemperizáveis, associados ao relevo mais movimentado (ondulado e forte ondulado). Geralmente são solos rasos, distróficos, com textura variando entre argilosa e franco-arenosa e apresentam material concrecionário e cascalhos. A preservação desse solo é recomendada devido à sua posição em relevos movimentados e suas características físicas propensas à erosão.

Solos hidromórficos ocupam 3% do DF, localizados nas depressões sujeitas às inundações. Os Nitossolos correspondem a 4% do território e ocupam relevo ondulado na porção inferior de encostas côncavas.

Assim, vimos que o Distrito Federal está situado em terras altas que servem como dispersores das drenagens que fluem para três importantes bacias hidrográficas do Brasil: bacia do Paraná, bacia do São Francisco e bacia do Tocantins. O quadrilátero representa uma importante área de nascentes, na qual predominam cursos d'água perenes, com uma extensa hidrografia, por onde escoam cerca de 10 bilhões de metros cúbicos de água, anualmente.

3. OS POTENCIAIS USOS DAS ÁGUAS DO DISTRITO FEDERAL

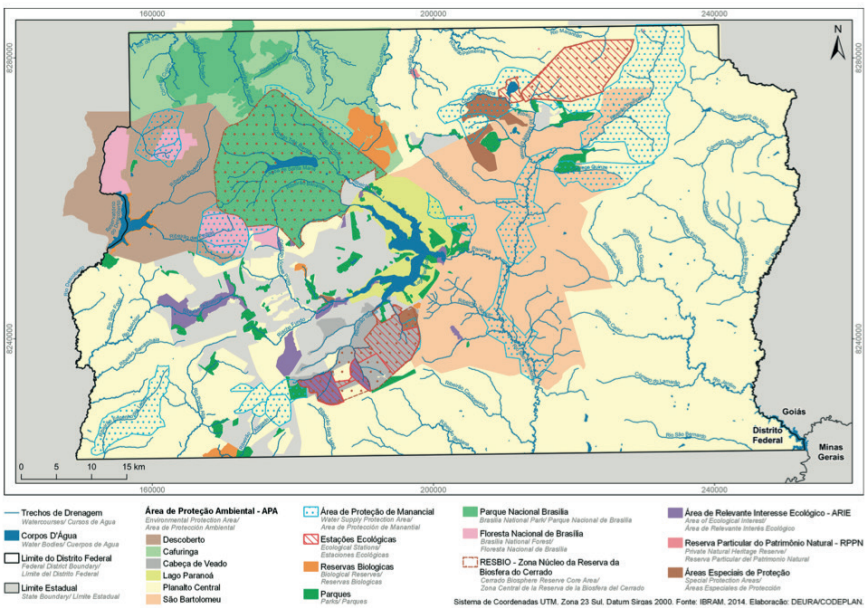
As condições de saneamento no Distrito Federal são relativamente melhores que a média nacional brasileira, onde apenas 14% da população tem cobertura sanitária adequada. Quase 100% da população tem acesso a água potável (99%); 93% das residências são atendidas por coleta de esgoto, e todas passam por algum tipo de tratamento, segundo a empresa de saneamento do Distrito Federal (CAESB, 2023b).

Os recursos hídricos no DF são destinados para dois principais usos: abastecimento humano e irrigação de hortaliças, frutas e grãos. O abastecimento humano se destina a áreas urbanas, e a irrigação para áreas rurais, que no DF, com predominância de núcleos rurais de pequeno porte.

Com a construção de Brasília para ser a futura Capital do Brasil, foi criada a Divisão de Água e Esgotos, vinculada à Companhia Urbanizadora da Nova Capital (Novacap). O primeiro abastecimento, com o nome de Catetinho, foi implantado para suprir os canteiros de obras e núcleos residenciais de trabalhadores que construíram Brasília.

O primeiro sistema de abastecimento de Brasília foi desenvolvido dentro do Parque Nacional de Brasília (Figura 2), com um dos cursos d'água localizado em seu interior: o Ribeirão do Torto. Hoje constitui o sistema Santa Maria e Torto, e abastece o Plano Piloto de Brasília e os órgãos da administração federal (ADASA, 2023a). O reservatório do Descoberto, situado na parte oeste do DF, na divisa com o estado de Goiás, representa, com o de Santa Maria, os principais sistemas de abastecimento o Distrito Federal.

Figura 2. Unidades de Conservação do Distrito Federal. Fonte: CODEPLAN (2020a).



O reservatório de Santa Maria (15°40'18,53"S, 47°59'1,90"O), localizado no Parque Nacional de Brasília, DF, foi construído entre os anos de 1969 e 1971 para abastecer de 20 a 25% da demanda urbana do DF (CRUZ, 2020). O sistema Santa Maria/Torto tem uma área de 246 km² e está na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá (Figura 1).

O reservatório do Descoberto (15°45'6,43"S, 48°12'19,10"O) está na bacia hidrográfica do Rio Descoberto (Figura 1), oeste do Distrito Federal. A bacia tem uma área de 452 km², que ocupa dois territórios: 30% no estado de Goiás e 70% no DF, como evidencia a Figura 1.

A agência responsável pelo abastecimento de água e saneamento básico do Distrito Federal foi criada em 1969, a Companhia de Água e Esgotos de Brasília (Caesb), que, desde 2005, a empresa mudou o nome para Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal.

Em 2004 foi criada a Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal (Adasa), como uma autarquia em regime especial e com as finalidades básicas de regular, controlar e fiscalizar a qualidade e a quantidade das águas dos corpos hídricos de domínio distrital ou delegados pela União e Estados, bem como os serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário do Distrito Federal (ADASA, 2023b).

Em 2006, Caesb e Adasa regulamentam a exploração do serviço publico de saneamento básico, para abastecimento de água e esgotamento sanitário, e que a Caesb é a prestadora dos serviços para o Distrito Federal.

Em 2008, houve a restruturação da Adasa, que ampliou sua finalidade básica para regulação dos usos das águas e dos serviços públicos de competência originária do Distrito Federal, bem como daqueles serviços realizados no âmbito geopolítico ou territorial do Distrito Federal.

O sistema de abastecimento de água do Distrito Federal é composto por cinco unidades, sendo as principais a do Descoberto e do Torto-Santa Maria. Esses dois sistemas produtores fornecem o equivalente a 88,79% do total de água tratada, representando 82,6% da população atendida no Distrito Federal (ADASA, 2023a).

O Distrito Federal enfrentou de 2016 a 2018 uma grave crise hídrica, na qual os principais reservatórios utilizados para o abastecimento da população ficaram

abaixo do volume útil e medidas como o racionamento tiveram de ser tomadas (LIMA *et al.* 2023).

Mesmo com o esforço da população do DF de reduzir o uso da água, e das intervenções da Caesb, o volume das barragens do Descoberto e de Santa Maria diminuiu mês a mês durante a seca. Em 2017, o Descoberto amargou o índice de 5,3%, o menor da história do reservatório. O mínimo atingido por Santa Maria foi de 21,6% (CAESB, 2023a). O volume de chuvas na região foi um dos fatores ambientais destacado pelas agências reguladoras de água do DF. O ano de 2017 terminou com o volume de chuvas 15% abaixo do esperado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet).

A crise hídrica também afetou os produtores rurais, em sua grande maioria de pequeno porte, que produzem hortaliças e frutas, além de produção de grãos. Nesse contexto, os produtores rurais tiveram que optar por sistemas de irrigação mais eficientes, com o uso racional e evitar o desperdício de água, como destacou o agrônomo Marcos Braga, pesquisador da Embrapa Hortaliças do DF. O manejo adequado da irrigação bem como o reuso da água foram itens adicionados pelo pesquisador.

Estudos realizados por REATTO (2004) revelaram o aumento da demanda de água para irrigação na virada do século, com o aumento de 75% de uso, especialmente na produção de grãos. A Bacia do Rio Preto, localizada a leste do DF (Figura 1) se configura como a principal área agrícola da região. Nessa bacia a irrigação constitui o principal uso dos recursos hídricos. A tecnologia e inovação são essenciais na produtividade agrícola, e a implantação de irrigação por gotejamento para economizar água e fertilização vem beneficiando os produtores rurais do Distrito Federal (EMATER, 2023).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) estabelecida pela Lei nº 9.433/97, estabelece que a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas. Contudo, em situações de escassez, o uso prioritário é o consumo humano e a dessedentação de animais. E, somente após, a água é usada para a irrigação. Nesse sentido, há necessidade de equacionar o uso da água em regiões vulneráveis à escassez hídrica, como o Distrito Federal.

4. OS PROBLEMAS AMBIENTAIS DOS USOS DAS ÁGUAS DO DISTRITO FEDERAL

Os mananciais do Distrito Federal (DF), no Brasil central, vêm sendo ameaçados por pressões antrópicas, tanto na sobrecarga nos usos humanos da região, bem como na degradação de sua qualidade aquática e ambiental. Tal situação se produziu especialmente devido ao crescimento populacional urbano e à expansão agrícola na região.

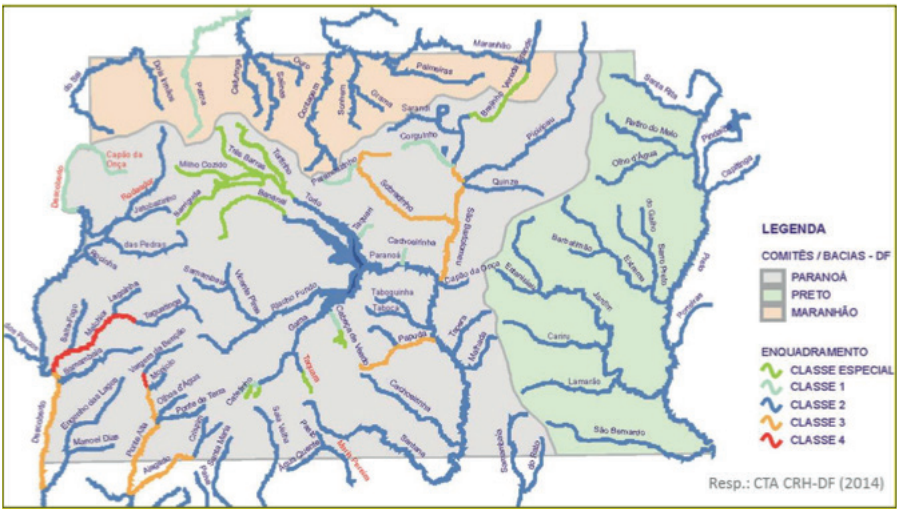
Vários fatores regionais têm gerado conflitos de uso e degradação ambiental relacionados aos recursos hídricos no Distrito Federal. Ao longo de quase 60 anos, a população do DF atingiu cerca de três milhões de habitantes, segundo o censo de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). Além da expansão urbana, extensas áreas do Distrito Federal foram ocupadas por atividades agrícolas.

A degradação da qualidade dos mananciais do Distrito Federal também tem relação com as áreas circunvizinhas ao quadrilátero e que pertencem ao estado de Goiás. A ocupação dessas áreas se dá de forma desordenada. Pequenas propriedades rurais, de início, são transformadas em áreas urbanas desprovidas de uma infraestrutura adequada, e sem respeitar áreas de preservação, inclusive de mananciais e nascentes.

A área total do Distrito Federal é coberta pelo Domínio Cerrado. Os solos do DF, em ritmo mais acelerado após a construção de Brasília, vêm sendo ocupados pelos usos urbano e agrícola, com a perda de 74% da cobertura vegetal do território.

As formações vegetais remanescentes estão restritas às unidades ambientais de preservação permanente, onde há uma fiscalização do ponto de vista legal do poder público. Como exemplo, têm-se a Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESECAE), o Parque Nacional de Brasília (PNB) e a Reserva Ecológica do IBGE; ou mesmo em áreas especiais de proteção como o Jardim Botânico de Brasília e a Fazenda Água Limpa (Figura 2). Nessas áreas, os cursos d'água foram enquadrados como classe especial, com características naturais e preservadas (Figura 3).

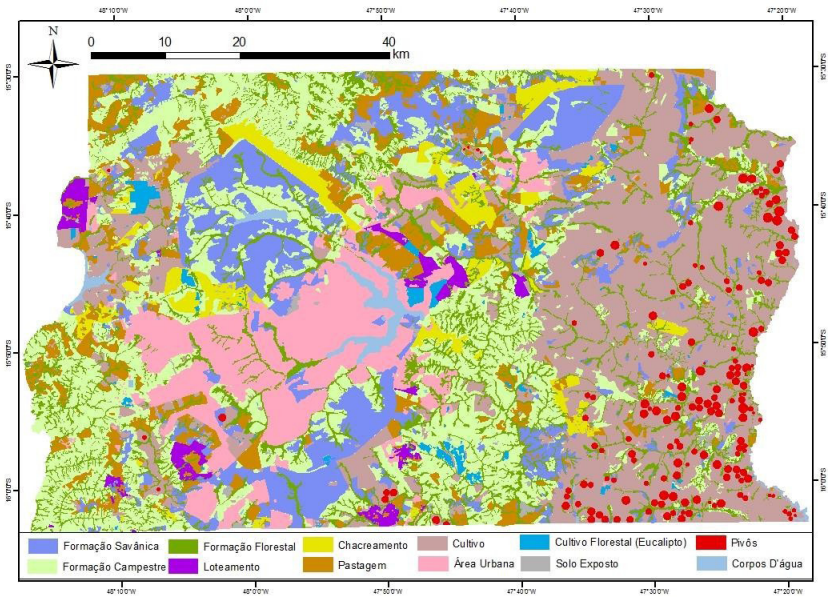
Figura 3. Classificação dos rios (Conama n.357) do Distrito Federal para fins de enquadramento. Fonte: CRH-DF (2023).



Grande parte dos cursos d'água no DF são designados como Classe 2, segundo critérios de Conama n.357. Áreas com predominância de atividades agrícolas e trechos de rios mais perto de áreas urbanas formaram essa categoria. Degradação da qualidade da água decorrente ao uso agrícola foi detectada, em especial, na bacia do Rio Preto (Figura 3), parte do DF que verte para a bacia do Rio São Francisco. Nessa região há um intenso uso de tecnologia e prática de irrigação, e a construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) (Figura 4).

Assim, a parte leste do Distrito Federal é essencialmente agrícola com uma forte presença de pivô central de irrigação. As áreas centro-sul, sudeste e noroeste do território se destacam pela presença de formação campestre. Essas áreas são mais difíceis de serem utilizadas devido a um relevo acidentado, bem como de solos com menor aptidão agrícola. Outra grande mancha contínua existente no mapa do DF se refere a área urbana a partir do Lago Paranoá em direção sudoeste (Figura 4).

Figura 4. Mapa de uso e cobertura do solo do Distrito Federal com base em ortofotos obtidas em 2009, em escala de 1:30.000, Datum WGS 84 UTM Zona 23S. Fonte: REIS *et al.* (2015).



O inegável valor dos ecossistemas aquáticos como fonte de serviços ambientais e abastecimento de água potável para as populações humanas tem desencadeado constantemente discussões sobre a qualidade e quantidade da água dos cursos d'água entre os pesquisadores e tomadores de decisão (DODDS *et al.* 2009). Conforme mencionado, a região apresenta inúmeras nascentes e cursos d'água de pequeno porte, como riachos e córregos. THOMAS *et al.* (2004) destacam que esses riachos de cabeceira têm a capacidade de obter taxas de nutrientes mais elevadas quando comparadas com canais fluviais maiores, e por conseguinte, têm um efeito desproporcionalmente maior no transporte de nutrientes das bacias hidrográficas devido à sua elevada relação entre área superficial e volume.

Para os cursos d'água do DF, estudos atestam uma tendência de aumento de carga química de ambientes fluviais situados em áreas naturais, passando para áreas rurais e por fim áreas urbanas (PADOVESI-FONSECA *et al*. 2010; SILVA *et al.* 2010; FONSECA *et al.* 2013; MOREYRA; PADOVESI-FONSECA, 2015). Seus resultados indicaram que alterações na cobertura do solo, bem como o nível de proteção das margens dos rios, produzem alterações na química da água dos

riachos no DF, com possível degradação e impedimento de diversos usos humanos de suas águas.

Estudos realizados na avaliação da qualidade de água de cursos d'água do Distrito Federal apontaram que cargas de nutrientes (nitrogênio e fósforo) provenientes de fontes pontuais, como esgotos urbanos, representaram o principal fator para a degradação da qualidade de suas águas (FONSECA et al. 2013; MOREYRA & PADOVESI-FONSECA, 2015).

REIS *et al.* (2015) registraram 43,8% de vegetação remanescente no território do DF, sendo 19,8% de formação campestre, 11,7% de formação florestal e 12,3% de formação satânica. As áreas de cultivo dominaram, com 25,2% de uso do solo do território, seguidas por pastagens e área urbana, com 10,5% cada um. O clareamento (3,2%) e o loteamento (1,8%), apesar de ainda representarem áreas pequenas, devem ser alvos de atenção por serem regiões de expansão urbana. A área irrigada por pivô-central (2,0%) merece destaque, pois potencializa o risco de conflitos nos recursos hídricos para o Distrito Federal, em especial na bacia do Rio Preto, região leste do território (REIS *et al.* 2015).

Área urbana apresenta um grande risco para a manutenção da qualidade de água para usos humanos no DF. Os cursos d'água situados nessas áreas urbanas estão nas classes 3 e 4 (Figura 3), o que configura qualidade de água vulnerável à degradação e não adequada para vários usos humanos mais nobres, como abastecimento. Ademais, com o adensamento urbano, o planejamento e adequação da qualidade de suas águas tendem a ser não mais viáveis, mesmo com as tecnologias existentes hoje. Um dos entraves é de origem natural, pois os cursos d'água no território são de pequeno porte, e sem capacidade suporte de diluir o esgoto produzido pelas áreas urbanas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Distrito Federal apresenta condições peculiares quanto aos recursos hídricos. Por estar em uma região de planalto, suas águas escoem naturalmente para bacias contíguas mais baixas. Seus aquíferos são pequenos e os cursos d'água são de cabeceiras e de pequeno porte. Possui, assim, uma disponibilidade hídrica baixa, sendo a terceira menor em comparação com os estados do Brasil (CODEPLAN, 2020b). Aliado a isso, o crescimento urbano e a expansão rural nas últimas décadas contribuíram para o aumento da demanda hídrica do território.

Esse panorama é facilitador para escassez hídrica na região, evidenciada entre 2016 e 2018, na passagem de uma grave crise hídrica no Distrito Federal.

As áreas urbanas e as terras irrigadas representam os pontos de risco para a degradação e recarga das águas do Distrito Federal. A preservação dos mananciais e de áreas de nascentes das principais bacias direcionadas para abastecimento humano, de um lado, e para irrigação na agricultura, do outro, deve estar sob gestão hídrica adequada e com monitoramento contínuo.

O conhecimento sobre o uso e a cobertura do solo é fundamental para subsidiar ações relacionadas à gestão territorial e dos recursos hídricos de uma determinada região. E com isso, torna-se indispensável equacionar os diversos usos humanos da água em uma região vulnerável à escassez hídrica como o Distrito Federal.

6. AGRADECIMENTOS

Este capítulo é produto de estudos de recursos hídricos desenvolvidos pelo Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL), da Universidade de Brasília. O Grupo de Pesquisa é cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Ao Lucas Brandão de Moraes pelo auxílio na busca bibliográfica e formatação das referências.

REFERÊNCIAS

ADASA. **Plano de exploração**, volume 1, tomo 3/6. In: www.adasa.df.gov.br/images/storage/legislacao/Res_ADASA/2022/Tomo/Tomo%203%20-%20Plano%20de%20Expansão.pdf, 2023a. Acesso em: 08 outubro 2023.

ADASA. **Plano Distrital de Saneamento Básico - relatório síntese**. In: http://www.adasa.df.gov.br/images/Produtos-PDSB/Produto_7/1_PDSB_DF_subproduto _7.2_1017_VF_Sintese.pdf, 2023b Acesso em: 07 outubro 2023.

BERTRAN, P. **História da terra e do homem no Planalto Central: eco-história do Distrito Federal***:* do indígena ao colonizador, 1995. www.pirenopolis.tur.br/turismo

BRASIL. **Primeiro relatório nacional para a convenção sobre diversidade biológica**. Ministério do Meio Ambiente, dos recursos hídricos e da Amazônia legal. Brasília, 1998.

CAESB. **Relatório anual de administração**, 2018. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. In: www.caesb.df.gov.br, 2023a. Acesso em: 27 novembro 2023.

CAESB. **Relatório anual de administração**, 2022. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. In: www.caesb.df.gov.br, 2023b. Acesso em: 28 novembro 2023.

CAMPOS, J. E. **Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos**. Revista Brasileira de Geociências, 34 (1),1-48, 2004.

CARNEIRO, P.J.R.; SOUZA, N.M. **Compartimentos geomorfológicos do Distrito Federal**. Revista Universa. Brasília, 9 (2), 339-348, 2001.

CODEPLAN. **Atlas do Distrito Federal**. In: www.codeplan.df.gov.br/atlas-do-distrito-federal-2020, 2020a. Acesso em: 30 outubro 2023.

CODEPLAN. **Um Panorama das Águas do Distrito Federal**. In: www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/Estudo-Um-Panorama-das-Águas-no-Distrito-Federal.pdf, 2020b. Acesso em: 12 de nov. 2023

CRH-DF. **Resolução no 2 de 17 de dezembro de 2014**. Aprova o enquadramento dos corpos de água superficiais do Distrito Federal em classes, segundo os usos preponderantes, e dá encaminhamentos. Conselho de Recursos Hídricos do Distrito Federal. In: https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/78743/sema_crh_res_3_2018.html, 2023. Acesso em: 04 outubro 2023.

CRUZ, D.C. **Identificação de áreas potencialmente inundáveis associadas à ruptura hipotética da barragem Santa Maria em decorrência de piping**. Dissertação (mestrado), Universidade de Brasília-UnB, Brasília, DF, 2020.

DODDS, W.K.; BOUSKA, W.W.; EITZMANN, J. L.; PILGER, T.J.; PITTS, K.L.; RIKEY, A.J.; SCHLOESSER, J.T..; THORNBRUGH, D.J. **Eutrophication of U.S. freshwaters: analysis of potential economic damages.** Environmental Science and Technology, 43 (1), 12–19, 2009.

EMATER. **Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal.** In: https://www.emater.df.gov.br/, 2023. Acesso em: 14 setembro de 2023.

FONSECA, F.O. **Olhares sobre o lago Paranoá.** Brasília: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2001.

FONSECA, B.M.; MENDONÇA-GALVÃO, L.; PADOVESI-FONSECA, C.; ABREU, L.M.; FERNANDES, A.C.M. **Nutrient baselines of Cerrado low-order streams: comparing natural and impacted sites in Central Brazil.** Environmental Monitoring and Assessment, 186, 19-33, 2013.

IBGE. **Censo 2022**. In: censo2022.ibge.gov.br/panorama/?utm_source=ibge&utm_medium=home&utm_campaign=portal, 2023. Acesso em: 28 novembro 2023.

LIMA, J.E.F.W.; FREITAS, G.K.; PINTO, M.A.T.; SALLES, P.S.B. A. **Gestão da Crise Hídrica 2016** - *2018*: experiência do Distrito Federal. In: www.adasa.df.gov.br/images/banners/alta.pdf, 2023. Acesso em: 28 novembro 2023.

MOREYRA, A.K.; PADOVESI-FONSECA, C. **Environmental effects and urban impacts on aquatic macroinvertebrates in a stream of central Brazilian Cerrado**. Sustainable Water Resources Management, 1, 25-136, 2015.

PADOVESI-FONSECA, C. **Caracterização dos ecossistemas aquáticos do cerrado**. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J.C.; FELFILI, J. (Orgs). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005, p. 422- 425.

PADOVESI-FONSECA, C.; CORRÊA, A.C.G.; LEITE, G.F.M.; JOVELI, J.C.; COSTA, L.S.; PEREIRA, S.T. **Diagnóstico da sub-bacia do ribeirão Mestre d'Armas por meio de dois métodos de avaliação ambiental rápida, Distrito Federal, Brasil Central**. Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, 5 (1), 43-56, 2010.

REATTO, A.; MARTINS, É.S.; FARIAS, M.F.R.; SILVA, A.V.; CARVALHO JÚNIOR,). A.. *Mapa pedológico digital-SIG atualizado do Distrito Federal escala 1: 100.000 e uma síntese do texto explicativo*. Embrapa, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, Brasília, 2004.

REIS, S.M.; LENZA, E., MARIMON, B.S.; GOMES, L.; FORSTHOFER, M.; MORANDI, P.S.; MARIMON-JUNIOR, B.H.; FELDPAUSCH, T.R.; ELIAS, F. **Post-fire dynamics of the woody vegetation of a savanna forest (Cerradão) in the Cerrado-Amazon transition zone**. Acta Botanica Brasilica, 29, 408-416, 2015.

SEMA. **Matriz Ecológica - Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal.** Secretaria de Meio Ambiente do Distrito Federal. Disponível em: http://zee.df.gov.br/matriz-ecologica/, 2018. Acesso em: 18 outubro 2023.

SILVA, W.J.; FELISBERTO, S.A.; PADOVESI-FONSECA, C.; SOUZA, M.G. M. **Serial discontinuity along the Descoberto river basin, Central Brazil.** Acta Limnologica Brasiliensia, 22, 344-355, 2010.

THOMAS, S.M.; NEILL, C.; DEEGAN, L.A.; KRUSCHE, A.V.; BALLESTER, V.M.; VICTORIA, R.L. **Influences of land use and stream size on particulate and dissolved materials in a small Amazonian stream network.** Biogeochemistry, v. 68, n. 2, p. 135-151, 2004.

CAPÍTULO 2

ESTRATÉGIAS PARA UMA GESTÃO HÍDRICA EFICAZ NO DISTRITO FEDERAL, BRASIL CENTRAL

Data de submissão: 05/06/2026
Data de aceite: 18/06/2026

Lucas Brandão de Moraes
Biólogo formado pela
Universidade de Brasília (UnB)
https://lattes.cnpq.br/1035324121747273

Claudia Padovesi Fonseca[1]
Professora titular da
Universidade de Brasília (UnB)
Departamento de Ecologia
Instituto de Biologia
Universidade de Brasília – UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, Brazil
https://orcid.org/0000-0001-7915-3496

RESUMO: A Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em 2015 para promover um futuro sustentável, com destaque na importância da gestão hídrica. Este capítulo analisa os recursos hídricos do Distrito Federal (DF) e a implementação do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS6) por meio de revisão bibliográfica documental. A Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA) monitora a qualidade da água com 57 estações e regula o uso por meio de outorgas. A demanda urbana é atendida pelas bacias hidrográficas dos rios Paranoá e Descoberto, enquanto a atividade agrícola predomina nas bacias dos rios São Marcos e Preto. O crescimento urbano e o agronegócio intensificaram a pressão sobre os mananciais, alterando suas características ambientais. Entre 2015 e 2017, o DF enfrentou uma crise hídrica devido à escassez de chuvas e à ocupação desordenada do solo. Em 2024, a região registrou a seca mais severa em 20 anos, com mais de 150 dias sem chuva, comprometendo a recarga dos aquíferos. Desde 2016, o DF integra a Agenda 2030, apresentando índices de saneamento superiores à média nacional. Estratégias sustentáveis, planejamento ambiental e políticas públicas eficazes são fundamentais para garantir a preservação hídrica a longo prazo no Distrito Federal.
PALAVRAS-CHAVE: mananciais; recursos hídricos; bacia hidrográfica; Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 6; Cerrado.

[1] Líder do Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL) – CNPq, mestre e doutora em área de Limnologia pela Universidade de São Paulo (USP). Realizou pós-doutorado na Universidade de Paris Pierre e Marie Curie, na França, e na Universidade de Granada, na Espanha.

STRATEGIES FOR EFFECTIVE WATER MANAGEMENT IN THE FEDERAL DISTRICT, CENTRAL BRAZIL

ABSTRACT: The United Nations (UN) established the Sustainable Development Goals (SDGs) in 2015 to promote a sustainable future, highlighting the importance of water management. This chapter analyzes the water resources of the Federal District (DF) and the implementation of Sustainable Development Goal 6 (SDG 6) by a documentary literature review. The Water, Energy and Basic Sanitation Regulatory Agency of the Federal District (ADASA) monitors water quality with 57 stations and regulates its use by permits. Urban demand is met by the Paranoá and Descoberto river basins, while agricultural activity predominates in the São Marcos and Preto basins. Urban growth and agribusiness have intensified the pressure on water sources, altering their environmental features. Between 2015 and 2017, the Federal District faced a water crisis due to lack of fall and disorderly land occupation. In 2024, the region recorded its most severe drought in 20 years, with more than 150 days without rain, compromising the aquifer recharges. Since 2016, the Federal District has been part of the 2030 Agenda, presenting sanitation rates higher than the Brazilian average. Sustainable strategies, environmental planning, and effective public policies are fundamental to ensuring the long-term preservation of water in Federal District.
KEYWORDS: springs; water resources; river basin; Sustainable Development Goal 6; Cerrado.

1. INTRODUÇÃO

A Cúpula do Milênio das Nações Unidas, em 2000, reuniu líderes de 189 países e definiu os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), com oito objetivos principais a serem alcançados até 2015. Essa agenda global visava promover um mundo mais justo e sustentável (ONU, 2024).

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou uma nova agenda, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com 17 objetivos e 169 metas a serem cumpridos até 2030. Essa agenda visa a garantir um futuro próspero para as pessoas e para o planeta, incluindo a proteção dos recursos hídricos (ONU).

O Cerrado ganha destaque para esse intento, pois estima-se que contribui em 43% da produção hídrica de oito das doze bacias hidrográficas do Brasil (LIMA & SILVA, 2005).

Com uma extensão de dois milhões de km², o Cerrado abriga oito dos 12 maiores rios do Brasil, além de ser crucial para a dinâmica hídrica do país

(LATRUBESSE *et al*., 2019). Apesar de ter baixa disponibilidade hídrica superficial, comparado a outros biomas brasileiros, o Cerrado é um importante berço de nascentes e recarregador de aquíferos, alimentando os rios brasileiros (LIMA e SILVA, *op.cit.*).

No coração do Planalto Central, o Distrito Federal (DF) se destaca por sua hidrografia. Sua geomorfologia abriga nascentes que formam rios de cabeceira, contribuindo para importantes bacias hidrográficas como a Bacia do Paranoá, a Bacia do São Francisco e a Bacia do Tocantins (SEMARH, 2006).

O Distrito Federal possui baixa disponibilidade hídrica superficial e sete bacias hidrográficas regionais, com as bacias do Rio Preto, Rio Paraná, Rio Maranhão, Rio Descoberto, Rio Corumbá, Rio Paranoá, Rio São Bartolomeu e Rio São Marcos (SEMA-DF, 2018).

A presente revisão tem como objetivo divulgar a potencialidade hídrica dos mananciais e seus usos atuais no Distrito Federal. Além disso, associá-los ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6) da Agenda 2030.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Esse capítulo teve como foco as águas e seus usos no Distrito Federal (DF) e a implementação do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6, referente aos recursos hídricos, da Organização das Nações Unidas (ONU). Para isso, foi feita uma revisão bibliográfica documental de sites do governo, como: CODEPLAN, a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA); o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); a Organização das Nações Unidas (ONU); o Instituto de Pesquisa e Estatística do Distrito Federal (IPE-DF); a Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal (SEMA-DF); e o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

No Google Acadêmico, pesquisou-se artigos e teses, empregando palavras-chave como recursos hídricos, qualidade de água, bacia hidrográfica, ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e uso de água. A revisão teve prioridade a publicações entre os períodos de 1 de janeiro de 2019 a 20 de dezembro de 2024, mas caso o tópico não estivesse dentro desse intervalo, foram considerados publicações anteriores.

3. GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A Agência Reguladora de Águas e Saneamento (ADASA) do DF tem uma rede de monitoramento fluviométrica e pluviométrica, a qual é composta por 57 estações, 16 telemétricas, 28 automáticas e 13 manuais. Essa estrutura tem com o objetivo de promover uma gestão sustentável (ADASA, 2020).

Uma das formas de assegurar essa gestão sustentável é por meio de Outorgas. No ano de 2001, o governo do Distrito Federal emitiu uma lei e dois decretos que tratam sobre os usos dos recursos hídricos: a Lei n°. 2.725, de 13 de junho de 2001; o Decreto n°. 22.358, de 31 de agosto de 2001; e o Decreto n°. 22.359, de 31 de agosto de 2001 (Tabela 1).

Tabela 1. Legislação referente as Outorgas do Distrito Federal (fonte: XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2023 (editado)).

Unidade Federativa	Normativo	Ementa
Distrito Federal	Lei n°. 2.725, de 13 de junho de 2001	Institui a Política de Recursos Hídricos e cria o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Distrito Federal. Revoga a Lei n° 512 de 28 de julho de 1993.
	Decreto n°. 22.358, de 31 de agosto de 2001	Dispõe sobre a outorga de direito de uso de água subterrânea no território do Distrito Federal que trata o inciso II, do XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ISSN 2318-0358) artigo 12, da Lei n° 2.725, de 13 de junho de 2001, e dá outras providências.
	Decreto n°. 22.359, de 31 de agosto de 2001	Dispõe sobre a outorga de direito de uso no território do Distrito Federal e dá outras providências.

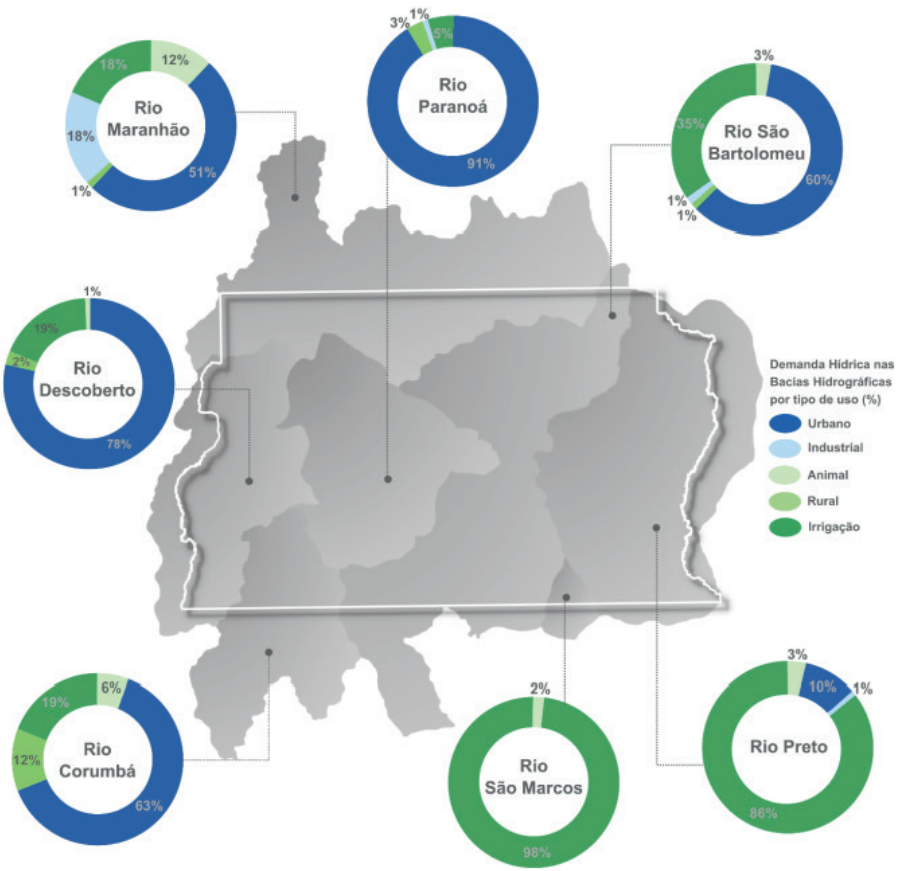
As demandas hídricas do Distrito Federal são majoritariamente em dois setores: urbano e agricultura. A demanda urbana é suprida, por meio de outorgas, pelas bacias dos rios Descoberto, Paranoá, São Bartolomeu, Corumbá e Maranhão. As bacias dos rios Preto e São Marcos, que são rurais, o uso predominante é para irrigação (ADASA, 2012 e CODEPLAN, 2020).

A demanda urbana é atendida, por meio de outorgas, pelas bacias dos rios Descoberto, Paranoá, São Bartolomeu, Corumbá e Maranhão. Dentre essas, a bacia do Rio Paranoá destaca-se, pois 91% do seu volume outorgado é destinado ao

abastecimento urbano, enquanto a bacia do Rio Maranhão apresenta o percentual mais baixo entre elas, com 51%. As bacias dos rios São Bartolomeu, Descoberto e Corumbá também contribuem com 60%, 78% e 63% de suas respectivas outorgas voltadas para o abastecimento urbano (Figura 1).

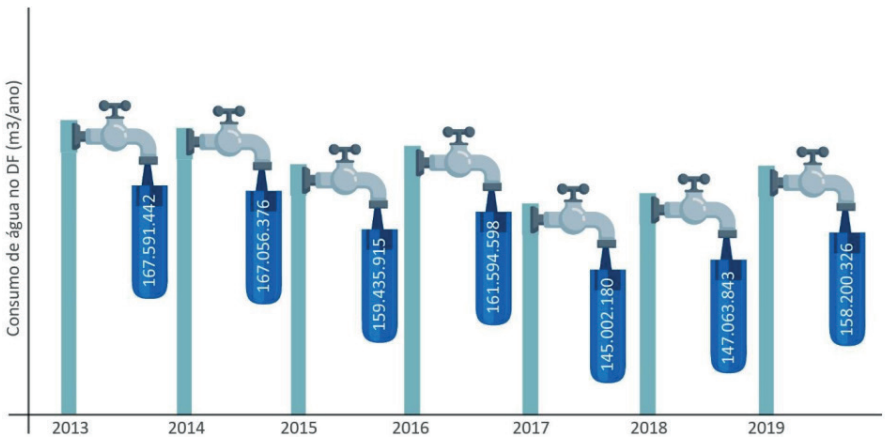
O segundo setor de demanda é o agrícola. A bacia do Rio São Marcos, 98% da outorga é destinada a suprir essa demanda, enquanto a bacia do Rio Preto tem 86% da sua outorga voltada para o mesmo fim. Além disso, uma fração das outorgas das bacias dos rios Maranhão, São Bartolomeu, Descoberto e Corumbá também é utilizada para atender às necessidades do setor agrícola (Figura 1).

Figura 1. Demandas hídricas nas bacias hidrográficas do Distrito Federal por tipo de uso (%). (Fonte: ADASA, 2012. Elaboração: DEURA/Codeplan).



O crescimento urbano e a expansão da atividade agrícola exercem constante pressão sobre os recursos hídricos, ameaçando sua sustentabilidade e disponibilidade a longo prazo (CASTRO, 2022). A demanda crescente por água, impulsionada por esses fatores, torna-se um desafio para a gestão eficiente e a conservação desse recurso vital.

Figura 2. Consumo urbano de água no Distrito Federal por ano (2013 a 2019) (Fonte: Caesb, 2020. Elaboração: DEURA/Codeplan).



No Distrito Federal, o consumo de água apresentou variações significativas ao longo dos anos. Em 2013, o consumo anual foi de aproximadamente 167 mil m³, reduzindo para 158 mil m³ em 2019. Durante a crise hídrica ocorrida entre 2015 e 2017, observou-se uma queda ainda mais acentuada, com o consumo atingindo 145 mil m³ em 2017 e 147 mil m³ em 2018 (Figura 2). Esse declínio reflete os impactos das condições climáticas adversas e das políticas de racionamento adotadas para mitigar a escassez de água.

As bacias hidrográficas do Distrito Federal enfrentam não apenas a pressão do abastecimento, mas também as consequências das atividades antrópicas. Trechos dos rios Preto, Sobradinho, Pipiripau, São Bartolomeu, Papuda e Mestre d'Armas estão classificados como impactado ou muito impactado. Em particular, pontos situados próximos às Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) apresentaram concentrações de fósforo total (TP) superiores a 0,15 mg L^{-1}, um indicativo comprometimento da qualidade da água (FONSECA *et al.*, 2014).

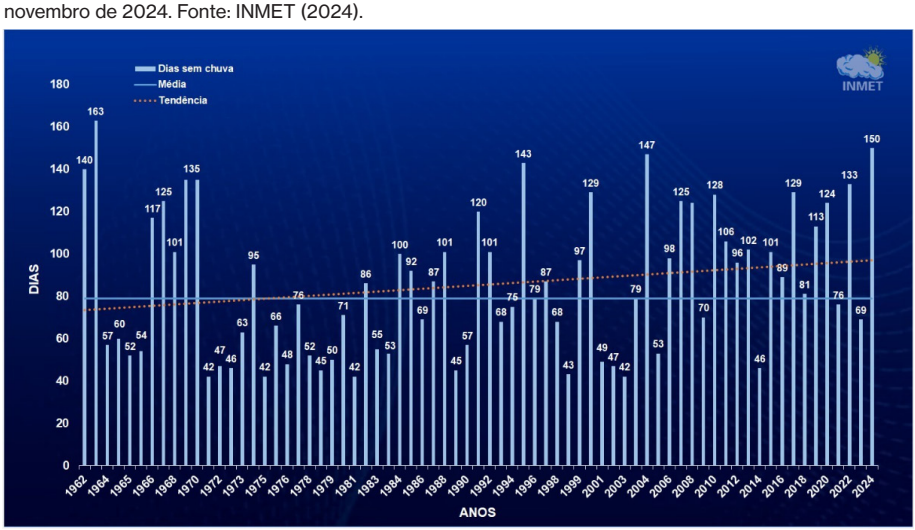
Além disso, a qualidade ambiental da água e dos sedimentos do Rio Melchior tem sido significativamente alterada devido às atividades antrópicas. Estudos apontam que pontos próximos ao Aterro Sanitário do Distrito Federal e à ETE Melchior apresentaram elevação nas concentrações de sólidos dissolvidos totais e aumento na condutividade elétrica, evidenciando o impacto direto da urbanização sobre esse ambiente lótico (DE ALCANTARA ROCHA, 2023).

4. CRISES NO DISTRITO FEDERAL

Em 2017, o Distrito Federal enfrentou uma crise hídrica significativa. O nível do reservatório do rio Santa Maria, que fornece água ao Plano Piloto e a outras regiões administrativas, caiu para 43,03% em outubro de 2016 e alcançou 41,1% em janeiro. Em novembro, o reservatório do Descoberto, que abastece 65% da população do Distrito Federal, registrou uma queda de 20% em seu volume em novembro, levando à declaração de emergência (ADASA, 2018).

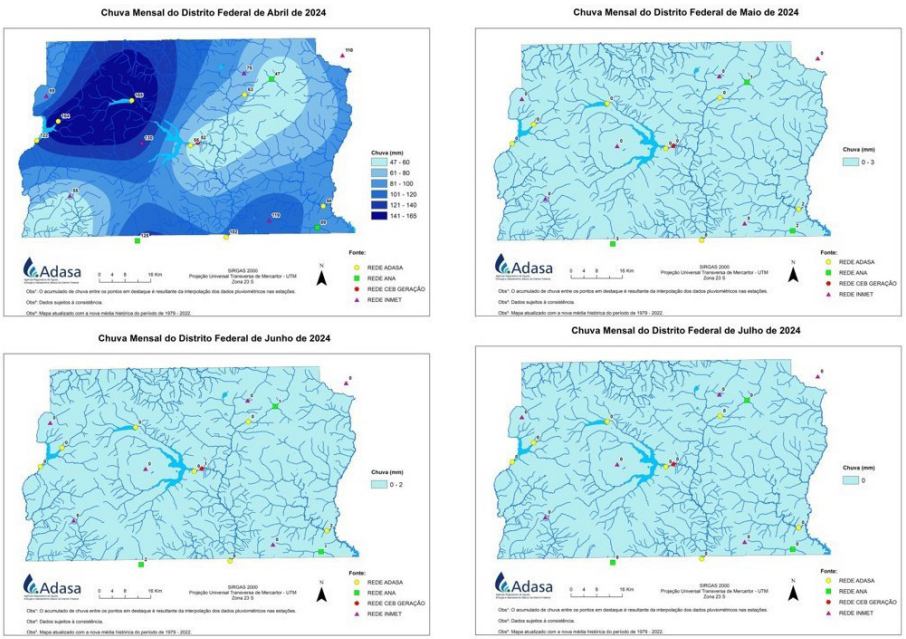
A crise hídrica que afetou o Distrito Federal entre 2015 e 2017 não foi resultado apenas da diminuição das chuvas, que ficaram abaixo das médias históricas, mas também da ocupação desordenada do solo, do descumprimento das leis ambientais e de um planejamento inadequado em relação aos aspectos ecológicos, sociais e de interesse coletivo (DINIZ, 2019).

Figura 3. Quantidade de dias sem chuva por ano no Distrito Federal. Dados coletado até o dia 20 de novembro de 2024. Fonte: INMET (2024).



Sete anos após essa crise hídrica, em 2024, o Distrito Federal ficou mais de 150 dias sem chuva. Essa foi a seca mais severa registrada em 20 anos (Figura 3). Observou-se uma tendência de aumento no número de dias sem chuvas ao longo dos anos e uma média de 80 dias de seca (INMET, 2024). Nos meses de maio, junho e julho, a precipitação de chuva ficou entre 0 e 3 mm (Figura 4) (ADASA, 2024).

Figura 4. Volume de chuva (em mm) nos meses de abril, maio, junho e julho no Distrito Federal. Fonte: Sistema de Informações de recursos hídricos, ADASA, 2024.



A chuva desempenha uma função importante para manter as vazões dos rios, uma vez que essa água infiltra no terreno plano e recarrega os lençóis freáticos. Essa água retorna à superfície e se torna as nascentes dos rios da região (SEMA, 2018).

5. ÁGUA E SANEAMENTO NO DISTRITO FEDERAL

O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6), Água Potável e Saneamento, faz parte dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas. Ele visa garantir que todas as pessoas tenham acesso à água potável e ao saneamento de forma segura e sustentável.

Para alcançar esse objetivo, foram definidas metas específicas, que são (ONU, 2024):

6.1. Assegurar que todos tenham acesso à água potável e segura até 2030.

6.2. Assegurar que todos tenham acesso a saneamento e higiene adequados até 2030, eliminando a defecação a céu aberto.

6.3. Melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando o descarte de lixo e minimizando a liberação de produtos químicos perigosos.

6.4. Aumentar a eficiência do uso da água em todos os setores e garantir a gestão sustentável dos recursos hídricos para enfrentar a escassez de água.

6.5. Implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, incluindo a cooperação transfronteiriça.

6.6. Proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos.

6.a. Ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento.

6.b. Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais na gestão da água e do saneamento.

O DF aderiu ao ODS 6 (para Agenda 2030) em 2016, comprometido a adotar os planos nacionais para as implementações necessárias (OLIVEIRA, 2019). Três das sete metas do ODS estão relacionadas à água e ao saneamento. Essas têm objetivos prazos a serem obtidos:

1) Até 2020, cem por cento de ecossistemas relacionados com a água, incluindo rios, aquíferos e lagos devem ser despoluídos (6.6).
2) Até 2030, cem por cento dos habitantes deve dispor de água potável, segura e acessível (6.1); e
3) Também, até 2030, cem por cento dos habitantes deve dispor de saneamento adequado e equitativo.

Uma outra meta é assegurar um abastecimento sustentável, por meio de retirada de água consciente, a fim de enfrentar a escassez de água (CODEPLAN).

De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), os indicadores locais do DF estão acima da média nacional. Na média, 84,9% dos brasileiros têm acesso ao abastecimento de água, enquanto

o DF apresenta 99%; e 56% de os brasileiros têm atendimento de esgoto, a população do DF, 92,31% (GDF, Relatório Voluntário Nº1, 2024).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão dos recursos hídricos no Distrito Federal enfrenta desafios significativos devido ao crescimento urbano acelerado, à expansão agrícola e às atividades antrópicas. A infraestrutura de monitoramento da ADASA e o sistema de outorgas desempenham um papel fundamental na promoção do uso sustentável da água. No entanto, a crescente pressão sobre as bacias hidrográficas, as alterações na qualidade da água e a intensificação de eventos climáticos extremos ameaçam tanto a disponibilidade quanto a segurança hídrica da região.

Foi observado, entre 2015 e 2017, uma crise hídrica, e mais a frente, em 2024, uma seca extensa, o que evidencia a interação entre fatores climáticos e a gestão dos recursos hídricos na região. A redução significativa dos níveis dos reservatórios, como os de Santa Maria e Descoberto, ilustrou a vulnerabilidade do Distrito Federal a eventos climáticos extremos e reforçou a necessidade de planejamento sustentável, aliado à implementação rigorosa de normas ambientais.

Nesse contexto, a adoção de estratégias eficazes de gestão hídrica torna-se essencial, incluindo ações de conservação, redução do desperdício e fortalecimento das políticas de saneamento básico. A formulação e implementação de políticas públicas voltadas para a recuperação ambiental, o planejamento urbano sustentável e a educação ambiental são fundamentais para mitigar os impactos das crises hídricas futuras e garantir a segurança hídrica da região. Além disso, o progresso rumo a um futuro mais sustentável pode ser avaliado por meio das metas estabelecidas pelo ODS 6, que orientam a gestão responsável da água e do saneamento.

7. AGRADECIMENTOS

Este capítulo é produto de estudos de recursos hídricos desenvolvidos pelo Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL), da Universidade de Brasília. O Grupo de Pesquisa é cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL. **Gestão da Crise Hídrica 2016-2018**. 2018. Disponível em: https://www.adasa.df.gov.br/images/banners/alta.pdf . Acesso em: Dezembro de 2024.

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL. **Painel de informações do serviço de abastecimento de água.** 2024. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMDNlYzAxNjMtN2YyZi00NDU2LWIyY2UtMzg3NDM5MzQ1MWM0IiwidCI6IjczZGJmMTMyLWE0YTQtNDkwMy1hYzI2LWJiMjhmY2Y3NDdhNCJ9. Acesso em Dezembro de 2024.

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL. **Monitoramento de Recursos Hídricos**. *Disponível* em: https://www.adasa.df.gov.br/monitoramento/mapas?show_menu=1&menu_name=recursos-hidricos. Acesso em: Dezembro de 2024.

CASTRO, C.N. **Água, problemas complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica.** Rio de Janeiro: IPEA, 2022.

CRUZ, D.C. **Identificação de áreas potencialmente inundáveis associadas à ruptura hipotética da barragem Santa Maria em decorrência de piping.** Dissertação (mestrado), Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2020.

CODEPLAN. **Pensando os ODS: Uma Agenda 2030 para o Distrito Federal.** Brasília, 2018. Disponível em: https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/TD-43-Pensando-os-ODS-Uma-Agenda-2030-para-o-Distrito-Federal.pdf . Acesso em Dezembro de 2024.

CODEPLAN. **Estudo: Um Panorama das Águas no Distrito Federal. Brasília, 2020.** Disponível em: https://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/Estudo-Um-Panorama-das-Águas-no-Distrito-Federal.pdf. Acesso em: Dezembro de 2024.

DE ALCANTARA ROCHA, A.B. *et al.* **Estudo de indicadores da contaminação do Rio Melchior, Distrito Federal, pela ocupação da bacia por uso urbano.** Geociências, 42 (2), 241-252, 2023.

DINIZ, Fabio Souza. **A crise hídrica do sistema Descoberto – Distrito Federal – no triênio 2015-2017**. 2019. 90 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Brasília, DF, 2019.

DISTRITO FEDERAL. **Relatório Local Voluntário: Implementação da Agenda 2030**. Edição 2024, n° 1. Brasília: [s.n.], 2024.

FONSECA, B.M. *et al.* **Nutrient baselines of Cerrado low-order streams: comparing natural and impacted sites in Central Brazil.** Environmental monitoring and assessment, v. 186, p. 19-33, 2014.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. *Relatório Local Voluntário. Brasília, 2020*. Disponível em: https://ods.df.gov.br/documentos/relatorio_voluntario.pdf. Acesso em: Janeiro de 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Distrito Federal completa 150 dias sem chuvas*. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/noticias/distrito-federal-completa-150-dias-sem-chuvas. Acesso em: Novembro de 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA DO DISTRITO FEDERAL (IPEDF). *Atlas do Distrito Federal*. https://atlas.ipe.df.gov.br/?p=1702 .Acesso em: Novembro de 2024.

LATRUBESSE, Edgardo M. et al. Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. Conservation Science and Practice, v. 1, n. 9, p. e77, 2019.

LIMA, J. E. F. W., e E. M. Silva. 2005. Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado brasileiro. In: FELFILI, J. M.; SOUZA-SILVA, J. C.; SCARIOT, A. (Org). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. 1. ed., p. 61-72. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.

OLIVEIRA, Vilma Sobral de. Implementação dos (ODS) Objetivos do Desenvolvimento Sustentável para o governo do Distrito Federal. 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *ONU Brasil*. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br. Acesso em: Novembro de 2024.

SERAFIM, Renatta Santos; TUBBS FILHO, Décio. **Cenário atual dos normativos legais referentes as outorgas de uso de recursos hídricos no Brasil**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 25., 2023, Aracaju. Porto Alegre: ABRHidro, 2023. Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH0411-1-0-20230727-201610.pdf

REFERENTE, Cenário atual dos normativos legais; de Manacapuru-AM, estação fluviométrica. XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH0411-1-0-20230727-201610.pdf

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTO DO DISTRITO FEDERAL. 2018. *Matriz Ecológica - Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal*. Disponível em: http://zee.df.gov.br/matriz-ecologica/. Acesso: Novembro de 2024.

SEMARH - Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal. 2006. Atlas Ambiental Distrito Federal. 1. ed., 55 p. Brasília: Governo do Distrito Federal.

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS. Relatório de Atividades – 2020. Brasília: ADASA, 2020.

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO ECOLÓGICA DE RIACHOS URBANOS COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Data de submissão: 05/06/2026
Data de aceite: 18/06/2026

Anwar Faiz Ahmad Amorim[1]
Professor de Ensino Médio do
Centro de Ensino Graça Aranha
Imperatriz - MA, Brasil
http://lattes.cnpq.br/9847287979066725

Claudia Padovesi Fonseca[2]
Professora Titular da
Universidade de Brasília (UnB)
Departamento de Ecologia
Instituto de Biologia
Universidade de Brasília – UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, DF Brasil
https://orcid.org/0000-0001-7915-3496

RESUMO: O uso de aplicativos para equipamentos móveis possibilita a inserção das tecnologias de informação no contexto da sala de aula, aproximando a realidade dos discentes do conhecimento acadêmico. Além disso, possibilita a interação dos estudantes com a realidade vivenciada fora do ambiente escolar, sendo utilizada como ferramenta didática para o ensino de diversas disciplinas, como a Biologia. Com base nessa linha de pensamento, o presente projeto visou utilizar o Protocolo de Avaliação Rápida de rios (PAR), adaptado e convertido em um aplicativo para dispositivos móveis. A proposta apresentada visou a integração de dispositivos móveis (celulares) na realização de ações práticas sobre ecologia fora da sala de aula ou na sala de aula durante a disciplina de biologia no ensino médio. O aplicativo foi enviado a estudantes e professores para um uso teste e avalição de aplicabilidade, por meio de questionário de formulário Google. Ao todo, foram avaliados 108 usuários, sendo 96 estudantes e 12 docentes, da rede pública de Imperatriz – MA. Apesar de 69% dos usuários desconhecerem a problemática ambiental de riachos urbanos, a maioria (82%) se sensibilizou quanto ao tema. O desenvolvimento deste trabalho com a disponibilização efetiva de aplicativo para celulares móveis na educação do ensino médio vem agregar valor às atividades desenvolvidas para a educação ambiental, inclusive por ser um instrumento de fácil

[1] Biólogo da Prefeitura Municipal de Imperatriz. Pesquisador da Universidade Estadual do Maranhão. Mestre em Mestrado Profissional em Ensino de Biologia, ProfBio.

[2] Líder do Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL) – CNPq, mestre e doutora em área de Limnologia pela Universidade de São Paulo (USP). Realizou pós-doutorado na Universidade de Paris Pierre e Marie Curie, na França, e na Universidade de Granada, na Espanha.

uso e replicação. Além disso, espera-se que este aplicativo auxilie as aulas de biologia, geografia e área afins, e, por conseguinte, colabore na formação dos estudantes. Tal ferramenta possibilita a vivência dos estudantes na caracterização da qualidade ambiental de rios urbanos, bem como realização de debates na escola sobre questões relacionadas à educação ambiental e à qualidade do rio urbano.
PALAVRAS-CHAVE: ensino da biologia; tecnologia da informação; integridade de riachos; protocolo de avaliação rápida.

ECOLOGICAL ASESSMENT OF URBAN STREAMS AS A TOOL FOR ENVIRONMENTAL EDUCATION

ABSTRACT: The use of applications for mobile devices enables the insertion of information technologies in the classroom context, bringing the reality of the students closer to academic knowledge. In addition, it allows the interaction of students with the reality experienced outside the school environment, being used as a didactic tool for teaching various subjects, such as Biology. Based on this line of thought, the present project aimed to use the Rapid River Assessment Protocol (RAP), adapted and converted into an application for mobile devices. The proposal presented aimed at integrating mobile devices (cell phones) to carry out practical actions about ecology outside the classroom or in the classroom during the subject of biology in high school. The application was sent to students and teachers for a test use and applicability evaluation, by means of a Google form questionnaire. In all, 108 users were evaluated, being 96 students and 12 teachers, from the public network of Imperatriz - MA. Although 69% of the users were unaware of the environmental problems of urban creeks, most (82%) were sensitized to the theme. The development of this work with the effective availability of application for cell phones in high school education adds value to the activities developed for environmental education, including for being an instrument of easy use and replication. Moreover, it is expected that this application will help in the biology, geography, and related areas, and, consequently, collaborate in the students' education. This tool allows students to experience the characterization of the environmental quality of urban rivers, as well as to hold school debates on issues related to environmental education and the quality of the urban river.
KEYWORDS: teaching biology; information technology; stream integrity; rapid assessment protocol.

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos veículos motores da terra e essencial à vida. Apesar de ser essencial ao ciclo vital no planeta, as atividades antrópicas têm produzido uma degradação contínua e progressiva nos sistemas hídricos, tanto em termos quantitativos como qualitativos.

Cerca de 25 a 30% da população mundial, em torno de dois bilhões de pessoas, não tem acesso a água potável gerenciada de forma segura, ou seja, água tratada em casa (ONU, 2023), o que inclui o não acesso a instalações básicas de higiene (água e sabão). Em decorrência do não acesso a água tratada como também ao tratamento sanitário, mais de 10 milhões de pessoas morrem de doenças intestinais (CETESB, 2021).

Problemas inerentes da expansão urbana como crescimento populacional, inadequação de condições sanitárias em moradias, falta de planejamento e a ausência de políticas públicas são apontados entre as principais causas para a degradação dos ecossistemas aquáticos no Brasil (TUNDISI, 2003; OLIVEIRA, 2018). Essa negligência e a falta de respeito com este recurso são observadas tanto no Brasil como em muitos países (PADOVESI-FONSECA, 2005).

Tanto no Brasil (ANA, 2020) como em termos mundiais (FEIO *et al*., 2021), grande parte dos cursos d'água (70%) estão com boa qualidade de água, 9% representam os de ótimo grau, 14% são considerados regulares, e 9% são ruins ou de péssima qualidade.

A caracterização limnológica é uma ferramenta importante para o planejamento e gerenciamento de corpos hídricos (TUNDISI, 2003). Em corpos hídricos sob influência de espaços urbanos com alterações relevantes pela ação antrópica, tem como resultados comuns a degradação da qualidade da água e a perda na biodiversidade de rios (PADOVESI-FONSECA *et al*., 2010). A execução de programas de monitoramento da qualidade ambiental de rios urbanos, apesar de necessária e importante, está vinculada à necessidade de uma logística para coleta e análise de dados, além da garantia de meios para a divulgação e acesso aos dados gerados (BUSS, 2002).

Uma alternativa menos onerosa é a avaliação da qualidade ambiental em rios urbanos por meio de Protocolos de Avaliação Rápida (PAR) como uma estratégia técnica e economicamente viável. Aliados a ações clássicas de monitoramento, estes protocolos permitem gerar a caracterização da qualidade de ambientes urbanos. Além disso, podem gerar a inserção social no processo de monitoramento, gerenciamento e disponibilização da informação para subsidiar ações e debates sobre ecologia, preservação e educação ambiental (BUSS *et al*., 2003; PADOVESI-FONSECA *et al*., 2010).

Nessa perspectiva, uso do PAR para o monitoramento e a avaliação da qualidade das águas dos rios é de fundamental importância para a gestão sustentável dos recursos hídricos, pois permite conhecer a atual situação dos corpos d'água e as principais alterações ocorridas com o tempo. Ademais, possibilita identificar as tendências e apoiar a elaboração de diagnósticos que podem subsidiar as políticas públicas para a fiscalização e o licenciamento ambiental (FINOTTI *et al*., 2009; ANA, 2020).

A inserção da utilização de aplicativos via aparelhos móveis nas atividades em sala de aula voltados a ações de aprendizagem interativa ou ainda na forma de ambientes de colaboração, como os que ocorrem em redes sociais, são uma tendência que deve ser mais bem explorada no ambiente escolar (BATISTA *et al*., 2010; BENTO & CAVALCANTE, 2013). O uso de tecnologias que permitam a interação e a formação de espaços colaborativos via aplicativos cria no ambiente virtual um novo universo que disponibiliza ao discente acesso à informação e à possibilidade de interação e entendimento de questões relativas ao espaço urbano onde está inserido (BENTO & CAVALCANTE, 2013).

No ensino de biologia, a burocratização das saídas de campo, escassez de recursos, laboratórios desativados, equipamentos ultrapassados, técnico desinteressado, impossibilita uma melhor abordagem das práticas e conceitos biológicos em muitas instituições. Uma alternativa é o uso de aplicativos em telefones celulares, hoje estão impulsionados pela tecnologia digital e a facilidade de acesso e aquisição.

O presente trabalho tem por objetivo adequar o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) de rios para uso em telefones celular e propor a utilização aos estudantes e professores do ensino médio. Acredita-se que o avaliador virtual de rios possa ser útil na formação de pessoas críticas, na preservação dos recursos fluviais, formar cidadão protagonista do seu conhecimento que irá contribuir com o desenvolvimento da sua comunidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido em escolas públicas de Ensino Médio do município de Imperatriz do Maranhão (MA). Houve a participação também dos docentes dessas escolas e acadêmicos dos últimos períodos do curso de

Ciências Biológicas Licenciatura da Universidade Estadual da Região Tocantins do Maranhão – UEMASUL.

Os protocolos de avaliação rápida de rios (PAR) são ferramentas que proporcionam aos professores e estudantes a análise qualitativa e visual dos rios. Os protocolos são baseados em descrições de características do rio e de seu entorno por meio de percepção visual e sensorial dos locais. A partir de seleção dos participantes, obtém-se pontuação referente ao estado de conservação e as alterações detectadas. Os protocolos podem ser adaptados para diferentes tipos como: clima, solo, vegetação, relevo e interferência humana.

Foi realizada a adaptação do protocolo de avaliação rápida de rios - PAR apresentado por PADOVESI-F0NSECA *et al*. (2010), buscando-se adaptar a linguagem utilizada a fim de torná-la mais acessível aos discentes. O PAR utilizado é composto por dois conjuntos de questões que avaliam as condições do corpo hídrico por meio de 22 parâmetros descritivos, sendo atribuídas pontuações de 0 a 4 nos primeiros 10 parâmetros, e de 0 a 5 nos 12 parâmetros restantes. A primeira parte do protocolo corresponde a 40% da pontuação e a segunda parte a 60%. Detalhes da metodologia utilizada pode ser vista em AMORIM (2021).

O desenvolvimento do aplicativo foi realizado utilizando as ferramentas freeware disponibilizadas na plataforma MIT App Inventor 2 (MAI), as quais por meio de uma interface intuitiva, possibilitam a criação de Apps para aparelhos móveis das plataformas Android e Windows.

Com a proposta de orientar e facilitar a instalação do aplicativo baseado no Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR), foi elaborado um guia de instalação com as orientações básicas para a configuração do aplicativo em telefones portáteis com sistema operacional Android. Orientações detalhadas vide AMORIM (*op. cit*.). O aplicativo pode ser instalado no aparelho móvel (celular) por meio do *link*:

https://1drv.ms/u/s!Aou02M92WWiagocfcJUIHLX54V5UrA?e=UC8REw

A pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Brasília, com o Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAEE) número 23060819.7.0000.5540. As coletas de dados foram realizadas somente após a aprovação do Comitê. Os participantes da pesquisa foram esclarecidos sobre os objetivos e meios de coleta e assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). A identidade e confidencialidade das informações foram preservadas para garantir o anonimato.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este estudo apresentou uma ferramenta de fácil uso na educação em escolas de ensino médio no Brasil, com o propósito inicial de auxiliar nos caminhos de aprendizagem e o desenvolvimento das habilidades intelectuais dos estudantes. O uso de aplicativo para celulares visa interligar os conteúdos abordados em aulas expositivas, além de potencializar os programas curriculares normalmente extensos aliados ao tempo reduzido das cargas horárias. Essa falta de integração ou fragmentação entre os temas também pode ser constatada na maioria dos livros didáticos (PAIVA, 2005).

Ademais, com o uso destes aplicativos podemos oferecer aos estudantes uma linguagem mais precisa e atualizada dos conceitos abordados nas aulas. Em livros didáticos, é recorrente apresentar abordagens que diferem entre os autores, o que causa confusão e prejudica a compreensão dos conceitos científicos (vide discussão em AMORIM, 2021).

A prática docente nos mostra que os estudantes têm dificuldades em assimilar os conteúdos que lhes são oferecidos em sala de aula. Os aplicativos celulares vêm ao encontro de facilitar a aprendizagem, e as dificuldades oriundas de um ensino determinista, reducionista e sem contextualização (AMORIM, 2021). Podem também gerar uma maior aproximação entre os conteúdos estudados em sala de aula e a realidade vivenciada fora dela. Desta forma, potencializa o docente de biologia de integrar os conteúdos didáticos da disciplina com o cotidiano dos discentes fomentando o debate, a vivência e a troca de experiência. Possibilita a transformação dos discentes em protagonista do processo ensino-aprendizagem e de forma integrada, e com uma melhor perceção das condições e problemas ambientais no seu entorno.

No presente estudo abordamos a avaliação de qualidade de rios urbanos, com a interação de protocolo de rotina adaptado para ser usado em celulares. Para este fim, foi inserido o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) (PADOVESI-FONSECA *et al*., 2010). Os protocolos de avaliação rápida são ferramentas que agregam indicadores de qualidade ambiental referente aos aspectos físicos e biológicos do ecossistema fluvial, a fim de caracterizar os rios qualitativamente (RODRIGUES & CASTRO, 2008). Rios urbanos dos municípios brasileiros consistem em áreas de aplicação eficiente para tal ferramenta avaliativa. Com a

falta de política pública e a ocupação irregular das margens dos rios, a presente ferramenta educacional possibilita uma avaliação mais acurada da qualidade ambiental e de sua proteção.

Como instrumentos integradores, estes protocolos conferem uma ferramenta importante na compreensão de conceitos científicos em áreas bastante diversas, como geologia, ecologia, biologia, hidrologia, entre outros. A participação das escolas na avaliação de rios urbanos constitui um elo com a comunidade local, além de ser de útil ao poder público e aos órgãos fiscalizadores (DALE & BEYELER, 2001).

A incorporação de protocolos em uma linguagem mais acessível aos discentes a métodos de tecnologia da informação, proporciona a criação de uma ferramenta que possibilita uma interatividade entre os discentes. Gera o contato destes com conceitos científicos já amplamente debatidos e consolidados, levando a um ambiente colaborativo. A partir daí, fomenta não só o aprendizado, mas também o debate na busca da resolução de problemas ambientais (CUNHA & BACKES, 2012).

Um dos maiores desafios em atividades práticas com discentes do ensino médio é a necessidade de adaptar os termos técnico-científicos usados no Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), para que seja viável um diálogo com o cotidiano dos estudantes, de modo a criar meios para sensibilidade e interpretação das questões abordadas no Protocolo.

Por meio do uso do aplicativo em seus celulares, cada participante escolheu um trecho de um riacho ou rio próximo a sua residência para realizar a análise visual, com o anexo de uma foto do local. Essa modalidade de sair para realizar a atividade no campo, levou os estudantes a vivenciar e associar as questões técnicas abordadas no protocolo de avaliação com a observação que realizam das condições ambientais dos corpos hídricos.

As avaliações do aplicativo foram realizadas em três cursos d'água, Rio Tocantins e nos riachos Bacuri e Capivara, todos da área urbana do município de Imperatriz (MA). Os trechos desses cursos d'água receberam uma baixa pontuação, com valores inferiores a 20 pontos no PAR, o que configura águas com péssimas condições de conservação e de qualidade de água.

Figura 1. Ponto de avaliação em Campo do ribeirão Lagoa Cercada, Imperatriz – MA, anexado por um dos participantes da avaliação do aplicativo do presente estudo.



É notório as vantagens do uso do aplicativo em aulas práticas de campo para o desenvolvimento direto da Educação Ambiental e sensibilização dos discentes em escolas. O uso do aplicativo constitui uma ferramenta facilitadora para realizar saídas de campo e suas rotinas. Questões como falta de condições logísticas a problemas da pandemia e com a segurança dos estudantes, podem ser minimizadas ou mesmo sanadas com o uso de aplicativos em celulares.

Em virtude da possibilidade de o docente levar para a sala de aula informações audiovisuais, como fotografias e filmagens, os discentes podem ser guiados pela exposição do professor e realizar avaliação do corpo hídrico utilizando o aplicativo de celulares (Figura 2).

Figura 2. Simulação de exposição em sala de aula das características e condições dos corpos hídricos através de recursos audiovisuais. Riacho do Meio, área urbana da cidade de Imperatriz – MA.



Dos docentes da rede estadual de educação participantes do estudo, 66,6% consideraram viável e afirmaram ter interesse de utilizar o aplicativo proposto como uma ferramenta de promoção de debates e discussões sobre educação e educação ambiental em sala de aula. Entre os discentes dos últimos períodos do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, 100% dos consultados demonstraram interesse no aplicativo e fez avaliações positivas.

A diferença de opinião entre uma parte dos docentes atuantes em atividades de ensino na rede estadual de educação e os futuros docentes em parte se dá pela dificuldade que alguns docentes mais antigos apresentam em incorporar novas tecnologias e ferramentas de ensino em suas práticas didáticas (MARANDINO *et al*., 2009).

O uso de ferramentas de Tecnologia da Informação e a realização de atividades fora da sala de aula ainda é tratado por alguns docentes como uma novidade passageira que, na opinião destes, não tende a se firmar (PILLETI & ROSSATO, 2011).

Uma forma de tornar o uso deste tipo de aplicativos mais atrativo para os alunos é a sua utilização em atividades educativas ligadas à preservação dos rios (PADOVESI-FONSECA *et al*., 2010). Apesar da existência de estudos com essa vertente, pode-se dizer que poucos pesquisadores envolvidos com a problemática ambiental produzem e analisam materiais educativos para a população com baixo grau de instrução/escolarização, especialmente para estudantes da educação básica (BIZERRIL, 2003).

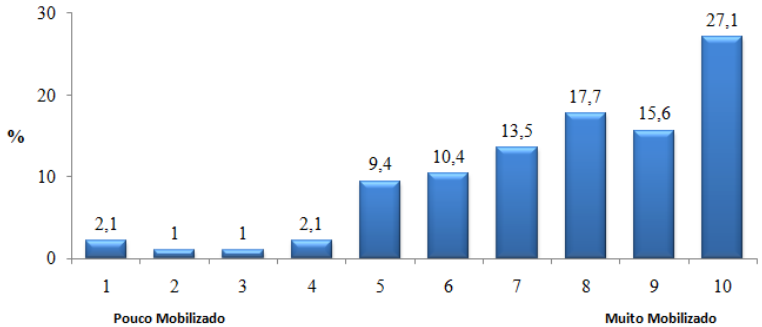
Há poucos estudos envolvendo PAR a estudantes do ensino médio, como o trabalho de GUIMARÃES *et al.* (2006) desenvolvido no âmbito do projeto ambiental Pampulha Limpa, criado em 2003, em Belo Horizonte, MG. Nesse estudo, os autores trabalharam com centenas de crianças de 11 a 13 anos de idade em escolas localizadas na bacia hidrográfica da Pampulha. No Estado do Maranhão, onde temos vários biomas como, floresta Amazônica, mata de cocais e Cerrado, nenhum trabalho semelhante foi desenvolvido. Assim, o presente estudo é inédito com o uso de aplicativo- PAR com os estudantes do ensino médio em escolas do Brasil.

O aplicativo viabiliza a observação de conceitos como erosão, assoreamento, mata ciliar, preservação de rios, efluentes, interferência antrópica, funcionamento dos biomas, ecossistemas dos rios, tanto por professores e por

estudantes, contribuindo significativamente para o ensino da biologia, educação Ambiental, o que incluem aspectos sociais, históricos e culturais.

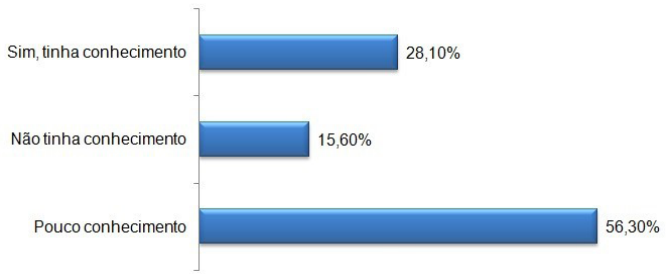
O presente estudo corrobora com a premissa apresentada. A avaliação do aplicativo pelos participantes por meio de aulas virtuais síncronas obteve resultados bastante promissores quanto ao incentivo em discutir e avaliar os problemas ambientais de rios urbanos e sua recuperação (Figura 3).

Figura 3. Opinião dos usuários quanto ao grau de mobilização em discutir e avaliar sobre a recuperação de rios urbanos após o uso do aplicativo.



Apesar de aumento da sensibilização quanto ao tema ambiental (82% dos usuários), houve um expressivo desconhecimento (71,9% dos usuários) sobre a situação dos corpos hídricos em áreas urbanas. Assim, o uso do aplicativo, além de ter incentivado a sensibilização dos usuários, proporcionou a busca de soluções para a recuperação de rios impactados em áreas urbanas (Figuras 4 e 5).

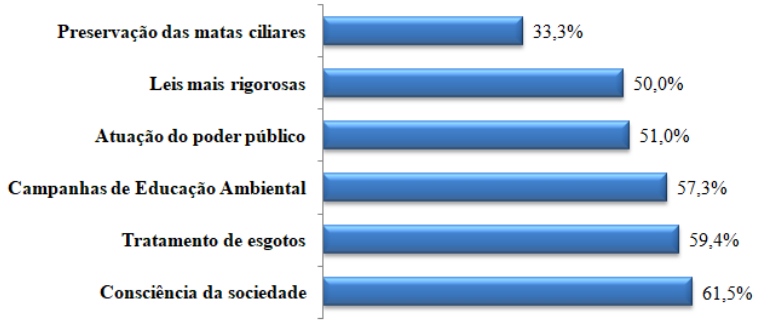
Figura 4. Opinião dos usuários quanto ao grau de conhecimento sobre a situação dos riachos do seu município.



Melhoria da conscientização da sociedade (61,5%), ampliação do sistema de tratamento de esgotos (59,4%) e campanhas de educação ambiental (57,3%) foram as principais ações apontadas pelos participantes como sendo necessárias

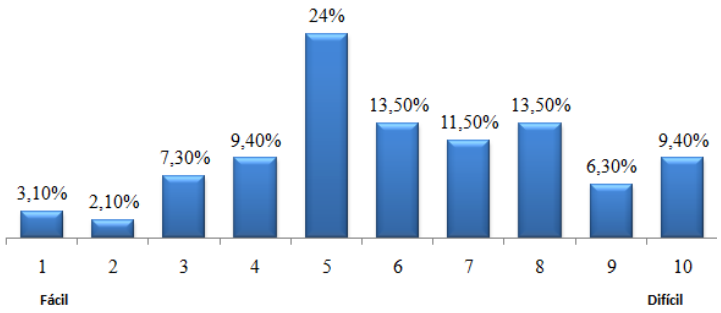
a serem tomadas pelo poder público para mitigar os problemas ambientais. Outras questões apontadas foram o estabelecimento de leis mais rigorosas (50%) e uma atuação mais vigorosa por parte do poder público (51%) como caminhos viáveis a serem seguidos (Figura 5). Essas ações compõem a gama de temáticas que podem ser abordadas ao longo de debates a partir dos resultados obtidos com a utilização do aplicativo.

Figura 5. Ações apontadas pelos discentes e docentes como necessárias para melhoraria das condições ambientais dos riachos na avaliação do aplicativo.



A principal dificuldade para esta atividade educativa foi decorrente da compreensão de conceitos científicos e técnicos utilizados no protocolo de avaliação de rios. A grande maioria dos participantes (78%) classificaram a linguagem utilizada de moderada a difícil (Figura 6). Este item reforça a necessidade de fazer adaptações de linguagem na apresentação de termos técnicos de acordo com o conhecimento de base e prática dos discentes.

Figura 6. Avaliação da linguagem utilizada nas questões presentes no aplicativo "Avaliador Virtual de Rios".



Mesmo com as dificuldades encontradas frente a linguagem, 97,9% dos avaliadores recomendariam o uso do aplicativo como ferramenta didática no ensino

de conteúdos de ecologia para fomentar discussões sobre educação e percepção ambiental. Além de 69,8% avaliarem o aplicativo e os debates fomentados pela interpretação e avaliação dos resultados como sendo um aspecto muito importante para promover nos discentes a conscientização sobre os impactos gerados pela urbanização sobre corpos hídricos.

Na atualidade, a maioria dos discentes tem acesso a internet, especialmente por dispositivos móveis, o que disponibiliza essas ferramentas para a realização de pesquisas que envolvem tecnologias na educação (COSTA *et al.*, 2015; TIMBANE *et al.*, 2015). Como apontado por COSTA *et al*. (*op. cit*.) e ALCÂNTARA & FILHO (2015), a realização de atividades didáticas com ferramentas de tecnologia de informação como dispositivos móveis, atrai o interesse dos discentes devido a integração dos conteúdos didáticos com ferramentas do seu cotidiano.

Contudo, diversas experiências utilizando essas novas propostas de ensino já demonstraram que eleva as práticas didáticas por envolver o universo e as ferramentas digitais e dominadas na atualidade por boa parte dos nossos discentes. É uma estratégia que possibilita a retomada da atenção dos discentes, oportunizando o aprendizado e estimulando os mesmos a debater sobre questões importantes na atualidade (ALMEIDA *et al*., 2015; MIYAZAWA *et al*., 2016).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho desenvolveu aplicativo para celular de avaliação ambiental de rios, que pode ser confeccionado com um baixo custo e fácil acesso.

Pode-se afirmar que os modelo apresentado associado a essa metodologia de ensino pode contextualizar os processos biológicos. Desse modo, espera-se que o avaliador virtual de rios seja usado como ferramenta de Ensino de Biologia e desperte o interesse para a disciplina, promova o desenvolvimento de competências para formar cidadãos e o respeito ao meio ambiente.

A análise dos professores de biologia do ensino médio como avaliadores do uso do aplicativo foi um processo enriquecedor, uma vez que a crítica dos participantes revelou novas possibilidades para uso e ajudaram a melhorar o produto deste trabalho. Acredita-se que o uso do aplicativo deva gerar um ganho no aprendizado para os alunos envolvidos.

A viabilidade de uso de dispositivos móveis na realização de atividades práticas em disciplinas do ensino médio é uma questão já debatida e comprovada

em estudos acadêmicos. A presente proposta veio incorporar uma metodologia de avaliação ambiental com eficiência e aplicabilidade já demonstrada, o Protocolo de Avaliação Rápida de Rios – PAR, via criação de um aplicativo como ferramenta útil para o fomento de discussões e debates da percepção e educação ambiental em áreas urbanas.

As maiores dificuldades encontradas pelos usuários do aplicativo foram os termos técnicos dos questionamentos, o que torna importante a necessidade de um debate prévio durante a apresentação do aplicativo aos discentes, a fim de esclarecer possíveis dúvidas que dificultem a interpretação das questões da avaliação ambiental dos corpos hídricos em estudo.

A possibilidade de integração de atividades práticas com o uso de tecnologias que estão acessíveis a maioria dos discentes, se configura como uma estratégia eficiente para retomada da atenção e a promoção de debates em sala de aula. Questões importantes, como a poluição em áreas urbanas e o impacto destas ações sobre a saúde e bem-estar da população.

Principal aspecto positivo do dispositivo móvel foi a facilidade na obtenção e aplicação do protocolo na área de estudo. O uso do aplicativo facilita a análise ambiental de rios priorizando os aspectos qualitativos. A análise corresponde à observação apenas visual do pesquisador, que com o pouco treinamento é capaz de identificar as características básicas da área de estudo. Desta forma, professores e estudantes são capazes de usar o aplicativo e o protocolo de forma independente.

Outro ponto importante está relacionado à disponibilização das informações obtidas para serem usadas na prática de educação ambiental e na preservação de recursos hídricos (KRUPEK, 2010). Isso possibilita avaliações das condições biológicas de vários rios, em uma mesma região geográfica e até mesmo auxiliam na elaboração de políticas públicas na proteção e preservação dos rios.

É preciso treinar os usuários, pois quando se trata de pessoas leigas a falta de entendimento da terminologia utilizada nas questões do PAR pode resultar em avaliações pouco precisas das condições dos corpos hídricos. O conhecimento prévio dos termos utilizados no aplicativo, frente a um glossário e oficinas sobre rios e ecologia, minimiza possíveis dificuldades na utilização do aplicativo e facilitam os debates pós atividade de campo. Além disso, a atenção especial durante a

aplicação do protocolo é fundamental visto que o aplicativo não avalie as questões químicas ou bioquímicas do ecossistema estudado e sim requer uma interpretação frente as percepções do usuário das condições do ambiente em estudo.

5. AGRADECIMENTOS

O presente estudo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Brasil - Código de Financiamento 001. Este capítulo é produto de estudos de recursos hídricos desenvolvidos pelo Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL), da Universidade de Brasília. O Grupo de Pesquisa é cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Avaliação de qualidade: introdução**. Disponível em: http://portalpnqa.ana.gov.br/avaliacao.aspx. Acesso em: jan. 2020.

ALCÂNTARA, N.R.; FILHO, A.V.M. **Elaboração e utilização de um aplicativo como ferramenta no ensino de Bioquímica: carboidratos, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos**, UFG, 2015.

ALMEIDA, C.M.M.; LOPES, L.A.; LOPES, P.T.C. **Sequências didáticas eletrônicas no ensino do corpo humano: comparando o rendimento do ensino tradicional com o ensino utilizando ferramentas tecnológicas**. Acta Scientiae, 17 (2), 466-482, 2015.

AMORIM, A.F.A. **Ferramenta para o ensino de educação ambiental na avaliação ecológica de riachos urbanos**. Dissertação. Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia-ProfBio, 2021, 62pp.

BATISTA, S.C.F.; BEHAR, P.A.; PASSERINO, L.M. **Recursos pedagógicos para dispositivos móveis: uma análise com foco na matemática**. Porto Alegre, RS, CINTED, 8 (3), dezembro, 2010.

BENTO, M.C.M.; CAVALCANTE, R.S. **Tecnologias Móveis em Educação: o uso do celular na sala de aula**. Lorena, SP, ECCOM, 4 (7), janeiro/junho, 2013.

BIZERRIL, M.X.A. **O cerrado nos livros didáticos de geografia e ciências.** Ciência hoje, 32 (192), 56-60. 2003.

BUSS, D.F. **Proteção a vida aquática, participação das comunidades e políticas de recursos hídricos**. Ciência & Ambiente, 25, 71-84, 2002.

BUSS, D.F.; BAPTISTA, D.F.; NESSIMIAN, J.L. **Conceptual basis for the application of biomonitoring on stream water quality programs**. Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 19 (2), 465-473, mar-abr. 2003.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, AV. Prof. Frederico Hermano Jr. 345 – São Paulo – SP, 2021.

COSTA, R.D.A.; ALMEIDA, C.M.M.; NASCIMENTO, J.M.M.; LOPES, P.T.C. **Percepções de acadêmicos sobre o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis como ferramenta de apoio ao ensino e a aprendizagem em anatomia humana**. Rendi - Revista Educacional Interdisciplinar, 4 (1), 2015.

CUNHA, A.L.M.; BACKES, L. **O que o professor Google não ensina aos alunos adolescentes e o que nós, educadores, precisamos aprender**. Colabor@ - Revista Digital da CVA, 7 (27), 2012.

FEIO, M.J.; HUGHES, R.M.; CALLISTO, M.; NICHOLS, S.J.; ODUME, O.N. *et al*. **The Biological Assessment and Rehabilitation of the World's Rivers: An Overview.** Water 13 (3): 371.2021.

FINOTTI, A.R.; FINKLER, R.; SILVA, M. D'A.; CEMIN, G. **Monitoramento de Recursos Hídricos em Áreas Urbanas**. Caxias do Sul: Ed. Educas. 272 pp, 2009.

GUIMARÃES, A.Q. *et al.* **Uso de ferramentas alternativas para auxiliar saídas de campo e construção de valores conservacionistas**. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL, 5., Joinville. Anais... Brasília: MMA, 2006.

KRUPEK, R. A. **Análise comparativa entre duas bacias hidrográficas utilizando um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats. Ambiência**, Guarapuava, 6 (1), 147-158, 2010.

MARANDINO, M; SELLES, S. E; FERREIRA, M. S. **Ensino de Biologia: histórias e práticas em diferentes espaços educativos.** São Paulo: Cortez, 2009.

MIYAZAWA, G.C.M.C.; SIQUEIRA, A.C.; ARAÚJO JÚNIOR, C.F.; FRENEDOZO, R.C. **Aplicativos para o Ensino-Aprendizagem de Educação Ambiental**. Educação Ambiental, 6 (1), 1-19, 2016.

OLIVEIRA, C. M. A, O que se fala e se escreve nas aulas de ciências? in: CARVALHO, A.M.P.C. *et al*. **Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula**, 4ª Ed. Cengage Learning, São Paulo, 2018.

ONU (2023). Conferência da ONU sobre água: acelerando ação para futuro sustentável. In: https://brasil.un.org/

PADOVESI-FONSECA, C. Caracterização dos ecossistemas aquáticos do cerrado. In: SCARIOT, J.C.; SOUSA-SILVA, J.M.; FELFILI, J. (Orgs). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 422-425.

PADOVESI-FONSECA, C.; GOMES CORRÊA, A.C.; FIGUEIREDO MARQUES LEITE, G.; JOVELI, J.C.; SOARES COSTA, L.; TOLEDO PEREIRA, S. **Diagnóstico da sub-bacia do ribeirão Mestre d'Armas por meio de dois métodos de avaliação ambiental rápida, Distrito Federal, Brasil Central**. Revista Ambiente & Água, 5 (1), p.145-162, 2010.

PAIVA, A. L.B. MARTINS, C.M.C. **Concepções prévias de alunos de terceiro ano do Ensino Médio a respeito de temas na área de Genética**, Revista Ensaio, 7 (3), 182-201, 2005.

PILLETI, N., ROSSATO, S.M. **Psicologia da Aprendizagem: da teoria do condicionamento ao construtivismo**. São Paulo: Contexto, 178pp. 2011.

RODRIGUES, A.S.L.; CASTRO, P.T.A. **Protocolos de avaliação rápida: instrumentos complementares no monitoramento dos recursos hídricos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 13 (1), 161-170, 2008.

TIMBANE, S.A.; AXT, M.; ALVES, E. **O celular na escola: vilão ou aliado!** Nuevas Ideas en Informática Educativa, 8, 768-773, 2015.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, 2003.

CAPÍTULO 4

EFLUENTES LÍQUIDOS DE ATIVIDADES POTENCIALMENTE POLUIDORAS NO BRASIL: BASE DOCUMENTAL E PROPOSTAS DE MELHORIA NAS ANÁLISES DE QUALIDADE

Data de submissão: 05/06/2026
Data de aceite: 18/06/2026

Thaianne Resende Henriques Fábio[1]
Diretora do Departamento de Qualidade Ambiental desde 2023 e Analista Ambiental do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) desde 2014
https://lattes.cnpq.br/1619338630142159

Claudia Padovesi Fonseca[2]
Professora titular da Universidade de Brasília (UnB)
Departamento de Ecologia
Instituto de Biologia
Universidade de Brasília – UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, DF, Brazil
https://orcid.org/0000-0001-7915-3496

RESUMO: A qualidade da água condiciona sua disponibilidade para diversos usos, como abastecimento humano, recreação, produção de alimentos e industrial. O monitoramento ambiental é uma ferramenta elegível na informação de tendências e evolução da qualidade das águas e viabiliza o seu diagnóstico ambiental. Os dados nacionais mais atualizados sobre efluentes gerados pelas atividades potencialmente poluidoras e lançados nos corpos hídricos brasileiros estão disponíveis no Relatório de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (RAPP) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Foi identificado que as informações desse formulário não englobam dados qualitativos dos efluentes. Sendo assim, o presente estudo utilizou o método dedutivo, com pesquisa documental e uma abordagem quantitativa para propor uma ampliação do monitoramento da qualidade das águas no Brasil. E com base no formulário do Ibama apresentar propostas de melhorias ao formulário do RAPP. A análise do formulário foi realizada com dados disponíveis no site do Ibama para 2021, e disponibilizados em 2022, no total de 23.109 formulários preenchidos. Ao menos 27 diferentes atividades jurídicas foram respondentes, sendo a grande maioria do setor industrial. A região Sudeste colaborou com 57% das pessoas jurídicas. A região Sul representou 24%, ao passo que Centro Oeste, Nordeste

[1] Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pelo Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), graduada em Ciências Biológicas.

[2] Líder do Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL) – CNPq, mestre e doutora em área de Limnologia pela Universidade de São Paulo (USP). Realizou pós-doutorado na Universidade de Paris Pierre e Marie Curie, na França, e na Universidade de Granada, na Espanha.

e Norte resultaram em apenas 19%. A grande maioria (70,2%) lançaram efluentes líquidos em águas, e 30% realizavam o monitoramento. A maioria (>40%) afirmou elevada eficiência do tratamento dos efluentes (>95%). Entretanto, metade desses empreendimentos utilizaram apenas o tratamento primário, o que não é suficiente para alta eficiência. A criação de um sistema nacional unificado para inserção das declarações de carga poluidora representa um instrumento facilitador da coleta de informações das cargas lançadas pelos empreendimentos, análise destes dados pelo poder público, e planejamento de ações corretivas e preventivas.
PALAVRAS-CHAVE: monitoramento ambiental; poluição das águas; regulamentação hídrica; Brasil.

LIQUID EFFLUENTS FROM POTENTIALLY POLLUTING ACTIVITIES IN BRAZIL: DOCUMENTARY BASIS AND PROPOSALS FOR IMPROVING QUALITY ANALYSES

ABSTRACT: Water quality determines its availability for various uses, such as human supply, recreation, food production, and industrial use. Environmental monitoring is a suitable tool for reporting trends and the evolution of water quality and for enabling environmental diagnosis. The most recent national data on effluents generated by potentially polluting activities and discharged into Brazilian water bodies are available in the Report on Potentially Polluting Activities and Users of Environmental Resources (RAPP) from the Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources (Ibama). It was found that the information contained in this form does not include qualitative data on effluents. Therefore, this study used the deductive method, with documentary research and a quantitative approach, to propose an expansion of water quality monitoring in Brazil. Based on the Ibama form, proposals for improvements to the RAPP form are presented. The analysis of the form was carried out using data available on the Ibama website from 2021, made available in 2022, totaling 23,109 completed forms. At least 27 different legal entities responded, the vast majority from the industrial sector. The Southeast region contributed 57% of the legal entities. The South region accounted for 24%, while the Central-West, Northeast, and North regions obtained only 19%. The vast majority (70.2%) discharged liquid effluents into water, and 30% carried out monitoring. Most (>40%) reported high efficiency in effluent treatment (>95%). However, half of these companies only used primary treatment, which is not sufficient for high efficiency. The creation of a unified national system for submitting pollutant effluents declarations represents a tool to facilitate the collection of information on the effluents discharged by companies, the analysis of this data by public authorities, and the planning of corrective and preventive actions.
KEYWORDS: environmental monitoring; water pollution; water regulation; Brazil.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma das maiores reservas de água doce do mundo, com cerca de 12% de deflúvio superficial disponível, um clima predominantemente tropical e grande dimensão territorial (SILVA, 2020). Apesar desta abundância, os mananciais no Brasil possuem uma distribuição no território não uniforme. Como exemplo, a bacia Amazônica possui quase 80% da água que escoa pelo território brasileiro (ANA, 2022), porém apresenta apenas 5,1% da população do Brasil (MPF, 2017).

A distribuição hídrica não uniforme no Brasil, aliada ao crescimento urbano desordenado, com ocupações irregulares e esgotamento sanitário deficitário, os problemas no abastecimento de água e na coleta de resíduos, e a ausência de arborização e de áreas verdes nas cidades, afetam sobremaneira a qualidade da água dos rios, principalmente os rios urbanos (ANA, op.cit.).

A água é essencial para a vida e seu monitoramento, tanto quantitativo quanto qualitativo, é fundamental para o planejamento da gestão dos recursos hídricos. O setor de recursos hídricos sempre se ocupou majoritariamente do monitoramento quanto aos aspectos da quantidade de água, e, por outro lado, minoritariamente das questões relacionadas à qualidade. Em 2020, a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) possuía aproximadamente 23 mil estações, sendo que apenas 32% das estações gerenciadas pela ANA monitoraram qualidade da água em 2020 (ANA, op.cit.).

Uma vez que o aumento dos problemas de poluição das águas ocasiona a diminuição da disponibilidade hídrica nas bacias, faz-se necessário aumentar o monitoramento da qualidade das águas. Essa informação é comprovada quando um manancial sofre, por exemplo, poluição através da contaminação por um acidente ambiental, como um rompimento de uma barragem de rejeito (BRASIL, 2015). Com isso, esse manancial não pode mais ser utilizado como fonte de abastecimento para a população, fazendo-se necessário o monitoramento de sua qualidade da água.

Constituem-se como algumas das diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH): (1) a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade; (2) a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do

País; (3) e a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental; a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo (BRASIL, 1997).

Hoje o Brasil dispõe de estrutura e recursos descentralizados nos marcos da Rede Nacional de Qualidade das Águas (RNQA), que permitem realizar o monitoramento da qualidade das águas, abrangendo diversos locais do país (ANA, 2022). Além dessas, existem informações produzidas por meio do automonitoramento no escopo das condicionantes de licenciamento ambiental, que podem incrementar o monitoramento realizado hoje (BRASIL, 2011).

No Brasil, as regulamentações para o monitoramento da qualidade das águas são estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (Brasil, 2005), que é a instância responsável por estabelecer normas e padrões de qualidade ambiental para o país.

Para o monitoramento da qualidade das águas no Brasil, existem resoluções e normas específicas para diferentes setores e atividades que podem impactar a qualidade das águas. As normas e regulamentações relacionadas à qualidade da água potável no Brasil estabelecem os padrões e critérios técnicos para garantir a segurança e a saúde da população usuária. As regulamentações para a qualidade da água potável no Brasil são estabelecidas pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

A qualidade da água condiciona sua disponibilidade para seus diversos usos, tais como o abastecimento humano, recreação, produção de alimentos e industrial, estando diretamente relacionada com as diversas atividades econômicas, além de possuir alto impacto na saúde pública e na qualidade de vida de todos, sendo essencial para o equilíbrio e funcionamento de ecossistemas (ANA, 2017).

Os parâmetros de qualidade da água definidos em normativos, são substâncias ou outros indicadores representativos da qualidade da água. Para eles são adotados padrões, que são valores-limite (valores máximos permitidos) como requisito normativo da qualidade de água ou efluente apresentados no CONAMA (BRASIL, 2005).

No que tange às informações sobre efluentes gerados pelas atividades potencialmente poluidoras e lançados nos corpos hídricos brasileiros, os dados mais atualizados estão disponíveis no site do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) – Dados Abertos (link: http://

dadosabertos.Ibama.gov.br). Os dados desse formulário de Efluentes Líquidos não demonstram dados qualitativos dos efluentes.

O objetivo do presente estudo é propor ampliação do monitoramento da qualidade das águas no Brasil com dados de condicionantes ambientais ao formulário de Efluentes Líquidos do Relatório de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais do IBAMA.

Nesse sentido, faz-se necessário que esse formulário seja analisado, de forma a abranger informações que possibilitem qualificar os corpos hídricos brasileiros em locais onde há a geração de efluentes pelas atividades potencialmente poluidoras, justificando a importância desse trabalho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo proposto foi exploratório, para proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito, auxiliar na verificação dos fatos, identificar conceitos ou variáveis e sugerir hipóteses (SAMPIERI *et al*., 1991). A proposta do presente estudo enquadra-se na abordagem quantitativa.

Com método dedutivo e pesquisa documental, o estudo buscou uma revisão narrativa (não sistemática) das iniciativas e regulamentações quanto ao monitoramento da qualidade das águas no Brasil, que seguiram as orientações de GIL (2002).

Esse trabalho teve como delimitação temporal para sua primeira fase, ou seja, a visão geral dos empreendimentos que preencheram o Relatório de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (RAPP) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) de 2000 até 2022. Posteriormente, visando trazer a análise mais recente, os dados a serem trabalhados de maneira detalhada nesse estudo foram preenchidos no ano de 2022 com referência aos efluentes lançados em 2021.

A metodologia utilizada para o tratamento dos dados coletados no formulário de efluentes líquidos do RAPP do Ibama foi por meio do software Microsoft Excel, incluindo o uso da ferramenta de tabela dinâmica. O objetivo principal do tratamento dos dados foi analisar e obter informações relevantes sobre as características e padrões dos efluentes líquidos das atividades potencialmente poluidoras. O processo de tratamento dos dados seguiu as seguintes etapas: (1) coleta de dados disponível no site do Ibama (link: https://dadosabertos.ibama.gov.

br/dataset/efluentes-liquidos), na última atualização disponível; (2) preparação dos dados para garantir a qualidade e consistência das informações, como a remoção de dados duplicados, inconsistentes ou inválidos, além da necessidade da criação de uma macro para dar um tratamento a caracteres ilegíveis; (3) análise de tendências e o uso da tabela dinâmica. O detalhamento completo da metodologia empregada neste estudo encontra-se descrito em FÁBIO (2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

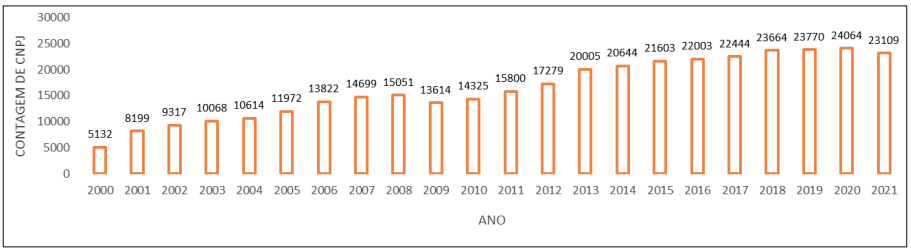
No período desse estudo documental, 27 diferentes atividades jurídicas responderam o formulário referente às atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos ambientais. A grande maioria foi proveniente de indústrias, com 15 tipos, com maior número de respostas as de produtos alimentares e bebidas (figura 1). A outra parte foi bem diversificada, com resíduos provenientes de tratamentos minerais, recursos naturais, projetos sujeitos à licenciamento ambiental, veículos automotores, incluindo pneus, pilhas e baterias, além de turismo e projetos florestais.

Figura 1. Distribuição das pessoas jurídicas que preencheram o Relatório de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (RAPP) à sua atividade do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP), de 2000 até 2021.



Houve um aumento expressivo de respostas ao formulário de efluentes ao longo do período de estudo, com um aumento de 10 mil respondentes nos oito anos iniciais, e em sequência, quase 10 mil a mais em dez anos (Figura 2).

Figura 2. Relação das pessoas jurídicas que entregaram o RAPP referente ao formulário Efluentes Líquidos, de 2000 a 2021.

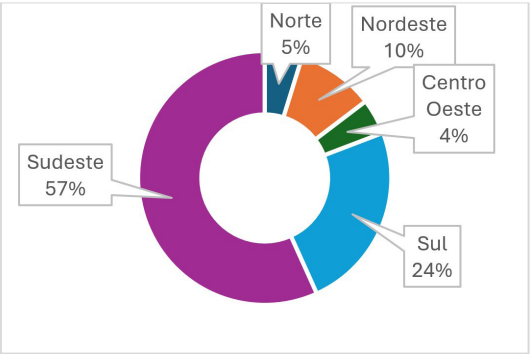


Além do aumento expressivo de respondentes para o formulário de efluentes líquidos, houve uma discrepância geográfica entre as regiões do Brasil. A região Sudeste correspondeu 57% das pessoas jurídicas da pesquisa. O estado de São Paulo representou 26% e o de Minas Gerais 22% para a região. A região Sul obteve 24% de representatividade. As outras regiões do Brasil, como Centro Oeste, Nordeste e Norte, resultaram em apenas 19% (Figura 3).

Os resultados apresentados até o momento podem estar relacionados às diferenças econômicas e populacionais entre as regiões geográficas do Brasil. A concentração populacional e o desenvolvimento econômico são fatores que contribuem para o maior número de atividades potencialmente poluidoras em São Paulo e Minas Gerais. Além disso, esses estados são os mais populosos do Brasil, com mais de 60 milhões de pessoas (IBGE, 2010). Isso significa que há mais indústrias, comércios e serviços em operação nessas áreas, aumentando o potencial de poluição.

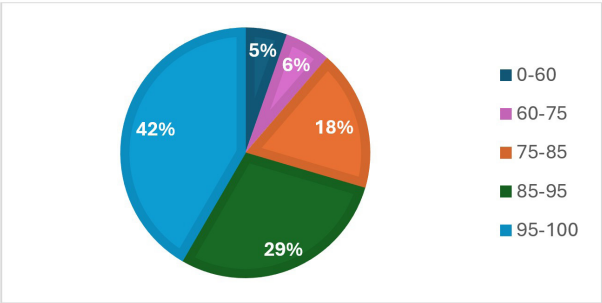
São Paulo e Minas Gerais são estados economicamente desenvolvidos, com uma grande variedade de indústrias e empresas em operação. O PIB (Produto Interno Bruto) do estado de São Paulo foi de cerca de R$ 2,5 trilhões e o de Minas Gerais R$ 680 bilhões, ambos valores em 2020, o que representam cerca de 40% do PIB nacional. Temos ainda que São Paulo possui o maior parque industrial do país, com cerca de 40% da produção industrial brasileira. Minas Gerais representa o segundo maior parque industrial do país, com destaque para as indústrias extrativas (mineração) e metalurgia. Dessa forma, esses estados detêm a maior parte das atividades potencialmente poluidoras do país.

Figura 3: Distribuição das pessoas jurídicas por Unidades da Federação do Brasil.



Em relação à eficiência do tratamento dos efluentes, mais de 40% dos respondentes declararam ter eficiência acima de 95, numa faixa de valores de zero a 100 pontos. E somente 5% declararam possuir eficiência abaixo de 60%, limite fora dos padrões estabelecidos em lei (figura 4).

Figura 4. Eficiência do Tratamento das pessoas jurídicas que preencheram o RAPP, referente ao formulário Efluentes Líquidos, em 2021.



Vale ressaltar que, a pessoa física ou jurídica que deixar de entregar o RAPP ou apresentar informações total ou parcialmente falsas está sujeita à multa e/ou sanções de natureza ambiental, conforme consolidado nos Arts. 17 a 20 da Instrução Normativa do Ibama nº 06/2014.

Há uma variedade de tratamento de efluentes dos usuários para esse estudo. Foram configurados 18 tipos de tratamento, que incluem biológicos, químicos, físicos, sob secagem e altas temperaturas (Figura 5). O tratamento desses efluentes de fontes poluidoras deve seguir condições, padrões e exigências antes de ser lançados em corpos receptores, de acordo com a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011).

Figura 5. Tipo de Tratamento Realizado no Efluente das pessoas jurídicas que preencheram o RAPP, referente ao formulário Efluentes Líquidos, em 2021.



Os processos de tratamento de efluentes podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos, conforme a natureza dos poluentes a serem removidos e as operações unitárias empregadas (GIORDANO, 2004). O tratamento biológico foi o de uso preponderante, com quase 12 mil usuários, seguido em menor escala vários outros tipos de tratamento, com mais de 6 mil usuários. Outros nove tipos de tratamento ficaram entre mil e cem usuários. E sete tipos de tratamento tiveram seu uso em número mais reduzido (Figura 6).

Os tratamentos biológicos de esgotos e efluentes industriais têm como objetivo remover a matéria orgânica dissolvida e em suspensão, através da transformação desta em sólidos sedimentáveis (flocos biológicos), ou gases (RAMALHO, 1991). Nesse processo ocorre a ação de agentes biológicos como bactérias, protozoários e algas. Essa degradação pode ocorrer por meio do tratamento biológico aeróbio e anaeróbio. A partir de nossos resultados foi possível detectar que mais da metade das pessoas jurídicas que preencheram o RAPP referente ao formulário Efluentes Líquidos, em 2021, declaram realizar o tratamento dos seus efluentes através do tratamento biológico.

É pertinente ressaltar que a segunda coluna de tratamento designada por outros na Figura 5, evidencia que os tipos de tratamentos preestabelecidos não são condizentes com os tratamentos realizados no Brasil. Quase 30% informaram que realizaram outro tipo de tratamento, daqueles listados pelo RAPP, possibilitando apontar a necessidade de atualização da lista estabelecida pelo Relatório.

O tratamento de efluentes pode ser classificado em diferentes níveis: primário, secundário e terciário, dependendo de suas condições e da eficiência

dos processos. Detalhes e itens de análise são apresentados em FÁBIO (2023), no âmbito do Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade de Brasília.

Quase metade (46%) das pessoas jurídicas que preencheram o RAPP, referente ao formulário Efluentes Líquidos, em 2021, informaram que o tratamento realizado é de nível primário, seguido de 40% do nível secundário e 14% do nível terciário.

O nível de tratamento de efluente está diretamente relacionado à eficiência do tratamento. Quanto mais avançado for o nível de tratamento, maior será a eficiência na remoção de poluentes presentes no efluente. No entanto, é importante ressaltar que o nível de tratamento a ser aplicado dependerá das características do efluente e dos padrões de qualidade exigidos pela legislação local.

Assim, foi observada uma aparente incongruência para os usuários que declararam ter eficiência do tratamento acima de 95%. Metade dos empreendimentos utilizaram apenas o tratamento primário, 33% o secundário e somente 17% o terciário. Para uma alta eficiência relatada pelos usuários, os efluentes deveriam ter sido submetidos no mínimo ao tratamento secundário.

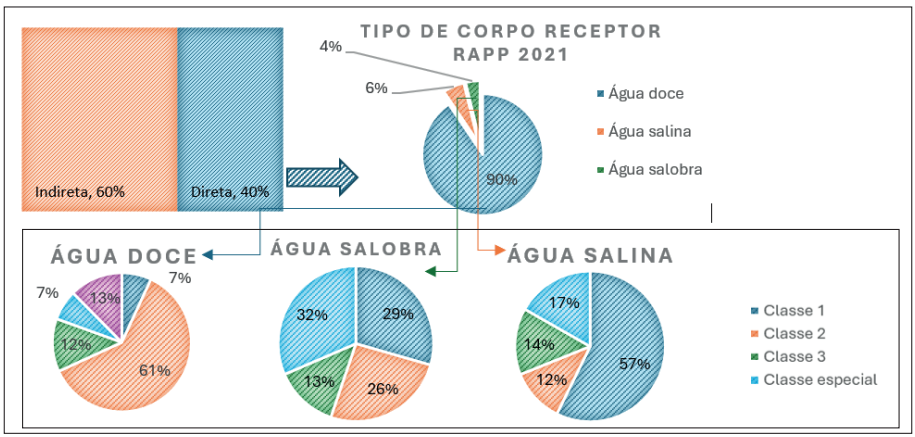
Segundo demonstrado nesse estudo, a análise das informações evidenciadas nos Dados Abertos do Ibama são 23.109 pessoas físicas e jurídicas que preencheram o formulário "Efluentes Líquidos" do RAPP, no ano de 2021. Sendo que, dos declarantes que informaram o lançamento de seus efluentes na água, 60% informaram realizar emissão de forma indireta, detalhando em seguida o corpo receptor e o nome da empresa receptora do efluente. Por outro lado, 40% declararam emitir seu efluente de maneira direta, ou seja, diretamente em algum corpo hídrico, totalizando 6.534 empreendimentos.

Em complementação, as pessoas jurídicas também informam a classe do corpo receptor no qual o efluente foi lançado, de acordo com a classificação da Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. A maioria, 61% das pessoas jurídicas, classificou o corpo hídrico como Classe 2, destinadas a consumo humano segundo CONAMA (BRASIL, 2005). Mais da metade das pessoas jurídicas (57%) lançaram seus efluentes em águas de Classe 1, destinadas à recreação, proteção da biota, aquicultura e pesca de acordo com CONAMA (BRASIL, op.cit.).

E por fim, as pessoas jurídicas, que preencheram o RAPP em 2021, e lançam o efluente em água salobra tiveram uma diversidade grande entre as classes da

Resolução CONAMA 357/2005, se comparado com os tipos água doce e água salina. Um terço (29%) classificou o corpo hídrico como Classe 1 (citado acima) e um pouco mais (32%) como Classe Especial. A classe especial é destinada à preservação dos ambientes, do equilíbrio natural e da biota em sistemas aquáticos (Brasil, 2005). A Figura 6 apresenta um resumo do tipo de emissão e a classe do corpo receptor aos respondentes do Formulário.

Figura 6. Relação ao tipo de emissão e tipo e classe do corpo receptor das pessoas jurídicas que preencheram o RAPP em 2021.



A preponderância de classe 2 para água doce e classe 1 para água salina se justifica pelo artigo 42 da Resolução CONAMA 357/2005. Esse artigo define que enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2; e as salinas e salobras classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente. Tal situação abre espaço para realizar lançamentos de efluentes em corpos d'água que ainda não foram devidamente analisados e classificados em consonância ao nível de proteção e tipos de usos humanos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), em 2020 a Rede Hidrometeorológica Nacional contava com aproximadamente 23 mil estações sob responsabilidade de diferentes instituições, sendo que apenas 32% das estações gerenciadas pela agência realizavam monitoramento da qualidade da água (ANA, 2022).

Em 2021, 23.109 pessoas jurídicas preencheram o formulário temático "Efluentes Líquidos" do Relatório de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (RAPP), sendo que cerca de 40% declararam lançar efluentes diretamente em corpos hídricos, totalizando aproximadamente 6.500 empreendimentos. Entretanto, os dados de automonitoramento exigidos nas condicionantes de licenciamento ambiental encontram-se dispersos em diferentes bases e sistemas, o que dificulta sua consolidação em escala nacional e limita sua utilização para subsidiar políticas públicas e processos de tomada de decisão.

Nesse contexto, a criação de um sistema nacional unificado para inserção das declarações de carga poluidora poderia facilitar a compilação e análise das informações sobre efluentes lançados, contribuindo para o planejamento de ações preventivas e corretivas. Além disso, a integração dos dados de automonitoramento ao RAPP poderia ampliar significativamente o número de pontos de monitoramento da qualidade da água no país.

Os resultados também indicaram inconsistências nas informações declaradas pelos empreendimentos, como casos em que foi informada eficiência de tratamento superior a 95% associada apenas ao tratamento primário, o que sugere a necessidade de aprimoramento na coleta e verificação dos dados reportados.

Dessa forma, o fortalecimento do monitoramento da qualidade da água no Brasil depende não apenas da ampliação da rede de monitoramento, mas também da integração e qualificação das informações existentes, como discutido por FARIA & PADOVESI-FONSECA (2020). Nesse sentido, recomenda-se a revisão de instrumentos normativos, como as Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 396/2008, visando incorporar novos parâmetros de qualidade e aprimorar os mecanismos de avaliação ambiental, incluindo a definição de critérios para qualidade de sedimentos e proteção da vida aquática.

5. AGRADECIMENTOS

Thaianne R.H. Fábio agradece ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua) da Universidade de Brasília e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa. Este capítulo é produto de pesquisas de recursos hídricos desenvolvidas pelo Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL), da

Universidade de Brasília. O Grupo de Pesquisa é cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas Esgotos**: Despoluição de Bacias Hidrográficas. [S. l.]: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, 2017. Disponível em: http://atlasesgotos.ana.gov.br. Acesso em: 16 fev. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: relatório pleno.** Brasília: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, 2022. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursoshidricos/conjuntura_2021_pdf_final_revdirec.pdf. Acesso em: 06 set. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de 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, e dá outras providências.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017.** Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Anexo XX - Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de Potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 825p.

BRASIL. Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: set.2022.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm Acesso em: 16 fev. 2021.

FÁBIO, T.R.H. **Análise e propostas de melhorias ao formulário de efluentes líquidos do Relatório de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais do IBAMA.** 2023. 71 f., il. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina, Brasília, 2023. Disponível em: http://repositorio.unb.br/handle/10482/49271

FARIA, R. S.; FONSECA, C. P. Gestão ecológica das águas: uma comparação das diretrizes do Brasil e da Europa. **Ciência & Trópico**, [S. l.], v. 44, n. 1, 2020. DOI: 10.33148/cetropicov44n1(2020) art5. Disponível em: https://periodicos.fundaj.gov.br/CIC/article/view/1900. Acesso em: 6 set. 2022.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais.** UERJ. Rio de Janeiro, p. 81. 2004.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010.** Rio de Janeiro: IBG.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2020.** Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Conexão água.** 2017. Disponível em: https://conexaoagua.mpf.mp.br/atuacao-estrategica/por-bacia-hidrografica. Acesso em: 10 abr 2022.

SAMPIERI, R., COLLADO, C., LUCIO, P. **Metodología de la Investigación**. México: McGraw Hill, 1991.

SILVA, J. C. L. **A qualidade das águas superficiais e os principais critérios de avaliação**. Brasil Escola. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/geografia/a-qualidade-das-aguas-superficiais-os-principais-criterios-avaliacao.htm. Acesso em: 11 dez. 2020.

RAMALHO, R. S. **Tratamiento de aguas residuales**. Barcelona, p. 705. 1991.

CAPÍTULO 5

AVANÇOS REGULATÓRIOS PARA O CONTROLE DE MICROPLÁSTICOS EM ÁGUA POTÁVEL

Data de submissão: 05/06/2026
Data de aceite: 18/06/2026

Luiz Gustavo Haisi Mandalho
Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (UnB – ProfÁgua)
Brasília, DF
http://lattes.cnpq.br/1693815171509792

Claudia Padovesi Fonseca[1]
Professora titular da Universidade de Brasília (UnB)
Departamento de Ecologia
Instituto de Biologia
Universidade de Brasília – UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, DF, Brazil
https://orcid.org/0000-0001-7915-3496

RESUMO: É amplamente reconhecida a crescente demanda hídrica global e o agravamento da saúde dos recursos hídricos e, por conseguinte, dos humanos, em especial por poluentes emergentes como os microplásticos. Essa pesquisa analisou a presença de microplásticos em águas potáveis por meio de revisão bibliográfica e pesquisa documental, com análise das perspectivas regulatórias voltadas à redução dessa contaminação. A revisão foi realizada em Google Acadêmico, Pubmed, SciELO, *Science Direct* e *Web of Science*, de 2015 a 2025. A pesquisa documental foi realizada por meio da do banco de dados de políticas do portal *Plastics Policy*, da Duke *University*. As partículas plásticas, fabricadas para propósitos específicos, como microesferas adicionadas em produtos de higiene, ou provenientes da degradação de plásticos no ambiente, representam um risco à saúde humana, podendo causar efeitos adversos como inflamação e danos celulares, sendo o consumo de água é uma rota relevante de exposição humana a esses contaminantes. A revisão de literatura englobou 39 estudos, que revelam a presença global de microplásticos em águas potáveis, com concentrações médias variando entre 0,174 e 1.776 partículas por litro. O levantamento normativo registrou que apenas a Califórnia e a União Europeia possuem regulamentações específicas sobre microplásticos em águas destinadas ao consumo humano, com diferenças relevantes em sua aplicação. A Califórnia adotou uma abordagem direta,

[1] Líder do Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL) – CNPq, mestre e doutora em área de Limnologia pela Universidade de São Paulo (USP). Realizou pós-doutorado na Universidade de Paris Pierre e Marie Curie, na França, e na Universidade de Granada, na Espanha.

iniciando um programa de monitoramento de microplásticos, enquanto a União Europeia incluiu os microplásticos em uma política mais abrangente de segurança hídrica, englobando outros contaminantes emergentes. No Brasil, os estudos são raros até o momento, com uma lacuna relevante no conhecimento sobre a contaminação por microplásticos nas águas distribuídas à população. Ainda se tem a necessidade de padronização metodológica, ampliação de pesquisas nacionais e desenvolvimento de uma normativa brasileira. Diretrizes iniciais para elaboração de norma brasileira sobre microplásticos em águas potáveis foram apresentadas em outra publicação derivada dessa.
PALAVRAS-CHAVE: poluição plástica; contaminação hídrica; diretrizes; Brasil.

REGULATORY ADVANCES FOR THE CONTROL OF MICROPLASTICS IN DRINKING WATER

ABSTRACT: The growing global demand for water and the deterioration of water resources, and consequently human health, are recognized challenges, particularly due to emerging pollutants such as microplastics. This study analyzed the presence of microplastics in drinking water through a literature review and documentary research, including an assessment of regulatory approaches aimed at reducing such contamination. The literature review was conducted using Google Scholar, PubMed, SciELO, ScienceDirect, and Web of Science databases, covering the period from 2015 to 2025. Documentary research was carried out using the policy database available on the Plastics Policy portal of Duke University. Plastic particles, whether intentionally manufactured for specific purposes, such as microbeads added to personal care products, or generated through the degradation of plastics in the environment, pose potential risks to human health and may cause adverse effects, including inflammation and cellular damage. Water consumption is considered a relevant route of human exposure to these contaminants. The literature review included 39 studies, which revealed the global occurrence of microplastics in drinking water, with average concentrations ranging from 0.174 to 1,776 particles per liter. The regulatory survey found that only California and the European Union have specific regulations addressing microplastics in water intended for human consumption, with significant differences in their implementation. California adopted a direct approach by establishing a microplastics monitoring program, whereas the European Union incorporated microplastics into a broader water safety policy that also addresses other emerging contaminants. In Brazil, studies on this topic remain scarce, highlighting a significant knowledge gap regarding microplastic contamination in water supplied to the population. There is still a need for methodological standardization, expansion of national research efforts, and the development of specific Brazilian regulations. Initial guidelines for the development of a Brazilian standard on microplastics in drinking water were presented in another publication derived from this research.
KEYWORDS: plastic pollution; water contamination; guidelines; Brazil.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso finito e indispensável para a vida, e seu consumo vem aumentando ao longo dos últimos anos. Com a crescente contaminação dos recursos hídricos por diversos poluentes, incluindo microplásticos, reflete na necessidade urgente de gestão e regulação eficazes para garantir o acesso à água potável.

Os microplásticos (MP) são fragmentos de plásticos de dimensões reduzidas, tendo uma diversidade de definições em diferentes documentos. HARTMANN *et al.* (2019) apresenta a Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos da América (NOAA, na sigla em inglês) como pioneira em definir os MP como partículas plásticas com tamanho menor que cinco milímetros, mas esclarece que essa definição não teve como base uma justificativa científica clara, sendo baseada nos indícios dos efeitos dos MP nos ecossistemas.

As fontes de microplásticos no ambiente são variadas e inclui o descarte inadequado de plásticos maiores, como embalagens, sacolas e garrafas, que se fragmentam ao longo do tempo devido à ação de fatores ambientais como vento, chuva e radiação solar (ANDRADY, 2011). Outros itens, como as fibras sintéticas liberadas durante a lavagem de roupas feitas de poliéster, nylon e outros tecidos sintéticos, representam uma fonte significativa de microplásticos, que acabam sendo lançados nos sistemas de esgoto e, posteriormente, nos corpos d'água (BROWNE *et al*., 2011). Produtos cosméticos e de higiene pessoal, como esfoliantes e cremes dentais, com microesferas plásticas, também contribuem diretamente para a poluição por microplásticos, pois essas partículas são pequenas demais para serem filtradas pelas estações de tratamento de esgoto (FENDALL & SEWELL, 2009).

Evidências apontam que os seres humanos estão frequentemente inalando e ingerindo microplásticos, por meio do ar, alimentos e da água, porém, o risco devido a essa exposição ainda é incerto devido à falta de dados sobre exposição e perigos potenciais (VETHAAK, 2021). SANCHÉZ *et al*. (2022) destacaram a inalação e a ingestão oral como vias principais de entrada de MP no corpo humano, sendo a água uma das principais fontes de MP nos organismos humanos.

Estudos in vitro e in vivo indicam que microplásticos são capazes de causar impactos severos em seres humanos, incluindo estresse oxidativo, inflamações, danos físicos e necrose (YEE *et al*., 2021). Além disso, a toxicidade de químicos

aderidos à superfície dos MP, adsorvidos do meio ambiente ou de aditivos usados no processo de produção dos plásticos, levanta preocupações adicionais dos efeitos dos MP à saúde (KARBALAEI *et al*., 2021).

Para levar água de boa qualidade aos consumidores, faz-se necessária a utilização de sistemas de abastecimento de água. Estes sistemas são formados por conjuntos de equipamentos, infraestruturas e serviços para atender aos usos diversos. Em resumo, o ciclo de abastecimento de água é formado por cinco etapas principais: captação de água bruta, adução, tratamento, reservação e distribuição de água tratada (BRASIL, 2020).

A presença de microplásticos (MP) em águas destinadas ao consumo humano tem sido confirmada por diversos estudos (PASTOR & AGULLÓ, 2020; MUKOTAKA *et al*., 2021; JRC, 2024). Em águas engarrafadas, as partículas de plástico podem ser causadas pelo material de embalagem ou processos de limpeza de garrafas reutilizáveis. Em águas de torneira, por sua vez, os MP podem ter origem na água bruta, nos processos de tratamento ou nos sistemas de distribuição (OßMANN, 2021).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo foi elaborado com base em pesquisa bibliográfica sobre a presença de microplásticos em água potável e pesquisa documental de normas relacionadas ao controle e redução de microplásticos em águas potáveis, baseando-se nos pressupostos da pesquisa qualitativa.

Foram consideradas como “águas potáveis” aquelas aptas para o consumo humano e fornecidas por meio de sistemas públicos de abastecimento de água. Para a presente pesquisa foram utilizados Google Acadêmico, Pubmed, SciELO, *Science Direct* e *Web of Science*. Para filtragem inicial, realizou-se a pesquisa de estudos que continham em seus títulos as seguintes palavras-chave: “microplásticos” E “água potável” OU “água de consumo” OU “água de torneira” e seus equivalentes em inglês (*potable water*, *drinking water*, *consumption water* e *tap water*).

Foram utilizados como critérios para inclusão no estudo:

i) estudos publicados entre 2015 e novembro de 2025;
ii) pesquisas que investigaram microplásticos em água potável; e
iii) artigos publicados em português ou inglês.

Não foram incluídos na análise:

i) pesquisas focadas em outros tipos de água (águas residuais, água salgada, entre outros);
ii) artigos de revisão ou meta-análises.

A síntese dos resultados foi realizada por meio de análise qualitativa, comparando as concentrações encontradas, as limitações dos estudos e suas recomendações.

Com relação ao levantamento de normas relacionadas ao controle de microplásticos (MP) em águas potáveis, foi realizada a importação do banco de dados de políticas do portal *Plastics Policy Inventory* (Inventário de Políticas de Plásticos), mantido pelo *Nicholas Institute for Energy, Environment & Sustainability at Duke University* (https://nicholasinstitute.duke.edu/plastics-policy-inventory/downloads). O Inventário de Políticas de Plásticos é um banco de dados pesquisável de documentos de políticas públicas voltados para a poluição plástica, contendo documentos datados a partir de 1º de janeiro de 2000 e atualizado até dezembro de 2023.

Foi realizada a busca nesse banco de dados referente às legislações voltadas aos MP em águas potáveis, por meio da busca pelas palavras-chave "microplásticos" E "água potável" OU "água de consumo" OU "água de torneira". Após a seleção das normas relevantes para a pesquisa, foi realizada a síntese e a comparação de seus escopos, buscando evidenciar seus pontos principais.

Para leitura da metodologia completa vide MANDALHO (2026).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. REVISÃO SISTEMATIZADA DE LITERATURA SOBRE MICROPLÁSTICOS EM ÁGUAS POTÁVEIS

A pesquisa bibliográfica foi realizada inicialmente em agosto de 2024 e complementada em novembro de 2025, resultando na seleção inicial de 249 estudos. Após, fez-se a leitura de seus resumos para avaliar se o conteúdo era aderente ao tema da presente pesquisa e foram selecionados aqueles que atenderam aos critérios de inclusão.

Dos quatro repositórios de revisão sistematizada, o *Science Direct* representou o maior número de estudos selecionados para avaliação inicial na pesquisa (105 estudos). Os outros dois repositórios, Pubmed e *Web of Science*, apesar de identificar um número intermediário de estudos, com 58 e 72 estudos

respectivamente, destes, apenas 26 foram considerados aderentes ao tema da pesquisa. A pesquisa no Google Acadêmico, por sua vez, resultou na seleção de 14 estudos, dos quais somente quatro foram analisados. A pesquisa das palavras-chave no repositório SciELO, com base na metodologia apresentada, não retornou estudos para avaliação.

Houve a seleção de 63 estudos para avaliação aprofundada, o que correspondeu a somente 25% do universo de estudos obtidos na pesquisa inicial. Após a leitura aprofundada, verificou-se que 24 (10%) não avaliaram a presença das partículas nas águas distribuídas à população, pois tinham como objetivo apenas a verificação de MP em águas brutas (antes do tratamento) ou eram voltados ao estudo dos métodos de detecção com a utilização de amostras preparadas em laboratório. Assim, esses estudos não foram objeto de análise na presente pesquisa, por não atenderem aos critérios de seleção definidos na metodologia. Também foram excluídos quatro estudos que avaliavam somente a presença de MP em águas engarrafadas, resultando em um total de 39 estudos incluídos na presente revisão de literatura (16% do universo de estudos obtidos na pesquisa inicial).

Revisões sistemáticas de literatura realizadas anteriormente demonstram o escopo limitado da pesquisa qualificada neste campo. DANOPOULOS *et al.* (2020) conduziram uma revisão sistemática abrangente de microplásticos na água potável, selecionando inicialmente 2.467 estudos, dos quais apenas 12 atenderam aos critérios de inclusão definidos - uma taxa de inclusão de apenas 0,49%.

Além de obter um universo pequeno de estudos relativos à presença de microplásticos em águas potáveis (41 amostras), esses estudos foram concentrados no continente europeu (41%), seguido da Ásia, com 37 % das amostras. O continente americano correspondeu a 17% e a África somente com 2% dos estudos.

Com exceção de MUKOTAKA *et al.* (2021), que analisaram amostras coletadas na América, Ásia e Europa, os demais estudos analisaram amostras coletadas apenas em um continente. O Joint Research Centre - JRC (2024) apresenta diagnóstico similar com relação à análise de águas potáveis, reportando maior número de estudos realizados na Europa (38%), seguido de Ásia (34%) e América (23%). De acordo com DANOPOULOS *et al.* (2020), “há uma clara necessidade de pesquisa sobre contaminação da água potável por MP em países fora da Europa, onde há menos dados”.

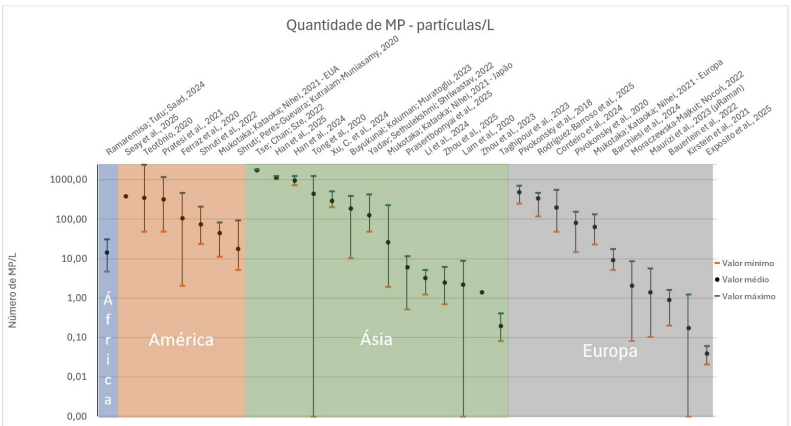
Com relação à quantidade de MP em águas potáveis, observou-se grande variação entre os estudos em relação à sua detecção. Estudo de TSE *et al.* (2022) apresentou o maior valor médio de MP detectados (1.776 partículas/L), seguido de HAN *et al.* (2025), de 1.145 partículas/L e por estudo de HAN *et al.* (2024), de 966 partículas/L. O maior valor detectado dentre os estudos foi de 2.400 partículas/L (TEOTÔNIO, 2020).

Dos 34 estudos que realizaram a quantificação do número de partículas por litro, em 20 os valores médios reportados ficaram abaixo de 100 partículas de MP/L. Sendo que em nove estudos os valores médios de MP detectados ficaram abaixo de cinco partículas/L. Apenas o estudo de WEBER *et al.* (2021) não detectou a presença de MP nas amostras analisadas.

Assim, observa-se que há grande variação na quantidade de MP detectados nos estudos, com médias variando entre 0,04 e 1.776 partículas/L e extremos variando entre zero e 2.400 partículas/L. Estudo do Joint Research Centre - JRC (2024) reportou valores menores, variando entre 0,0001 e 440 partículas por litro. Ressalta-se a dificuldade na comparação direta de concentrações de microplásticos entre estudos, sendo necessária a adoção de metodologias padronizadas para coleta e detecção. Essa padronização é crucial para melhorar critérios como o tratamento de amostras e a identificação de polímeros, assegurando maior confiança, reprodutibilidade e comparabilidade nos resultados (KOELMANS *et al*., 2019).

A Figura 1 apresenta as concentrações de microplástico detectadas nos estudos, agrupadas por continente de origem das amostras.

Figura 1. Quantidade de MP nas águas potáveis agrupadas por continente.



Fonte: MANDALHO (2026).

As concentrações de microplásticos observadas em água potável variam expressivamente entre os continentes, conforme indicado na Figura 2. Na América, os valores médios ficaram entre 18 e 378 partículas/L. Na Ásia, foi identificada maior variação, com médias entre 0,2 e 1.776, porém com maior concentração de valores abaixo de 100 partículas/L. A Europa exibiu os menores valores, com médias entre 0,04 e 470 partículas por litro, com maior número de estudos com valores médios abaixo de 10 partículas/L. Estudo de JRC (2024) reportou achados semelhantes, com valores menores de MP medidos na Europa (0 a 0,6 partículas por litro) do que na América (12 a 316 partículas por litro) e na Ásia (0,7 a 440 partículas por litro).

3.2. NOMATIVAS SOBRE MICROPLÁSTICOS EM ÁGUAS POTÁVEIS

O banco de dados do portal da internet *Plastics Policy Inventory*, do *Nicholas Institute for Energy, Environment & Sustainability*, contém um total de 1.022 documentos de políticas públicas listados. O arquivo contendo a lista completa foi baixado e submetido a um processo de filtragem para identificar as normas relacionadas ao controle de microplásticos, o que resultou na seleção de 57 normativas. Essas normas foram posteriormente analisadas mediante leitura criteriosa, visando identificar especificamente aquelas que abordavam a temática de microplásticos em águas destinadas ao consumo humano, sendo as demais normas excluídas do escopo desse estudo.

Desta forma, após o processo de identificação de normas sobre microplásticos em águas potáveis, foram encontradas apenas duas normativas específicas:

i) SB 1422: *California Safe Drinking Water Act* (Lei de Água Potável Segura da Califórnia); e

ii) Diretiva (EU) 2020/2184 *on the quality of water intended for human consumption* (relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano).

No Brasil, a Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde, traz a consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde (SUS), estabelecendo em seu artigo 129 que o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade são definidos em seu Anexo XX.

A Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, alterou o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5/2017 e estabeleceu os padrões de potabilidade da água que estão vigentes no Brasil atualmente. Essa portaria define água potável como sendo a água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido e que não ofereça riscos à saúde. Adicionalmente, estabelece que água para consumo humano é definida como: "água potável destinada à ingestão, preparação de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem" (Brasil, 2021).

A Portaria GM/MS Nº 888/2021 não estabelece procedimentos ou limites relacionados diretamente aos MP em águas potáveis. Porém, em seu anexo 13, que define o número mínimo de amostras e frequência para o controle da qualidade da água, é estabelecido que o cloreto de vinila deve ser monitorado nas redes de distribuição, em razão de sua possível liberação de materiais a base de plástico PVC. Esse parâmetro deve ser monitorado na saída do tratamento e nas redes de distribuição, com frequência de uma amostra por semestre.

3.2.1. Legislação da Califórnia

Essa legislação do Estado da Califórnia/EUA foi aprovada em 28 de setembro de 2018 e, estabelece requisitos para monitoramento de microplásticos na água potável na Califórnia.

Os pontos principais trazidos pela norma SB 1422/2018 são as obrigações de adoção de uma definição de microplásticos na água potável, de adoção de metodologia padrão para identificação de MP e de adoção de requisitos para quatro anos de testes e relatórios de microplásticos em águas potáveis. Verifica-se houve preocupação com a uniformização de critérios e metodologia de identificação de MP, bem como o comando para início da avaliação sobre a presença de MP em águas potáveis.

Em seguimento a essa norma, em 2021, o Conselho Estadual de Controle de Recursos Hídricos da Califórnia (CSWRCB, na sigla em inglês) publicou a Resolução n.º 2020-0021, que estabeleceu a definição de "microplásticos na água potável", conforme segue:

> 'Microplásticos na água potável' são definidos como materiais poliméricos sólidos aos quais podem ter sido adicionados aditivos químicos ou outras substâncias, que são partículas que têm pelo menos três dimensões maiores que 1 nm e menores que 5.000 micrômetros (µm). Excluem-se os polímeros derivados da natureza que não tenham sido quimicamente modificados (exceto por hidrólise) (*California State Water Resources Control Board*, 2021. Tradução própria).

Em 2023, o CSWRCB publicou, por meio da Resolução n.º 2022-0032, um Manual de Políticas, no qual são estabelecidos os métodos padronizados para testar e relatar microplásticos na água potável na Califórnia.

3.2.2. Legislação da União Europeia

A Diretiva do Parlamento Europeu e de seu Conselho, de 16 de dezembro de 2020, substitui a Diretiva 98/83/CE e estabelece a norma geral sobre a qualidade da água destinada ao consumo humano na União Europeia.

A Diretiva implementa uma abordagem baseada no risco para a segurança da água, cobrindo toda a cadeia de abastecimento, desde as áreas de captação, passando pelo tratamento e armazenamento, até a distribuição. Esta abordagem inclui três componentes principais: avaliação e gestão dos riscos das áreas de captação, avaliação e gestão dos riscos dos sistemas de abastecimento, e avaliação dos riscos dos sistemas de distribuição doméstica.

Com relação aos microplásticos, a diretiva aborda diretamente esta questão em seu considerando n.º 7, reconhecendo "a crescente preocupação pública sobre os efeitos de compostos emergentes, como os disruptores endócrinos, produtos farmacêuticos e microplásticos, na saúde humana através do uso de água destinada ao consumo humano".

Seu artigo 8º estabelece que "os Estados-Membros devem prestar particular atenção nos seus riscos de avaliação aos microplásticos" quando águas superficiais são captadas para consumo humano.

No Artigo 13, parágrafo 6, foi estabelecido que "até 12 de janeiro de 2024, a Comissão deveria publicar ato para complementação da diretiva, adotando uma metodologia para medir os microplásticos com vista a incluí-los na lista de vigilância". Esta disposição reconhece a necessidade da padronização dos métodos para quantificar microplásticos em águas potáveis.

O mecanismo da lista de vigilância, funciona como um instrumento dinâmico e adaptativo visando a proteção da saúde pública em relação à qualidade da água destinada ao consumo humano. Essa lista deve incluir substâncias emergentes de preocupação, como disruptores endócrinos, produtos farmacêuticos e microplásticos. A Comissão Europeia deve publicar atos de execução para elaborar e atualizar periodicamente essa lista, garantindo

que os Estados-Membros monitorem essas substâncias na água potável. Os Estados-Membros, por sua vez, devem realizar o monitoramento periódico dos contaminantes da lista de vigilância, verificando se a água atende aos requisitos da diretiva.

A diretiva 2020/2184 também estabelece no Artigo 19 que "a Comissão deve, no mais tardar até 12 de janeiro de 2029, apresentar um relatório sobre a potencial ameaça às fontes de água destinada ao consumo humano decorrente de microplásticos, produtos farmacêuticos e outros contaminantes emergentes, e sobre os riscos relevantes associados à saúde".

A abordagem da diretiva em relação aos microplásticos e outros contaminantes emergentes demonstra um caminho faseado: primeiro, estabelecer metodologias de medição padronizadas, depois incluir substâncias na lista de vigilância para coleta de dados e, finalmente, avaliar os riscos com base nesses dados para possível regulamentação futura.

A Decisão Delegada (UE) 2024/1441 foi adotada pela Comissão Europeia em 11 de março de 2024, com o objetivo de complementar a Diretiva (UE) 2020/2184, que trata da qualidade da água destinada ao consumo humano.

A Decisão 2024/1441 destaca a necessidade de uma metodologia padronizada para medir microplásticos na água, a fim de compreender melhor sua ocorrência ao longo da cadeia de abastecimento de água e determinar sua concentração, forma, tamanho e composição. A metodologia proposta visa fornecer dados confiáveis e comparáveis, que possam ser usados para futuras avaliações de risco e para a tomada de decisões sobre a qualidade da água.

A Decisão estabelece ainda que a metodologia para medir microplásticos deve ser proporcional, apropriada e eficiente em termos de custos, considerando a complexidade e o custo associado à coleta, análise e documentação dos dados. Também enfatiza a importância de uma abordagem pragmática para reduzir a complexidade dos dados, classificando os microplásticos com base em categorias pré-definidas de tamanho, forma e composição.

O Anexo da Decisão Delegada (UE) 2024/1441 detalha a metodologia para medir microplásticos na água destinada ao consumo humano. A metodologia é dividida em várias etapas, desde a coleta de amostras até a análise e classificação dos microplásticos.

3.2.3. Comparação das normas da Califórnia e da União Europeia

O estado da Califórnia e a União Europeia foram pioneiros na adoção de normas relacionadas aos microplásticos em águas potáveis, mas com estratégias e cronogramas distintos. A Califórnia foi a primeira a estabelecer requisitos específicos de monitoramento através da SB 1422 em 2018, enquanto a União Europeia incluiu os microplásticos em sua abrangente Diretiva 2184, em 2020.

a) Abordagem Regulatória e Status

Na Califórnia, foi adotada uma abordagem legislativa direta (SB 1422) que obriga ações específicas (definição, metodologia, monitoramento) sobre os MP. Essas partículas são tratadas como um contaminante a ser ativamente monitorado e reportado.

Na União Europeia, os MP foram incluídos em uma diretiva mais ampla (2020/2184), que engloba essas partículas na categoria de contaminantes emergentes. Traz uma abordagem mais cautelosa, estabelecendo a necessidade de padronização da medição dos MP visando sua inclusão na lista de vigilância e posteriormente seu monitoramento.

b) Definição para Microplásticos

A legislação da Califórnia considera microplásticos como materiais poliméricos sólidos (incluindo aqueles com aditivos químicos) com dimensões entre 1 nm e 5.000 µm (5 mm), excluindo polímeros naturais não modificados (exceto por hidrólise).

A União Europeia define microplásticos como objetos sólidos, insolúveis em água e compostos parcial ou totalmente por polímeros sintéticos ou naturais quimicamente modificados. Além disso, diferencia entre partículas (com dimensões ≤5 mm e razão comprimento/largura ≤3) e fibras (com comprimento ≤15 mm e razão comprimento/largura >3).

Assim, verifica-se a norma europeia é mais abrangente que a legislação da Califórnia, incluindo distinção entre partículas e fibras. A legislação da Califórnia, por sua vez, estabelece um limite único superior de tamanho (inferior a 5 mm) e inclui um limite inferior de tamanho (partículas maiores que 1 nm).

c) Metodologia de Análise

A legislação da Califórnia adotou métodos padronizados específicos em 2022 (Res. 2022-0032 CSWRCB), detalhados em seus Anexos C (Espectroscopia

de Infravermelho, com capacidade de detecção de partículas >50 µm) e D (Espectroscopia Raman, capaz de identificar partículas >20 µm).

Na União Europeia, a metodologia padronizada foi estabelecida posteriormente, em março de 2024 (Decisão Delegada 2024/1441). Essa metodologia enfatiza uma abordagem pragmática, proporcional e custo-efetiva, classificando MP por categorias pré-definidas de tamanho, forma e composição, além de definir 10 polímeros prioritários (PE, PP, PET, PS, PVC, PA, PU, PMMA, PTFE e PC). Foram definidas como técnicas de analise os métodos de espectroscopia vibracional, como microespectroscopia de infravermelho (µ-FTIR), microespectroscopia Raman (µ-Raman) ou microscopia por infravermelhos com laser de cascata quântica (QCL-IR).

d) Implementação do Monitoramento

Na Califórnia, a legislação implementou um programa de monitoramento obrigatório, iniciado após setembro de 2022, dividido em duas fases: Fase I, de 2023 a 2025, focando em partículas entre com tamanho mínimo de 50 µm na água bruta; e Fase II, de 2026 a 2028, focando em partículas maiores que 5 µm nas águas tratadas.

Na União Europeia, o monitoramento de MP ainda não é obrigatório. Depende ainda da inclusão formal dos MP na lista de vigilância, o que foi viabilizado pela publicação da metodologia padronizada (Decisão Delegada 2024/1441). Porém, para início do monitoramento, será ainda necessária a publicação de uma decisão de execução, incluindo formalmente os MP na lista de vigilância e estabelecendo valores de referência.

As legislações da Califórnia e da Uniao Europeia reconhecem a importância da inclusão das verificações sobre microplásticos nas águas potáveis, a Califórnia adotou uma abordagem mais imediata e específica, enquanto a União Europeia optou por uma estratégia mais abrangente e cautelosa. A experiência californiana pode servir como modelo para outras jurisdições, incluindo o Brasil, especialmente no que se refere à implementação prática de programas de monitoramento. Por outro lado, a abordagem europeia oferece uma visão mais abrangente, incluindo os microplásticos junto a outros contaminantes emergentes, dentro de um contexto mais amplo da segurança da água destinada ao consumo humano.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa analisou a presença de microplásticos em águas potáveis através de uma revisão sistematizada de literatura e realizou o levantamento de normas internacionais sobre o tema, por meio de pesquisa documental. Os resultados obtidos permitiram identificar aspectos relevantes sobre a ocorrência, detecção e regulamentação dos microplásticos, trazendo elementos de debate para abordagem desse problema no contexto brasileiro.

A análise dos 39 estudos selecionados revelou que os microplásticos estão amplamente presentes em águas potáveis ao redor do mundo, com concentrações variando significativamente. Essa ampla variação pode ser atribuída às diferentes metodologias de coleta e análise empregadas, às características regionais dos sistemas de abastecimento e às fontes de contaminação locais. No contexto brasileiro, foram identificados apenas três estudos, evidenciando uma lacuna importante no conhecimento sobre a contaminação por microplásticos nas águas distribuídas à população no Brasil.

O levantamento normativo revelou que apenas duas jurisdições - Califórnia (EUA) e União Europeia - estabeleceram regulamentações específicas para microplásticos em águas potáveis. A Califórnia adotou uma abordagem pioneira, com monitoramento obrigatório já em implementação, enquanto a União Europeia optou por uma estratégia mais cautelosa e integrada, focada inicialmente no desenvolvimento metodológico.

No Brasil, a Portaria GM/MS nº 888/2021 não estabelece limites ou procedimentos específicos para microplásticos, embora exija o monitoramento de cloreto de vinila em redes com tubulações de PVC. Esta lacuna regulatória representa uma oportunidade para o desenvolvimento de normativas adequadas à realidade nacional.

Os resultados desta pesquisa evidenciam que os microplásticos constituem um contaminante emergente que demanda atenção das autoridades brasileiras. A escassez de estudos nacionais sobre o tema ressalta a necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento de capacidade analítica local. Os modelos regulatórios da Califórnia e União Europeia oferecem subsídios relevantes para a elaboração de normativas e podem ser utilizados como fundamentos para uma norma brasileira.

5. AGRADECIMENTOS

Luiz G. H. Mandalho agradece ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua) da Universidade de Brasília e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa. Este capítulo é produto de pesquisas de recursos hídricos desenvolvidas pelo Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL), da Universidade de Brasília. O Grupo de Pesquisa é cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

ANDRADY, A.L. **Microplastics in the marine environment**. Marine Pollution Bulletin, 62(8), 1596-1605, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Do SNIS ao SINISA - Informações para planejar o Abastecimento de Água**. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/cadernos-tematicos/DO_SNIS_AO_SINISA_AGUA_SNIS_2019_REPUBLICACAO_compressed.pdf. Acesso em: 17/05/2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria GM/MS n.º 888, de 04 de maio de 2021**. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 28/09/2024.

BROWNE, M.A. *et al*. **Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks**. Environmental Science & Technology, 45(21), 9175-9179, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1021/es201811s.

CALIFÓRNIA. **Senate Bill No. 1422 CHAPTER 902**. An act to add Section 116376 to the Health and Safety Code, relating to drinking water. Sacramento, California. 2018. Disponível em: https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=201720180SB1422. Acesso em: 29/11/2024.

CALIFORNIA STATE WATER RESOURCES CONTROL BOARD - CSWRCB. **Resolution n.º 2020-0021. Adoption of Definition of 'Microplastics in Drinking Water'**. 2020. Disponível em: https://www.waterboards.ca.gov/board_decisions/adopted_orders/resolutions/2020/rs2020_0021.pdf. Acesso em: 30/11/2024.

CALIFORNIA STATE WATER RESOURCES CONTROL BOARD - CSWRCB. **Resolution n.º 2022-0032 - Adopting a Policy Handbook Establishing a Standard Method of Testing and Reporting of Microplastics in Drinking Water**. 2022. Disponível em: https://www.waterboards.ca.gov/drinking_water/certlic/drinkingwater/documents/microplastics/rs2022-0032.pdf. Acesso em: 30/11/2024.

DANOPOULOS, E.; TWIDDY M.; ROTCHELL, J.M. **Microplastic contamination of drinking water: A systematic review**. PLoS ONE 15(7): e0236838, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236838.

EUROPEAN UNION. **Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament And Of The Council on the quality of water intended for human consumption**. 2020. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184. Acesso em: 28/02/2025.

EUROPEAN UNION. **Commission Delegated Decision (EU) 2024/1441 supplementing Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council by laying down a methodology to measure microplastics in water intended for human consumption**. 2024. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401441. Acesso em: 28/02/2025.

FENDALL, L.S.; SEWELL, M.A. **Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers**. Marine Pollution Bulletin, 58(8), 1225-1228, 2009. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.04.025.

HAN, Z. *et al*. **Occurrence and fate of microplastics from a water source to two different drinking water treatment plants in a megacity in eastern China**. Environmental Pollution, 346 (1), 2024, 123546. 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123546.

HAN, Z. et al. **Occurrence and risk of microplastics and hexabromocyclododecane in urban drinking water systems: From source water to tap water**. Science of the Total Environment 958, 177966, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177966.

HARTMANN, N.B. *et al*. **Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris**. Environmental Science & Technology, 53 (3), 1039-1047, 2019. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.est.8b05297

JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION - JRC, Belz, S., Cella, C., Geiss, O., Gilliland, D., La Spina, Sokull-Kluettgen, B. **Analytical methods to measure microplastics in drinking water.** Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2024. Disponível em: https://data.europa.eu/doi/10.2760/109944.

KARBALAEI, S. *et al*. **Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution**. Environment Science Pollution Research, 25, 36046–36063 (2018). 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-018-3508-7.

KOELMANS, A.A. *et al*. **Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality**. Water Research,155, 410-422, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054.

MANDALHO (2026). **Microplásticos em Água Potável: Evidências Científicas e Avanços Regulatórios**. 2026. 91 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua) – Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, Brasília, 2026.

MUKOTAKA, A.; KATAOKA, T.; NIHEI, Y. **Rapid analytical method for characterization and quantification of microplastics in tap water using a Fourier-transform infrared microscope**. Science of The Total Environment, 790, 148-231, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148231

OßMANN, B.E. **Microplastics in drinking water? Present state of knowledge and open questions**. Current Opinion in Food Science, 41, 44-51, 2021. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.011

PASTOR, C.B.; AGULLÓ, D.V. **Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública**. Rev. Esp. Salud Publica, 93, e201908064, 2019. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10560522.

TEOTÔNIO, M.H.R. **Presença de Microplásticos em Água de Torneira no Plano Piloto uma Região Administrativa de Brasília**. 60 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde). Universiade de Brasília, Brasília, 2020.

TSE, Y.T.; CHAN, S.M.N.; SZE, E.T.P. **Quantitative Assessment of Full Size Microplastics in Bottled and Tap Water Samples in Hong Kong**. International Journal of Environment Research and Public Health,19, 13432, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph192013432.

VETHAAK, A.; LEGLER, J. **Microplastics and human health Knowledge gaps should be addressed to ascertain the health risks of microplastics**. Science, 371, 672-674, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1126/science.abe5041.

YEE, M. S-L. *et al***. Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health**. Nanomaterials, 11, 496, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/nano11020496.

CAPÍTULO 6

FITOPLÂNCTON COMO BIOINDICADOR EM RESERVATÓRIOS DO CERRADO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Data de submissão: 05/06/2026
Data de aceite: 18/06/2026

Maria Júlia Sousa Paes
Graduanda em Ciências Biológicas
Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, DF CEP 70910-900, Brasil
http://lattes.cnpq.br/8979971246413992

Ana Clara Alves da Silva
Graduanda em Ciências Biológicas
Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília, DF CEP 70910-900, Brasil

RESUMO: Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o uso do fitoplâncton como bioindicador em reservatórios do Brasil, com ênfase naqueles do bioma Cerrado. Destacamos a relação do fitoplâncton com a qualidade ambiental, o estado trófico e os efeitos das mudanças climáticas. Foram analisados artigos científicos e dissertações publicados entre 2015 e 2025, selecionados a partir de buscas nas bases Google Acadêmico e SciELO. A literatura indica que a estrutura da comunidade fitoplanctônica é altamente sensível às variações físicas e químicas da água, tornando-se um indicador útil para detectar mudanças ambientais e processos de eutrofização. Ambientes ricos em nutrientes normalmente exibem maior biomassa e dominância de cianobactérias, enquanto sistemas pobres em nutrientes e bem misturados tendem a suportar maior diversidade, incluindo diatomáceas e clorófitas. Nos estudos analisados, observou-se uma predominância de abordagens integradas, indicando uma tendência a interpretar a dinâmica do fitoplâncton através da ligação entre a composição biológica e as variáveis ambientais. Em reservatórios do bioma Cerrado, a sazonalidade climática, associada a pressões antrópicas e às mudanças climáticas, intensifica a variabilidade limnológica e influencia diretamente a dinâmica fitoplanctônica. Os resultados indicam que o fitoplâncton constitui ferramenta eficaz para monitoramento ambiental e suporte à gestão de recursos hídricos em reservatórios no Brasil.
PALAVRAS-CHAVE: qualidade ambiental; lagos; sazonalidade climática; Brasil.

PHYTOPLANKTON AS BIOINDICATOR IN CERRADO RESERVOIRS AND CLIMATE CHANGES

ABSTRACT: This chapter presents a literature review on the use of phytoplankton

as a bioindicator in Brazilian reservoirs, with emphasis on those in the Cerrado biome. We highlight the relationship between phytoplankton, environmental quality, trophic status, and the effects of climate change. Scientific articles and dissertations published between 2015 and 2025 were analyzed, selected through searches in Google Scholar and SciELO databases. The literature indicates that phytoplankton community structure is highly sensitive to physical and chemical variations in water, making it a useful indicator for detecting environmental changes and eutrophication processes. Nutrient-rich environments typically exhibit higher algal biomass and cyanobacterial dominance, while nutrient-poor, well-mixed systems tend to support greater algal diversity, including diatoms and chlorophytes. A predominance of integrated approaches was observed in the analyzed studies, indicating a tendency to interpret phytoplankton dynamics through the linkage between biological composition and environmental variables. In reservoirs of the Cerrado biome, climatic seasonality, combined with anthropogenic pressures and climate change, intensifies limnological variability and directly influences phytoplankton dynamics. The results indicate that phytoplankton is an effective tool for environmental monitoring and water resource management in Brazilian reservoirs.
KEYWORDS: environmental quality; lakes; climatic seasonality; Brazil.

1. INTRODUÇÃO

Os reservatórios desempenham papel fundamental no abastecimento de água, na geração de energia elétrica e na irrigação, além de influenciarem de forma significativa a dinâmica ecológica de onde estão inseridos. Por se tratar de sistemas modificados pela ação antrópica, esses ambientes apresentam elevada variabilidade física, química e biológica, decorrente de fatores como o uso e ocupação do solo, a urbanização e as atividades agrícolas, o que torna essencial o monitoramento contínuo de sua qualidade ambiental (SILVA *et al*., 2023).

Nesse contexto, o uso de indicadores biológicos tem demonstrado ser uma ferramenta eficaz na avaliação do estado ecológico de ecossistemas aquáticos continentais. Organismos aquáticos respondem de maneira integrada às alterações ambientais, refletindo mudanças que nem sempre são detectadas por análises físicas e químicas do ambiente aquático. Entre esses organismos, o fitoplâncton destaca-se por sua elevada sensibilidade às variações ambientais, apresentando respostas rápidas a mudanças nas condições da água, como disponibilidade de nutrientes, temperatura e transparência, o que justifica seu uso como bioindicador da qualidade ambiental (SÁ *et al*., 2019).

No Brasil, estudos envolvendo o fitoplâncton em reservatórios têm se intensificado ao longo das últimas décadas, consolidando esse conjunto de microrganismos como um dos principais componentes biológicos utilizados no monitoramento da qualidade da água. Uma síntese da produção científica nacional indica que variações na composição taxonômica, na abundância e na biomassa fitoplanctônica estão frequentemente associadas a gradientes ambientais e ao estado trófico dos reservatórios, permitindo a identificação de processos como a eutrofização e a dominância de cianobactérias (SILVA, 2020; CARDOSO *et al*., 2017).

Além das abordagens taxonômicas tradicionais, estudos têm incorporado classificações baseadas em grupos funcionais, ampliando a capacidade de interpretação das respostas do fitoplâncton às condições ambientais. Essas abordagens mostraram-se positivas por possibilitar uma compreensão mais integrada do funcionamento ecológico dos reservatórios, ao relacionar características morfológicas e ecológicas das espécies fitoplanctônicas com variáveis ambientais e pressões antrópicas, reduzindo o efeito da substituição de espécies e estabelecendo uma relação mais direta entre as condições ambientais e as respostas biológicas observadas (SILVA *et al*., 2023; CARDOSO *et al*., 2023).

Em reservatórios inseridos no bioma Cerrado, essas relações tornam-se particularmente relevantes em função das características ambientais da região. O Cerrado é marcado pela sazonalidade climática, com períodos definidos de seca e chuva, além de crescente pressão antrópica associada à expansão agrícola e ao uso intensivo do solo. Em reservatórios desse bioma, a estrutura da comunidade fitoplanctônica varia significativamente ao longo do ano, sendo influenciada por fatores como nutrientes, turbidez, temperatura da água e uso da paisagem no entorno dos corpos d'água (SILVA *et al*., 2021).

Além disso, alterações ambientais associadas às mudanças climáticas têm sido discutidas na literatura como fatores capazes de intensificar processos já observados em ecossistemas aquáticos continentais. O aumento da temperatura da água, as mudanças de precipitação e a maior estabilidade da coluna d'água podem favorecer alterações na estrutura do fitoplâncton, incluindo o aumento da biomassa e a dominância de grupos oportunistas, como as cianobactérias, reforçando a importância do monitoramento biológico em reservatórios (SÁ *et al*., 2019).

Dessa forma, este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o uso do fitoplâncton como bioindicador em reservatórios, destacando sua relação com a qualidade da água, o estado trófico e as alterações ambientais discutidas na literatura, com ênfase em estudos realizados no Brasil, incluindo reservatórios inseridos no bioma Cerrado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica sobre o uso do fitoplâncton como bioindicador em reservatórios. A busca por referências foi realizada nas bases de dados Google Acadêmico e Scientific Electronic Library Online (SciELO). Foram utilizadas as palavras-chave “qualidade ambiental”, “reservatórios”, “sazonalidade climática” e “Brasil”, sendo priorizados trabalhos realizados em português e inglês publicados nos últimos dez anos, entre 2015 e 2025, e priorizados os que abordam temas relacionados a ecossistemas aquáticos continentais brasileiros.

Assim, quanto aos critérios de inclusão, foram considerados artigos científicos e dissertações que abordassem a estrutura da comunidade fitoplanctônica, sua relação com variáveis ambientais, o estado trófico dos reservatórios e sua aplicação como ferramenta de monitoramento ambiental através da bioindicação. Da mesma forma, também foram considerados relevantes trabalhos com enfoque em abordagens taxonômicas, funcionais ou integradas do fitoplâncton.

Foram excluídos estudos que abordaram o fitoplâncton em contextos específicos que não possuíam conexão com o seu uso como bioindicador em reservatórios, assim como os que eram relacionados ao tema, mas voltados para ambientes aquáticos situados fora do Brasil. A seleção final das referências baseou-se na pertinência do tema da pesquisa, assim como na contribuição dos estudos para a compreensão do fitoplâncton como indicador de alterações ambientais em reservatórios.

3. FITOPLÂNCTON COMO BIOINDICADOR EM RESERVATÓRIOS

A análise dos estudos selecionados evidencia que o fitoplâncton é amplamente reconhecido como um bioindicador eficiente da qualidade ambiental

em reservatórios. De modo geral, a literatura demonstra que a estrutura da comunidade fitoplanctônica responde de forma rápida e consistente às variações nas condições físicas e químicas da água, como disponibilidade de nutrientes, transparência, temperatura e estabilidade da coluna d'água, permitindo a identificação de diferentes estados ambientais nesses sistemas (SANTOS, 2016; SILVA *et al*., 2023).

A literatura analisada neste capítulo reforça essa tendência observada em sínteses nacionais, evidenciando associação consistente entre a estrutura da comunidade fitoplanctônica e gradientes ambientais e tróficos em reservatórios brasileiros. Estudos realizados em diferentes sistemas aquáticos demonstram que variações na composição taxonômica, abundância e biomassa fitoplanctônica estão diretamente relacionadas à disponibilidade de nutrientes, ao estado trófico e às condições físicas e químicas da água, permitindo a identificação de processos como eutrofização e dominância de cianobactérias (OSTI *et al*., 2023; SILVA *et al*., 2023; OSTI *et al*., 2024; SALGADO *et al*., 2025).

Em concordância com essa tendência, os trabalhos analisados indicam que alterações no estado trófico dos reservatórios refletem-se diretamente na composição, abundância e biomassa do fitoplâncton. Em ambientes submetidos a maior disponibilidade de nutrientes, observa-se, de forma recorrente, a reorganização da comunidade fitoplanctônica, frequentemente marcada pela redução da diversidade e pela dominância de grupos oportunistas, como as cianobactérias, o que caracteriza processos de eutrofização e intensificação da degradação ambiental (SALGADO *et al*., 2025; OSTI *et al*., 2023).

Além disso, os estudos apontam que o fitoplâncton não responde apenas às condições ambientais internas dos reservatórios, mas também às influências externas relacionadas à bacia de drenagem, incluindo o uso e a ocupação do solo no entorno. Dessa forma, a comunidade fitoplanctônica expressa o efeito combinado de fatores que atuam em diferentes escalas espaciais e temporais, reforçando seu potencial como indicador integrado das alterações ambientais em reservatórios (SILVA *et al*., 2023).

Nesse contexto, a utilização do fitoplâncton como bioindicador permite uma avaliação mais abrangente da qualidade da água quando comparada a análises exclusivamente físicas e químicas, uma vez que essas refletem condições pontuais, enquanto os organismos biológicos integram os efeitos cumulativos das

alterações ambientais ao longo do tempo (SÁ *et al*., 2019). Dessa forma, a literatura converge ao indicar que o monitoramento da comunidade fitoplanctônica constitui uma ferramenta eficaz para a identificação precoce de processos de degradação ambiental e para o suporte à gestão de reservatórios.

De forma complementar, a literatura indica que o fitoplâncton pode atuar tanto como indicador de alterações ambientais amplas quanto de processos específicos de eutrofização. Enquanto mudanças na estrutura da comunidade podem refletir variações nas condições físicas e químicas da água, na dinâmica hidrológica e no uso e ocupação do solo, aumentos na biomassa fitoplanctônica e a dominância de determinados grupos, especialmente cianobactérias, estão frequentemente associados ao enriquecimento nutricional e ao avanço do processo de eutrofização em reservatórios (SILVA *et al*., 2023; OSTI *et al*., 2024; SALGADO *et al*., 2025).

Dessa forma, diferentes grupos e táxons fitoplanctônicas apresentam associações recorrentes com determinadas condições de qualidade da água, permitindo sua utilização como indicadores biológicos de alterações ambientais e processos de eutrofização. A Tabela 1 apresenta uma síntese dessas associações com base na literatura analisada, relacionando grupos ou táxons fitoplanctônicos com características ambientais frequentemente observadas em reservatórios.

Tabela 1. Grupos e táxons fitoplanctônicos associados a características de qualidade da água e processos de eutrofização em reservatórios.

GRUPO/ ESPÉCIE	CARACTERÍSTICA AMBIENTAL	LOCAL	REFERÊNCIA
Cianobactérias (ex.: *Microcystis* spp)	Alta disponibilidade de nutrientes, eutrofização, baixa transparência	Reservatório João Leite (Goiás) Reservatório Billings - Região Metropolitana de São Paulo	Salgado et al., 2025; Osti et al., 2024
Cianobactérias potencialmente fixadoras de nitrogênio	Ambientes eutrofizados, maior estratificação da coluna d'água	Reservatório João Leite (Goiás)	Salgado et al., 2025
Diatomáceas (Bacillariophyceae)	Ambientes com maior mistura da coluna d'água e mais oxigenados	Reservatórios do Sistema Cantareira (São Paulo)	Santos, 2016

Clorofíceas (Chlorophyceae)	Condições intermediárias de disponibilidade de nutrientes	Reservatório Billings (São Paulo)	Osti et al., 2023
Alta biomassa fitoplanctônica total	Enriquecimento nutricional e tendência à eutrofização	Reservatórios do Bioma Cerrado (Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal) Reservatório Billings (São Paulo)	Silva, 2023; Osti et al., 2023

Fonte: Elaboração própria (Google Docs, 2026).

O conteúdo apresentado em tabela acima evidencia que diferentes grupos fitoplanctônicos apresentam associações recorrentes com condições específicas de qualidade da água em reservatórios. De modo geral, observa-se que ambientes com maior enriquecimento nutricional e tendência à eutrofização estão frequentemente associados ao aumento da biomassa fitoplanctônica e à dominância de cianobactérias, enquanto condições de menor disponibilidade de nutrientes e maior mistura da coluna d'água tendem a favorecer maior diversidade de grupos fitoplanctônicos. Esses padrões reforçam o potencial do fitoplâncton como ferramenta eficaz para o monitoramento de ambientes aquáticos.

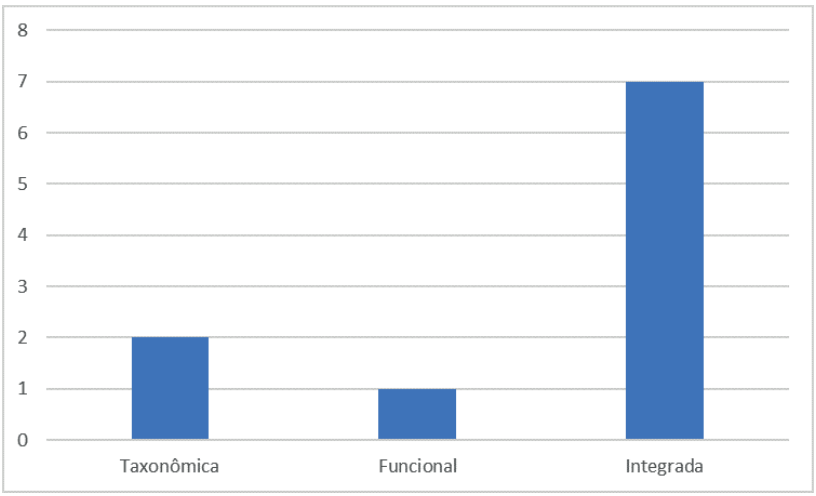
4. ABORDAGEM TAXONÔMICO-FUNCIONAL INTEGRADA NA AVALIAÇÃO DO FITOPLÂNCTON

Para a construção do gráfico apresentado neste tópico, não foram considerados todos os estudos utilizados na composição do capítulo. Foram incluídas apenas as referências que aplicaram explicitamente análises do fitoplâncton baseadas em abordagens taxonômicas, funcionais ou integradas em reservatórios, totalizando 10 estudos. Trabalhos empregados exclusivamente para contextualização ambiental, fundamentação conceitual ou discussão de pressões antrópicas e mudanças climáticas, sem aplicação direta dessas abordagens analíticas ao fitoplâncton, foram mantidos no capítulo como suporte teórico, mas não foram contabilizados no gráfico.

Considerando que os estudos analisados apresentam, em sua maioria, caráter metodológico híbrido quanto à análise do fitoplâncton, a classificação adotada baseou-se na abordagem predominante que orientou a interpretação

dos resultados em cada trabalho. Essa estratégia permite evidenciar tendências na ênfase analítica da literatura, sem desconsiderar a complexidade inerente aos estudos limnológicos contemporâneos.

Figura 1. Distribuição das abordagens metodológicas utilizadas em estudos sobre fitoplâncton como bioindicador em reservatórios. n=10.



Fonte: Elaboração própria (Microsoft Excel, 2026).

Os resultados apresentados na Figura 1 evidenciam a predominância da abordagem integrada nos estudos selecionados, correspondendo a sete das dez referências analisadas. Essa predominância reflete uma tendência consolidada na literatura de interpretar o fitoplâncton como bioindicador a partir da articulação entre a estrutura da comunidade e variáveis físicas, químicas, tróficas, espaciais e de manejo ambiental.

Estudos com esse enfoque demonstram maior capacidade de compreender a resposta do fitoplâncton às múltiplas pressões que atuam sobre os reservatórios artificiais, como eutrofização, alterações hidrológicas e uso e ocupação do solo nas bacias de drenagem, como observado em estudos conduzidos em reservatórios brasileiros que relacionam a dinâmica fitoplanctônica ao estado trófico, à qualidade da água e às características ambientais da bacia de drenagem (ADLOFF *et al*., 2018; OSTI *et al*., 2023; SILVA *et al*., 2023; SALGADO *et al*., 2025).

A abordagem taxonômica aparece como predominante em dois estudos analisados. Nesses trabalhos, a composição e a abundância do fitoplâncton

constituem o eixo central da interpretação ambiental, sendo utilizadas principalmente para a identificação de padrões indicativos de qualidade da água e de estados tróficos distintos. Embora esses estudos também considerem variáveis ambientais, a ênfase recai sobre a estrutura taxonômica da comunidade fitoplanctônica como principal ferramenta de diagnóstico ambiental, como observado em estudos que utilizam a composição de espécies e a biomassa fitoplanctônica para discriminar condições ambientais em reservatórios (SANTOS, 2016; MACÊDO *et al*., 2017).

A abordagem funcional foi identificada como predominante em apenas um dos estudos selecionados. Esse resultado indica que, apesar do reconhecido potencial das classificações funcionais para sintetizar estratégias ecológicas e reduzir o efeito da substituição de espécies, essa abordagem ainda é menos explorada como eixo interpretativo principal nos estudos sobre reservatórios (SOUSA *et al*., 2025).

Essa menor frequência pode estar relacionada ao fato de que a aplicação da abordagem funcional depende, em muitos casos, de uma base taxonômica prévia consistente e de classificações ecológicas consolidadas, além de demandar maior nível de detalhamento ecológico e disponibilidade de informações sobre traços funcionais das espécies. No entanto, sua aplicação evidencia possibilidades relevantes para análises mais integradas e preditivas da dinâmica fitoplanctônica, especialmente em estudos que relacionam estratégias ecológicas dos organismos às condições ambientais e à presença de macrófitas aquáticas (SOUSA *et al*., *op. cit*.).

De modo geral, a distribuição das abordagens metodológicas observada no gráfico reforça que a avaliação do fitoplâncton em reservatórios tem evoluído para análises cada vez mais integradas, acompanhando a complexidade ambiental desses sistemas. A predominância da abordagem integrada evidencia a necessidade de considerar simultaneamente diferentes dimensões do ecossistema aquático para uma interpretação mais robusta da qualidade ambiental e para o aprimoramento das estratégias de monitoramento e gestão dos recursos hídricos.

5. PARTICULARIDADES DE RESERVATÓRIOS NO BIOMA CERRADO

Os reservatórios inseridos no bioma Cerrado apresentam características ambientais específicas que influenciam diretamente a estrutura e a dinâmica

da comunidade fitoplanctônica. A forte sazonalidade climática, marcada por períodos bem definidos de seca e chuva, resulta em variações significativas nos níveis de nutrientes, na turbidez da água e na estabilidade da coluna d'água, fatores que modulam a composição e a abundância do fitoplâncton ao longo do ano (SILVA *et al*., 2023).

Além da sazonalidade climática, o Cerrado é um bioma submetido a intensas pressões antrópicas, especialmente relacionadas à expansão agrícola, ao uso intensivo do solo e à ocupação das bacias de drenagem. Essas pressões contribuem para o aumento do aporte de nutrientes aos reservatórios, favorecendo processos de eutrofização e alterações na estrutura da comunidade fitoplanctônica (PADOVESI-FONSECA *et al*., 2015; SALGADO *et al*., 2025).

Os estudos realizados em reservatórios do Cerrado indicam que o fitoplâncton responde de maneira sensível a essas condições, apresentando variações sazonais na composição e na biomassa, o que reforça sua aplicabilidade como bioindicador nesse bioma. Dessa forma, o monitoramento de algas em reservatórios do Cerrado permite identificar padrões associados tanto à dinâmica climática natural quanto às intervenções antrópicas, contribuindo para a avaliação ambiental e a gestão sustentável dos recursos hídricos da região (SILVA *et al*., 2023; FIGUEIREDO, 2014).

Em escala regional, essas dinâmicas também são observadas em reservatórios do Distrito Federal. No período seco, a redução do volume hídrico favorece a concentração de nutrientes e o aumento da biomassa das algas, enquanto, no período chuvoso, o maior aporte de material orgânico de origem externa e a maior mistura da coluna d'água alteram a estrutura da comunidade fitoplanctônica (PHILOMENO, 2007).

Estudos no Lago Paranoá demonstram que variações na disponibilidade de nutrientes e nas condições físicas e químicas da água resultam em mudanças na dominância de grupos de algas planctônicas, sendo observada maior ocorrência de cianobactérias em períodos de maior estabilidade da coluna d'água e maior disponibilidade de nutrientes. Por sua vez, períodos com maior mistura e menor enriquecimento nutricional tendem a favorecer maior diversidade dessas algas, como diatomáceas e clorofíceas, evidenciando a sensibilidade dessas comunidades às alterações ambientais em reservatórios do Cerrado (PHILOMENO, *op.cit*.).

6. O FITOPLÂNCTON DE RESERVATÓRIOS E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A literatura analisada demonstra que as mudanças climáticas, a partir das alterações no regime térmico, nos padrões de precipitação e na dinâmica hidrológica, possuem grande papel na alteração da dinâmica ecológica em ecossistemas aquáticos continentais, incluindo reservatórios. Devido a isso, influenciam diretamente a qualidade da água e a estrutura das comunidades biológicas, especialmente do fitoplâncton, que responde de forma rápida às variações ambientais.

Com as mudanças climáticas, o aumento da temperatura da água associado a períodos mais prolongados de estabilidade da coluna d'água tende a favorecer o desenvolvimento de grupos fitoplanctônicos oportunistas, como as cianobactérias, especialmente em sistemas já submetidos ao enriquecimento nutricional. Além disso, alterações nos regimes de precipitação podem modificar a presença de nutrientes e material orgânico proveniente da bacia de drenagem, influenciando a disponibilidade de recursos e a estrutura da comunidade fitoplanctônica (SÁ et al., 2019).

Em reservatórios inseridos no bioma Cerrado, esses efeitos tornam-se particularmente relevantes devido à forte sazonalidade climática da região. A intensificação de eventos extremos, como períodos prolongados de seca ou chuvas intensas, pode alterar a estabilidade térmica, o tempo de residência da água e a concentração de nutrientes, promovendo mudanças na biomassa e na composição fitoplanctônica (SÁ *et al*., 2019; SILVA *et al*., 2023).

Nesse contexto, embora pressões antrópicas como urbanização, agricultura e lançamento de efluentes continuem desempenhando papel relevante, as mudanças climáticas atuam como fator modulador e intensificador desses impactos, potencializando processos como eutrofização e florações de cianobactérias, especialmente em reservatórios com elevado tempo de residência da água (OSTI *et al*., 2024; SALGADO *et al*., 2025).

Assim, a predominância de abordagens integradas observadas na literatura evidencia a necessidade de considerar simultaneamente, além das variáveis físicas, químicas e biológicas na avaliação da qualidade ambiental de reservatórios, devemos associá-las às mudanças climáticas vigentes na atualidade. Nesse cenário, o uso do fitoplâncton como bioindicador mostra-se particularmente

relevante por permitir a integração dos efeitos dessas pressões ao longo do tempo, contribuindo para o monitoramento ambiental e para a gestão adaptativa dos recursos hídricos (SANTOS, 2016; SILVA *et al*., 2023).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da revisão bibliográfica realizada, foi possível evidenciar a relevância do fitoplâncton como bioindicador da qualidade ambiental em reservatórios. Os estudos analisados demonstram que a estrutura da comunidade fitoplanctônica responde de forma sensível e consistente às variações nas condições físicas, químicas e tróficas da água. Com reflexos tanto a processos naturais quanto impactos decorrentes de pressões antrópicas, como a presença excessiva de nutrientes e alterações no uso e ocupação do solo.

A análise das abordagens metodológicas empregadas nos trabalhos selecionados revelou a predominância de estudos com enfoque integrado, os quais articulam informações taxonômicas, funcionais e variáveis ambientais na interpretação dos padrões observados. Esse resultado indica uma tendência da literatura em reconhecer a complexidade dos reservatórios e a necessidade de avaliações que considerem múltiplas dimensões do ecossistema.

Para além disso, a partir da identificação da predominância da abordagem integrada, a qual demonstrou a importância e a necessidade de uma análise o mais completa e diversificada possível para maior compreensão e precisão da composição fitoplanctônica, também é possível concluir a importância da utilização dessa comunidade como ferramenta para a bioindicação, visto que as pesquisas demonstram sua eficácia, sensibilidade e contribuição para um monitoramento completo e eficaz da qualidade da água em ecossistemas aquáticos, especialmente em reservatórios.

Observou-se também que as abordagens taxonômicas continuam desempenhando papel central na avaliação do fitoplâncton, especialmente na identificação de padrões de composição, abundância e dominância de grupos indicativos de eutrofização, como as cianobactérias. Por outro lado, a abordagem funcional, embora apresente elevado potencial interpretativo ao sintetizar estratégias ecológicas das espécies, ainda é menos explorada como eixo principal de análise nos estudos revisados, indicando uma lacuna a ser aprofundada em pesquisas futuras.

No contexto brasileiro, destacam-se as particularidades ambientais de reservatórios inseridos em diferentes biomas, como o Cerrado, onde a sazonalidade climática e a intensificação das atividades antrópicas influenciam diretamente a dinâmica fitoplanctônica. Esses fatores reforçam a importância do monitoramento contínuo do fitoplâncton como ferramenta de apoio à gestão e à conservação dos recursos hídricos, especialmente em ambientes altamente modificados.

Dessa forma, conclui-se que o uso do fitoplâncton como bioindicador em reservatórios constitui uma abordagem eficaz para a avaliação da qualidade da água e do estado ecológico desses sistemas. A integração de diferentes tipos de análise emerge como uma estratégia metodológica promissora, capaz de fornecer subsídios mais completos para o monitoramento ambiental e para a tomada de decisão na gestão sustentável dos ecossistemas aquáticos continentais.

8. AGRADECIMENTOS

Este capítulo é produto de atividade desenvolvida na disciplina Limnologia, nível graduação, Universidade de Brasília, ministrada pela Profa. Dra. Claudia Padovesi Fonseca, no período de verão de 2026. A professora é líder do Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL), cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

ADLOFF, C.T. *et al*. **Analysis of the phytoplankton community emphasizing cyanobacteria in four cascade reservoirs system of the Iguazu River, Paraná, Brazil**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 23, e6, 2018.

CARDOSO, A.S. *et al*. **Análise da presença do fitoplâncton em bacia integrante do Projeto de Integração do Rio São Francisco, região semiárida, Nordeste brasileiro**. Engenharia Sanitária e Ambiental, 22 (21), 261-269, 2017.

CARDOSO, A.S. *et al*. **Monitoramento da comunidade fitoplanctônica como ferramenta para gestão sustentável da água em bacia integrante do projeto de integração do Rio São Francisco.** Humanidades & Inovação, 10 (8), 353-365, 2023.

FIGUEIREDO, D.M.; CRUZ-FANTIN, R. **Diretrizes para a elaboração e execução de programas de monitoramento da qualidade da água em pequenos reservatórios hidrelétricos**. Revista de Engenharia e Gestão Ambiental (REGA), 11(1), 45-57, 2014.

PADOVESI-FONSECA, C.; MARTINS-SILVA, M.J.; PUPPIN-GONÇALVES, C.T. **Cerrado's areas as a reference analysis for aquatic conservation in Brazil**. Biodiversity Journal, 6, 805-816, 2015.

MACÊDO, I.M.E.; *et al*. **Relação fitoplâncton–zooplâncton em ambiente oligotrófico**. Revista Brasileira de Geografia Física, 10(5), 1368-1376, 2017.

OSTI, J.A.; *et al*. **Diversidade fitoplanctônica e estado trófico como indicadores da qualidade das águas do reservatório Billings**. Sustentare & Wipis, 1-16, 2023.

OSTI, J.A.; *et al*. **Aplicabilidade dos índices de diversidade fitoplanctônica e do estado trófico como indicadores de eutrofização nas áreas do braço do Rio Grande e Corpo Central do reservatório Billings**. Research, Society and Development, 13 (2), e1613244937, 2024.

PHILOMENO, M. G. **A comunidade fitoplanctônica e a restauração do Lago Paranoá, Brasília-DF**. 2007. Tese Doutorado (Pós-graduação em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília – DF, 223pp, 2007.

SÁ, J.F. de M.; *et al*. **Indicadores biológicos de qualidade da água e as mudanças climáticas**. Revista Brasileira de Geografia Física, 12 (6), 2140–2154, 2019.

SALGADO, R.L.; *et al*. **Water quality dynamics in cyanobacterial control in Brazilian Cerrado reservoir**. Sustainability, 17 (21), 9537, 2025.

SANTOS, F.A. **O fitoplâncton como discriminador ambiental dos reservatórios do Sistema Cantareira (SP)**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 128pp., 2016.

SILVA, F.R.S.; *et al*. **Phytoplankton functional groups in shallow aquatic ecosystems**. Acta Limnologica Brasiliensia, 33, e24, 2021.

SILVA, L.B.; *et al*. **Local and regional determinants of phytoplankton communities in water reservoirs from the Cerrado biome.** Acta Limnologica Brasiliensia, 35, e1, 2023.

SILVA, M.J.L. **Tendências e padrões em quarenta anos de pesquisas sobre ecologia do fitoplâncton em reservatórios brasileiros**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. https://doi.org/10.1590/S2179-975X5021

SOUSA, E.B. *et al*. **Effects of aquatic macrophytes on phytoplankton in a shallow tropical reservoir (Amazon, Brazil)**. Biota Neotropica, 25(2), e20241698, 2025.

CAPÍTULO 7

DIVERSIDADE DE ZOOPLÂNCTON EM RESERVATÓRIOS NO BIOMA CERRADO

Data de submissão: 05/06/2026
Data de aceite: 18/06/2026

Ana Clara Guedes de Souza
Graduanda em Biotecnologia
Universidade de Brasília (UnB)
Experiências em técnicas de Criopreservação e Preservação da Fertilidade Animal
Atua no Laboratório de Endocrinofisiologia Reprodução Humana e Animal (LEFRAH) do Departamento de Ciências Fisiológicas (CFS)
Instituto de Ciências Biológicas (ICB)
UnB

Vitória Araujo Martins
Biotecnologista e Graduanda em Ciências Biológicas
Universidade de Brasília (UnB)
Possui trajetória em P&D na Embrapa (Nanobiotecnologia)
Atua na Inovação Alimentar e Economia Circular
Desenvolvendo Alimentos Plant-based via Impressão 3D e Embalagens Biodegradáveis

RESUMO: O bioma Cerrado abriga uma expressiva variedade de ecossistemas aquáticos, e ainda há lapsos de conhecimento de sua diversidade biológica. O zooplâncton dessas águas desempenha papel relevante nas teias alimentares, sendo o elo intermediário entre os produtores primários e os consumidores. Esse grupo também apresenta elevada sensibilidade às variações físicas e químicas da água, sendo amplamente utilizado como bioindicador de alterações ambientais e estados tróficos. Os reservatórios artificiais são corpos d'água com características limnológicas que favorecem o desenvolvimento do zooplâncton. Este capítulo tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a diversidade de zooplâncton em reservatórios situados no bioma Cerrado, e de que forma variáveis limnológicas influenciam na composição e na riqueza desse grupo biológico. A revisão foi conduzida a partir de estudos publicados entre 2016 e 2026, com foco em reservatórios localizados em Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Tocantins e Bahia. Os resultados evidenciam que a sazonalidade hidrológica do Cerrado atua como principal regulador da dinâmica zooplanctônica, com maior densidade numérica e riqueza observadas durante o período seco, quando a transparência da água é mais elevada. Reservatórios com

melhor gestão ambiental, como o Lago Paranoá, apresentaram maior riqueza de espécies. Ambientes mais instáveis ou eutrofizados mostraram predomínio de espécies oportunistas, especialmente rotíferos. As análises comparativas indicam ainda uma conectividade biológica relevante entre reservatórios de diferentes regiões analisadas, reforçando a importância do zooplâncton como ferramenta estratégica para o biomonitoramento e o manejo sustentável dos recursos hídricos no Cerrado.
PALAVRAS-CHAVE: microcrustáceos; rotíferos; lagos artificiais; Brasil.

ZOOPLANKTON DIVERSITY IN RESERVOIRS OF THE CERRADO BIOME

ABSTRACT: The Cerrado biome harbors a remarkable variety of aquatic ecosystems, and there are still gaps in the knowledge of its biological diversity. The zooplankton of these waters plays an important role in food webs, acting as an intermediate link between primary producers and consumers. This group also shows high sensitivity to physical and chemical variations in water, and is widely used as a bioindicator of environmental changes and trophic status. Artificial reservoirs are bodies of water with limnological characteristics that favor the development of zooplankton. This chapter aims to review the literature on zooplankton diversity in reservoirs located in the Cerrado biome and how limnological variables influence the composition and richness of this biological group. The review was conducted based on studies published between 2016 and 2026, focusing on reservoirs located in the Federal District, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Tocantins, and Bahia. The results show that the hydrological seasonality of the Cerrado acts as the main regulator of zooplankton dynamics, with higher numerical density and richness observed during the dry season, when water transparency is higher. Reservoirs with better environmental management, such as Lake Paranoá, showed greater species richness. More unstable or eutrophic environments showed a predominance of opportunistic species, especially rotifers. Comparative analyses also indicate a relevant biological connectivity between reservoirs in different regions analyzed, reinforcing the importance of zooplankton as a strategic tool for biomonitoring and sustainable management of water resources in the Cerrado.
KEYWORDS: microcrustaceans; rotifers; artificial lakes; Brazil.

1. INTRODUÇÃO

A elevada biodiversidade do Cerrado contrasta com o reduzido conhecimento científico sobre sua biota aquática (PADOVESI-FONSECA, 2005). Nesse contexto, o estudo do zooplâncton de águas cerratenses é vital por seu papel na teia alimentar e sensibilidade a mudanças ambientais (VIEIRA *et al*., 2026). A expansão agrícola e a construção de hidrelétricas alteram drasticamente essas comunidades ao transformar ambientes lóticos em lênticos,

resultando em perda de habitats e redução de espécies nativas. Assim, analisar essa biodiversidade é crucial para estratégias de conservação em sistemas impactados (ARANTES *et al*., 2019).

A dinâmica zooplanctônica é regulada pela sazonalidade do bioma, onde o regime de chuvas altera a turbidez e a oxigenação, selecionando a biota local (VIEIRA *et al*., *op. cit*.). Compreender as características funcionais desses grupos permite identificar como a transferência de energia sustenta as teias alimentares (DOS SANTOS *et al*., 2023). tornando o zooplâncton um bioindicador indispensável para diagnosticar distúrbios como a eutrofização (PADOVESI-FONSECA *et al*., 2011).

Dessa maneira, este capítulo objetiva levantar informações sobre a biodiversidade de zooplâncton em reservatórios do Cerrado e como variáveis físico-químicas influenciam essa variabilidade. A estrutura abordará a sazonalidade regional, ecologia dos grupos e um comparativo da diversidade entre diferentes estados sob influência do bioma (PADOVESI-FONSECA *et al*., *op. cit*.).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A revisão bibliográfica sobre a diversidade de zooplâncton em reservatório no bioma Cerrado entre o ano de 2016 a 2026, foi realizada por meio de uma busca de trabalhos científicos nos sites Google Acadêmico, *Acta Limnologica Brasiliensia* e *Scielo*. Na pesquisa foram utilizadas as palavras-chave: zooplankton; zooplâncton; diversidade; reservatórios, Cerrado, e a busca pelos trabalhos teve início no mês de janeiro de 2026 e se estendeu até o mês de fevereiro de 2026.

Após o levantamento, os dados foram organizados envolvendo de forma abrangente os tópicos e posteriormente separado e discutido com dados e comparações em tabelas contendo suas classificações.

Os reservatórios escolhidos em cada estado foram os de maior impacto considerando a utilização deles tanto para fins domésticos quanto para a geração de energia. Sendo levado em consideração também a relevância científica e contribuições na literatura já preexistentes.

Para facilitar a formatação das referências, coesão e coerência dos textos e ajudar nos cálculos de semelhança entre as espécies de cada grupo, foi utilizada a Inteligência Artificial (IA) Gemini Pro e Chatgpt (https://openai.com/). Essas ferramentas foram utilizadas em fevereiro de 2026.

3. ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS DO CERRADO E COMUNIDADE ZOOPLANCTÔNICA

O Cerrado brasileiro, embora seja o segundo maior bioma do país, possui atualmente apenas 47% de sua vegetação natural primária preservada (TERRACLASS, 2024). Conhecido como o "Coração das águas", o bioma abriga em seu território oito das doze principais bacias hidrográficas que abastecem o Brasil, desempenhando um papel crucial no equilíbrio hídrico nacional (WWF BRASIL, 2024). As águas da região apresentam características físico-químicas peculiares, como uma acidez natural com pH variando entre 5,3 e 7,6 (PADOVESI-FONSECA, 2005), além de baixa disponibilidade de nutrientes e alta transparência durante o período de estiagem.

Essa dinâmica é regida pelo regime de chuvas, que atua como o principal regulador biológico, elevando a turbidez e a condutividade elétrica enquanto reduz a transparência da água durante a estação chuvosa (PADOVESI-FONSECA *et al*., 2023). Tais variações sazonais impactam diretamente a biota, favorecendo uma maior densidade do zooplâncton em períodos secos de águas límpidas, enquanto ambientes lóticos tendem a apresentar menor riqueza devido ao arraste constante e à instabilidade do substrato (OLIVEIRA & MARTINS-SILVA, 2008; VIEIRA *et al*., 2026).

A comunidade zooplanctônica, composta por organismos heterótrofos de vida livre, desempenha funções ecológicas imprescindíveis, como a transferência de energia entre produtores primários e consumidores de níveis superiores através da herbivoria (POMARI *et al*., 2018; DOS SANTOS *et al*., 2023). Em ecossistemas de água doce, essa comunidade é dominada por três grupos principais: Cladocera, Copepoda e Rotifera (WETZEL & LIKENS, 2000).

Os cladóceros, caracterizados pela carapaça bivalve, são frequentemente encontrados em corpos d'água oligotróficos onde atuam como filtradores herbívoros (ROCHA *et al*., 2011). Os copépodos, por sua vez, destacam-se pelo tamanho superior e pela sensibilidade aos níveis de eutrofização, servindo como bioindicadores estratégicos, especialmente a ordem Cyclopoida, composta por espécies carnívoras (WILLIAMSON & REID, 2001; SANTOS-WISNIEWSKI & ROCHA, 2007; ESTEVES, 2011). Os rotíferos representam o grupo mais diverso e tolerante, possuindo alta capacidade de colonização e dispersão, o que resulta

em grandes densidades em ambientes mesotróficos e eutróficos (SOARES & ELMOOR-LOUREIRO, 2011).

Devido à sua sensibilidade a variáveis como oxigênio dissolvido e pH, a ocorrência e abundância dessas espécies são amplamente utilizadas para o biomonitoramento de alterações ambientais (SINGH *et al*., 2013; MANTOVANO *et al*., 2019). Estudos em reservatórios do bioma demonstram que a melhoria na qualidade da água e a redução de nutrientes promovem um aumento expressivo na riqueza de espécies, permitindo o uso de índices biológicos, como o Calanoida/Cyclopoida, para classificar o estado trófico dos ecossistemas (TUNDISI *et al*., 1993; PADOVESI-FONSECA *et al*., 2011). A atividade de filtração exercida por esses organismos não apenas sustenta as teias alimentares, mas também regula a densidade fitoplanctônica, auxiliando na redução de cianobactérias (VON RÜCKERT & GIANI, 2008; HAYASHI-MARTINS *et al*., 2017).

Dessa forma, a biota aquática do Cerrado é intrinsecamente ligada à alternância sazonal, onde sistemas eutróficos favorecem organismos oportunistas como os rotíferos (GAZONATO NETO *et al*., 2014), enquanto sistemas oligotróficos e estáveis tendem a sustentar copépodes e cladóceros de maior porte, consolidando o zooplâncton como uma ferramenta essencial para o manejo sustentável dos recursos hídricos (PICAPEDRA *et al*., 2021).

4. DIVERSIDADE DE ZOOPLÂNCTON EM RESERVATÓRIOS DO CERRADO

O zooplâncton foi analisado em reservatórios de seis regiões (cinco estados e o Distrito Federal), todos inseridos no bioma Cerrado, cujas referências por região são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Reservatórios que foram utilizados durante a pesquisa de diversidade de zooplâncton.

Região	**Reservatório**	**Referências**
Distrito Federal	Descoberto, Santa Maria e Lago Paranoá	VIEIRA *et al*. (2026); STARLING (2000); CAESB (2026); PHILOMENO (2007); PEREIRA (2005); PADOVESI-FONSECA *et al*. (2011)
Goiás	Serra da Mesa	MISSIAS *et al*. (2017); FURNAS (2024)
Mato Grosso	Manso	PAES (2017); ALHO (2000); BALASSA *et al*. (2004)
Minas Gerais	Furnas	SOUZA *et al*. (2013)

Tocantins	Luiz Eduardo Magalhães (Lajeado)	PEREIRA (2005)
Bahia	Olhos D'água do Souza	DE ARAÚJO & NOGUEIRA (2017)

A estrutura das comunidades zooplanctônicas nos reservatórios influenciados pelo Cerrado é um reflexo direto da interação entre o estado trófico, a hidrodinâmica e as estratégias de manejo de cada bacia (PADOVESI-FONSECA *et al.*, 2011; MANTOVANO *et a*l., 2019). No Distrito Federal, essa heterogeneidade é evidente ao comparar o Rio Descoberto, marcado por uma instabilidade sazonal onde a alta turbidez e o carreamento de sedimentos no período chuvoso limitam severamente a riqueza taxonômica (SILVA *et al*., 2009; VIEIRA *et al.*, 2026), com o Reservatório de Santa Maria. Este último, por estar inserido em uma unidade de conservação integral com intervenção humana mínima, sustenta um ambiente oligotrófico estável que preserva uma diversidade característica de sistemas menos perturbados (STARLING, 2000; CAESB, 2026). Em contraste, o Lago Paranoá exemplifica como intervenções antrópicas positivas, como o tratamento terciário de esgotos, podem reestruturar a biota aquática, resultando em uma expressiva riqueza de espécies, especialmente de rotíferos, após a superação de estados de eutrofização intensa (PHILOMENO, 2007; PADOVESI-FONSECA *et al*., 2011).

Essa relação entre qualidade ambiental e biodiversidade se estende aos grandes sistemas hidrelétricos do bioma, como Serra da Mesa e Manso, onde o longo tempo de residência hídrica e processos geoquímicos específicos moldam a comunidade (PAES, 2017; FURNAS, 2024). No reservatório de Manso, por exemplo, o sequestro natural de fósforo em sedimentos ricos em ferro limita a produtividade primária, mantendo o sistema em condições de mesotrofia ou oligotrofia que favorecem uma das maiores diversidades zooplanctônicas entre os ambientes estudados (ALHO, 2000; FIGUEIREDO & BIANCHINI, 2008). Por outro lado, a Usina Hidrelétrica de Furnas mantém características de baixa produtividade e concentrações de nutrientes típicas de ambientes não perturbados, o que se traduz em uma riqueza taxonômica mais modesta, porém indicativa de boa qualidade de água (SOUZA *et al*., 2013).

A dinâmica se altera em sistemas com maior instabilidade física ou carga orgânica, como observado no reservatório de Lajeado e em Olhos D'Água do Souza.

No Lajeado, a pequena profundidade aliada à alta vazão cria um ecossistema dinâmico onde predominam organismos oportunistas e r-estrategistas, como certas famílias de rotíferos e o cladócero Bosminopsis deitersi, capazes de colonizar rapidamente ambientes sujeitos a distúrbios frequentes (PEREIRA, 2005). Cenário semelhante de dominância por espécies tolerantes ocorre no reservatório natural baiano, onde a baixa pluviometria e a tendência à eutrofização selecionam rotíferos em detrimento de microcrustáceos mais sensíveis (DE ARAÚJO, 2017). Assim, a biodiversidade funcional do Cerrado revela-se intrinsecamente ligada à integridade das bacias hidrográficas, evidenciando que tanto a estabilidade física quanto a gestão nutricional são determinantes para a complexidade das teias alimentares aquáticas (DOS SANTOS *et al*., 2023; VIEIRA *et al*., 2026).

Tabela 2. Número de táxons de Rotifera em cada reservatório.

GRUPO	NÚMERO DE TÁXONS	RESERVATÓRIO	REGIÃO	FONTE
ROTIFERA	10	Rio Descoberto	DF	STARLING (2000)
	8	Santa Maria	DF	STARLING (2000)
	71	Lago Paranoá	DF	PADOVESI-FONSECA *et al.* (2011), STARLING (2000)
	27	Serra da Mesa	GO	MISSIAS, *et al*. (2017)
	46	Rio Manso	MT	PAES (2017), ALHO (2000), BALASSA *et al*. (2004).
	3	Furnas	MG	SOUZA *et al.* (2013)
	53	Lajeado	TO	PEREIRA (2005)
	22	Olhos D'água	BA	DE ARAÚJO & NOGUEIRA (2017)

Tabela 3: Número de táxons de Copepoda em cada reservatório.

GRUPO	NÚMERO DE TÁXONS	RESERVATÓRIO	REGIÃO	FONTE
COPEPODA	3	Rio Descoberto	DF	STARLING (2000)
	2	Santa Maria	DF	STARLING (2000)
	2	Lago Paranoá	DF	STARLING (2000)
	2	Serra da Mesa	GO	MISSIAS, *et al*. (2017)

	11	Rio Manso	MT	PAES (2017), ALHO (2000), BALASSA *et al*. (2004).
	5	Furnas	MG	SOUZA *et al.* (2013)
	8	Lajeado	TO	PEREIRA (2005)
	2	Olhos D'água	BA	DE ARAÚJO & NOGUEIRA (2017)

Tabela 4: Número de táxons de Cladocera em cada reservatório.

GRUPO	NÚMERO DE TÁXONS	RESERVATÓRIO	REGIÃO	FONTE
CLADOCERA	3	Rio Descoberto	DF	STARLING (2000)
	4	Santa Maria	DF	STARLING (2000)
	6	Lago Paranoá	DF	STARLING (2000)
	12	Serra da Mesa	GO	MISSIAS, *et al*. (2017)
	22	Rio Manso	MT	PAES (2017), ALHO (2000), BALASSA *et al.* (2004).
	4	Furnas	MG	SOUZA *et al.* (2013)
	31	Lajeado	TO	PEREIRA (2005)
	1	Olhos D'água	BA	DE ARAÚJO & NOGUEIRA (2017)

A análise comparativa da riqueza taxonômica revela discrepâncias entre os sistemas estudados, frequentemente associadas ao estado trófico e ao nível de intervenção em cada reservatório (vide tabelas 2, 3 e 4). O Lago Paranoá (DF) destaca-se com a maior diversidade de Rotifera, apresentando 71 táxons, o que reflete o sucesso de intervenções de manejo, como o tratamento terciário de esgotos, que elevaram a qualidade ambiental do sistema. Em contrapartida, sistemas como o de Furnas (MG) apresentam valores significativamente menores, com apenas 3 táxons de rotíferos registrados. O reservatório Olhos D'água do Souza (BA) apresenta uma riqueza intermediária, com 22 táxons de rotíferos, aproximando-se da diversidade encontrada em sistemas de estados vizinhos. O reservatório de Manso (MT) também se sobressai como um dos ambientes mais diversos, abrigando 46 táxons de rotíferos, 11 de copépodos e 22 de cladóceros, consolidando-se como um sistema de alta biodiversidade entre os reservatórios analisados no bioma Cerrado.

No que diz respeito à similaridade entre as regiões, as matrizes de táxons coincidentes indicam uma conectividade biológica variável entre os estados sob influência do Cerrado. Para o grupo Rotifera, a maior afinidade em termos de número de táxons compartilhados foi observada entre o Distrito Federal e o Tocantins, que compartilham 22 táxons (24,8% do total de rotíferos do DF e 41,50% do total de rotíferos do TO), e entre Mato Grosso e Tocantins, que também compartilham 22 táxons (47,83% do total de rotíferos do MT e 41,5% do total do TO) (Tabela 5).

Ademais, nota-se que a proximidade geográfica nem sempre dita a similaridade taxonômica: o Distrito Federal, apesar de fronteiriço ao estado de Goiás, compartilha com este apenas 10 táxons (11,2% do total de rotíferos do DF e 37,03% do total de rotíferos do GO), apresentando uma semelhança mais expressiva com o Mato Grosso, com quem compartilha 21 táxons (23,59% do total de rotíferos do DF), além do já mencionado compartilhamento com o Tocantins (Tabela 5).

Contudo, vale ressaltar que os Cladocera, de forma geral, possuem baixa diversidade e densidade nos sistemas amostrados. Para este grupo, o maior de táxons compartilhados ocorre entre o Mato Grosso e o Tocantins, com 9 espécies em comum (40,90% do total de Cladocera do MT e 41,5% do total de Cladocera do TO), seguidos pela relação entre Goiás e Tocantins, que compartilham 8 táxons (53,33% do total de Cladocera do GO e 25,80% do total de Cladocera do TO) (Tabela 6). Essa baixa representatividade geral pode ser explicada por sua especificidade reprodutiva, uma vez que a reprodução ocorre obrigatoriamente em pares, diferentemente de outros grupos que possuem estratégias mais aceleradas (WILLIAMSON & REID, 2001) (Tabela 6).

Para os Copepoda a interação mais expressiva ocorre entre o Mato Grosso e o Tocantins, com uma coincidência de seis táxons, o que representa 54,54% de similaridade para o Mato Grosso e 75% para o Tocantins, destacando um forte compartilhamento de espécies entre esses estados (Tabela 7). Além disso, a dificuldade de transição entre ambientes aquáticos isolados contribui para a baixa similaridade observada entre estados mais distantes ou com sistemas hidrográficos menos conectados, como Minas Gerais e Bahia, que apresentaram apenas um táxon coincidente nos três grupos.

Essas variações reforçam que, embora o regime de chuvas e a acidez natural do bioma atuem como reguladores gerais, as características locais de cada

reservatório e seu estado de conservação são determinantes para a estruturação dessas comunidades biológicas.

Tabela 5: Matriz de táxons coincidentes para o grupo Rotifera (n - %) entre os reservatórios dos estados sob influência do bioma Cerrado.

ROTIFERA	Distrito Federal	Goiás	Mato Grosso	Minas Gerais	Tocantins	Bahia
Distrito Federal	X	10 (11,2%)	21 (23,59%)	1 (1,12%)	22 (24,8%)	10 (11,23%)
Goiás	10 (37,03%)	X	12 (44,44%)	1 (3,7%)	15 (55,6%)	2 (7,4%)
Mato Grosso	21 (45,65%)	12 (26,1%)	X	1 (2,7%)	22 (47,82%)	3(6,52%)
Minas Gerais	1 (33,33%)	1 (33,33%)	1 (33,33%)	X	2 (66,66%)	0 (0,0%)
Tocantins	22 (41,50%)	15 (28,3%)	22 (41,5%)	2 (3,77%)	X	5 (5,66%)
Bahia	10 (45,45%)	2 (9,09%)	3 (13,6%)	0 (0,0%)	5 (13,63%)	X

Tabela 6: Matriz de táxons coincidentes para o grupo Cladocera (n - %) entre os reservatórios dos estados sob influência do bioma Cerrado.

CLADOCERA	Distrito Federal	Goiás	Mato Grosso	Minas Gerais	Tocantins	Bahia (Olhos D'água)
Distrito Federal	X	3 (23,07%)	4 (30,76%)	0 (0,0%)	4 (30,76)	1 (7,69%)
Goiás	3 (25,00%)	X	5 (41,66%)	1 (8,33%)	8 (53,33%)	0 (0,0%)
Mato Grosso	4 (18,18%)	5 (22,72%)	X	1 (4,54%)	9 (40,90%)	0 (0,0%)
Minas Gerais	0 (0,0%)	1 (25,00%)	1 (25,00%)	X	2 (50,00%)	0 (0,0%)
Tocantins	4 (12,9%)	8 (25,80%)	9 (29,03%)	2 (6,45%)	X	0 (0,0%)
Bahia	1 (100%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	X

Tabela 7: Matriz de táxons coincidentes para o grupo Copepoda (n - %) entre os reservatórios dos estados sob influência do bioma Cerrado.

COPEPODA	Distrito Federal	Goiás	Mato Grosso	Minas Gerais	Tocantins	Bahia (Olhos D'água)
Distrito Federal	X	0 (0,0%)	2 (28,57%)	0 (0,0%)	1 (14,28%)	1 (14,28%)
Goiás	0 (0,0%)	X	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (50,0%)	0 (0,0%)
Mato Grosso	2 (18,18%)	0 (0,0%)	X	1 (9,09%)	6 (54,54%)	0 (0,0%)
Minas Gerais	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (20,0%)	X	1 (20,0%)	1 (20,0%)
Tocantins	1 (12,5%)	1 (12,5%)	6 (75,0%)	1 (12,5%)	X	1 (12,5%)
Bahia	1 (50,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (50,0%)	1 (50,0%)	X

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão bibliográfica realizada demonstra que a biodiversidade de zooplâncton nos reservatórios do Cerrado está intrinsecamente ligada à sazonalidade hidrológica e ao estado trófico de cada ecossistema. A alternância entre períodos de seca e chuva atua como o principal regulador biológico, onde a maior transparência da água no período seco favorece a densidade populacional, enquanto a turbidez e o carreamento de sedimentos nas chuvas limitam a diversidade taxonômica (VIEIRA *et al.*, 2026). Observou-se que reservatórios sob gestão ambiental intensiva, como o Lago Paranoá, sustentam uma riqueza de espécies significativamente superior, especialmente de rotíferos, evidenciando que a recuperação da qualidade da água reflete diretamente na complexidade da biota aquática.

Por fim, os dados comparativos revelam que a similaridade entre as comunidades zooplanctônicas de diferentes estados, como Mato Grosso e Tocantins, sugere uma conectividade ecológica relevante dentro do bioma, apesar das particularidades físicas de cada barramento. A utilização do zooplâncton

como bioindicador reafirma-se como uma ferramenta estratégica para o manejo de reservatórios, permitindo detectar mudanças ambientais sutis decorrentes de atividades antrópicas. Portanto, a preservação da integridade das bacias hidrográficas do Cerrado é essencial não apenas para o abastecimento humano, mas para a manutenção da biodiversidade funcional que sustenta as teias alimentares nesses ecossistemas aquáticos.

6. AGRADECIMENTOS

Este capítulo é produto de atividade desenvolvida na disciplina Limnologia, nível graduação, Universidade de Brasília, ministrada pela Profa. Dra. Claudia Padovesi Fonseca, no período de verão de 2026. A professora é líder do Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL), cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

ALHO, C. J. R. (Coord.). **Fauna silvestre da região do rio Manso – MT.** Brasília, DF: IBAMA: ELETRONORTE, 267 p., 2000.

ARANTES, C. C. *et al*. **Impacts of hydroelectric dams on fishes and fisheries in tropical rivers through the lens of functional traits.** Current Opinion in Environmental Sustainability, 37, 28-40, 2019.

BALASSA, G.C. et al. **Dieta de espécies de Anostomidae (Teleostei, Characiformes) na área de influência do reservatório de Manso, Mato Grosso, Brasil.** Iheringia. Série Zoologia, 94(1), 77-82, 2004.

BRASIL. EMBRAPA; INPE. **TerraClass: mapeamento do uso e cobertura da terra na Amazônia e no Cerrado.** Brasília, 2024.

CAESB. **Barragens da Caesb.** Brasília, DF, [2026].

DE ARAÚJO, A.P.; NOGUEIRA, E.M.S. **Zooplâncton como bioindicador das águas do reservatório natural do povoado Olhos d'Água do Souza, Glória, Bahia, Brasil.** Revista Ouricuri, 6(2), 001–016, 2017.

DOS SANTOS, N.G. *et al.* **Total nitrogen and pH are key variables for functional structure of zooplanktonic communities in an agropastoral landscape.** Science of The Total Environment, 891 p. 164031, 2023.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia.** Rio de Janeiro: Interciências, 3. ed., 2011.

FIGUEIREDO, D.M.; BIANCHINI JR., I. **Retenção de fósforo em reservatórios.** Cuiabá: Entrelinhas (In: Bacia do rio Cuiabá: uma abordagem limnológica), 2008.

FURNAS. **Usina de Serra da Mesa.** Rio de Janeiro: Eletrobras Furnas, 2024.

GAZONATO NETO, A. J. *et al*. **Zooplankton communities as eutrophication bioindicators in tropical reservoirs.** Biota Neotropica, 14(4), e20140018, 2014.

HAYASHI-MARTINS, L.H. *et al*. **In vitro evaluation of the bacterivore potential of three Cladoceran species occurring in tropical and subtropical regions**. Brazilian Journal of Biology, 77(4) p. 840-847, 2017.

MANTOVANO, T. et al. **Zooplankton communities show contrasting productivity variables thresholds in dammed and undammed systems**. Limnetica, 38(2), 669-682, 2019.

MISSIAS, A.C.A. *et al*. **Is it possible to simplify environmental monitoring? Approaches with zooplankton in a hydroelectric reservoir.** Acta Limnologica Brasiliensia, 29, e8, 2017.

OLIVEIRA, C. B.; MARTINS-SILVA, M. L. **Zooplâncton em córregos sob diferentes impactos na bacia do rio Preto, Brasil.** Brasília: Embrapa Cerrados, 2008.

PADOVESI-FONSECA, C. **Caracterização dos ecossistemas aquáticos do Cerrado.** *In*: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (org.). Cerrado: ecologia e caracterização. Brasília, DF: SEMAD, 2005.

PADOVESI-FONSECA, C.; MENDONÇA-GALVÃO, L.; ANDREONI-BATISTA, C. **Rotifera, Paranoá reservoir, Brasília, central Brazil.** Check List, 7(3), 248-252, 2011.

PADOVESI-FONSECA, C. **Mapeamento de indicadores ambientais e de diversidade biológica aquática da Chapada dos Veadeiros.** Curitiba: Artemis, 84 p., 2023.

PAES, N.D.S. **Fatores estruturadores da metacomunidade do Zooplâncton no Reservatório de Manso - MT.** Cuiabá: UFMT (Dissertação de Mestrado), 189 f., 2017.

PEREIRA, D.F. **Estudo da comunidade zooplanctônica em um reservatório recém-construído (Reservatório do Lajeado), UHE Luis Eduardo Magalhães.** São Carlos: UFSCar (Tese de Doutorado), 2005.

PHILOMENO, M.G. **A comunidade fitoplanctônica e a restauração do lago Paranoá, Brasília-DF.** Brasília: UnB (Tese de Doutorado), 225 f., 2007.

PICAPEDRA, P.H.S. *et al*. **Zooplankton communities and their relationship with water quality in eight reservoirs from the midwestern and southeastern regions of Brazil.** Brazilian Journal of Biology, 81(3), 701–713, 2021.

POMARI, J.; KANE, D.D.; NOGUEIRA, M.G. **Application of multiple-use indices to assess reservoirs water quality and the use of plankton community data for biomonitoring purposes.** International Journal of Hydrology, 2(2), 2, 2018.

ROCHA, O. et al. **Checklist de Cladocera de água doce do Estado de São Paulo.** Biota Neotropica, 11(1), 1-22, 2011.

SANTOS-WISNIEWSKI, M. J.; ROCHA, O. **Spatial distribution and secondary production of Copepoda in a tropical reservoir: Barra Bonita, SP, Brasil.** Brazilian Journal of Biology, 67(2), 223-233, 2007.

SOARES, C.E.A.; ELMOOR-LOUREIRO, L.M.A. **Uma atualização da lista de Cladocera (Crustacea, Branchiopoda) do Estado de Pernambuco, Brasil**. Biota Neotropica, 11 (2), 409-414, 2011. https://doi.org/10.1590/S1676-06032011000200038

SILVA, A. P. et al. **Monitoramento da qualidade da água do Reservatório do Descoberto, DF, por meio de parâmetros físico-químicos e biológicos.** Química Nova, 32(4) p. 1011-1016, 2009.

SINGH, U.B. *et al*. **Planktonic indicators: a promising tool for monitoring water quality (earlywarning signals).** Ecology, Environment and Conservation, 19(3), 793-800, 2013.

SOUZA, T.R.; NUNES, M.V.; SILVA, L.C. **A comunidade zooplanctônica e seu uso como bioindicadora do estado trófico de uma região do reservatório da UHE de Furnas.** IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, 9(11), 546-559, 2013.

STARLING, F.L.R.M. **Comparative study of the zooplankton composition of six lacustrine ecosystems in Central Brazil during the dry season.** Revista Brasileira de Biologia, 60(1), 101-111, 2000.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; CALIJURI, M.C. **Limnology and management of reservoir in Brazil.** [S. l.: s. n.], 1993.

VIEIRA, M. C. *et al*. **Temporal Beta Diversity of Local Zooplankton Communities in Small Reservoirs is Associated With Hydrological Seasonality.** Freshwater Biology, 71 p. e70158, 2026.

VON RÜCKERT, G.; GIANI, A. **Biological interactions in the plankton community of a tropical eutrophic reservoir: is the phytoplankton controlled by zooplankton?** Journal of Plankton Research, 30(10), 1157-1168, 2008.

WETZEL, R.; LIKENS, G. **Limnological analyses.** Nueva York: Springer, 3. ed., 429 p., 2000.

WILLIAMSON, C.E.; REID, J. **Copepoda**. San Diego: Academic Press (In: Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates), p. 915, 2001.

WWF BRASIL. **Com oito das 12 principais bacias hidrográficas que abastecem o país, Cerrado é bioma mais devastado do Brasil.** Brasília, DF: WWF-Brasil, 2024.

CAPÍTULO 8

EFEITOS DA OCUPAÇÃO HUMANA SOBRE OS MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS DE RIACHOS DO CERRADO

Data de submissão: 05/06/2026
Data de aceite: 18/06/2026

Izabela Abadia Curcino Borges
Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Brasília - Distrito Federal
http://lattes.cnpq.br/3348249151895693

Letícia Alcântara Silva
Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Brasília - Distrito Federal
http://lattes.cnpq.br/6689229426623614

RESUMO: Esta revisão teve como objetivo reunir estudos acerca de ocupações antrópicas em riachos do Cerrado e os efeitos sobre os macroinvertebrados bentônicos. A revisão bibliográfica foi realizada por meio da plataforma Google Acadêmico de 2013 a 2026. Foram consideradas áreas urbanas e rurais em comparação a áreas preservadas na região do Distrito Federal (DF), Brasil central. Análise física e química desses corpos d'água foi utilizada como guia para avaliar os efeitos da ocupação humana. Os estudos analisados nessa revisão referendaram a marcante bioindicação dos macroinvertebrados bentônicos sobre a qualidade de águas em riachos cerratenses. Houve predominância e/ou ausência de determinados grupos bênticos, dependendo das condições ambientais dos corpos d'água. Grupos mais sensíveis às alterações ambientais tenderam a ser raros ou ausentes em ambientes impactados por ações antrópicas. Grupos mais tolerantes, por sua vez, foram predominantes em condições ambientais mais degradadas e sem vegetação ripária, notadamente nas áreas urbanas.
PALAVRAS-CHAVE: condições ambientais; bentos; curso fluvial; Brasil central.

EFFECTS OF HUMAN OCCUPATION ON BENTHIC MACROINVERTEBRATES IN CERRADO STREAMS

ABSTRACT: This review examines studies on anthropogenic occupation in Cerrado streams and its effects on benthic macroinvertebrates. The literature review was conducted through Google Scholar, covering the period from 2013 to 2026. Urban and rural areas were considered in comparison with preserved areas in the Federal District (DF), central Brazil. Physical and chemical analyses of these water bodies were used as a guide to assess the effects of human occupation. The studies analyzed

in this review confirmed the strong bioindicator role of benthic macroinvertebrates in assessing water quality in Cerrado streams. The predominance and/or absence of certain benthic groups varied according to the environmental conditions of the water bodies. Groups more sensitive to environmental changes tended to be rare or absent in environments impacted by anthropogenic activities. More tolerant groups, in turn, predominated under more degraded environmental conditions and in areas without riparian vegetation, especially in urban areas.
KEYWORDS: environmental conditions; benthos; watercourse; central Brazil.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado, savana brasileira reconhecida como um *hotspot* de biodiversidade global, desempenha um papel hidrológico crítico, sendo o berço de oito das doze principais bacias hidrográficas do Brasil (WWF, 2024). Contudo, a supressão da vegetação nativa e a degradação de seus corpos d'água atingiram patamares alarmantes. O bioma é regido por uma sazonalidade marcante, com duas estações bem definidas: um inverno seco e um verão úmido. Essa dinâmica pluviométrica influenciou diretamente a pedogênese local; ao longo do tempo geológico, a concentração das chuvas promoveu a lixiviação intensa dos solos, tornando-os quimicamente pobres em minerais essenciais (NASCIMENTO & NOVAIS, 2020).

Dada a centralidade do Distrito Federal (DF) no bioma e a presença estratégica de áreas de preservação que abrigam nascentes tributárias de grandes bacias, como a do Araguaia-Tocantins e do São Francisco (FONSECA *et al*., 2014), a região foi priorizada nesta revisão. Destaca-se o Rio São Bartolomeu, detentor da maior bacia hidrográfica do DF, essencial para o equilíbrio hídrico e para o abastecimento de zonas rurais e urbanas em toda a extensão latitudinal da unidade federativa (MOREYRA & PADOVESI-FONSECA, 2015).

A integridade desses recursos é ameaçada por múltiplas fontes de contaminação. No âmbito sanitário, os impactos derivam de efluentes domésticos, deficiências em estações de tratamento de esgoto, lixões e necrotérios; na esfera agrícola, a pressão provém do manejo intensivo de pesticidas e fertilizantes (MUNIZ *et al*., 2011). Para mitigar esses efeitos, a Lei Complementar nº 803/2009 (Art. 95) estabelece as Áreas de Proteção de Mananciais (APMs), porções territoriais destinadas à salvaguarda da água para abastecimento público (DISTRITO FEDERAL, 2009).

Nesse contexto, a caracterização físico-química é indispensável para aferir a qualidade e a segurança hídrica em conformidade com os padrões do CONAMA (2005). Tais parâmetros variam conforme o uso e ocupação do solo, influenciando diretamente a biota aquática, especialmente os macroinvertebrados bentônicos. Este grupo animal é bioindicador eficaz devido ao seu baixo potencial de mobilidade, posição intermediária na teia trófica e capacidade de colonização de diversos substratos (MOREYRA & PADOVESI-FONSECA, *op. cit.*).

Consequentemente, variações na composição da comunidade de macroinvertebrados refletem perturbações ambientais, como o aporte de carga orgânica ou flutuações na oxigenação. Paradoxalmente, embora sejam excelentes indicadores *in situ*, a complexidade e a variabilidade química das águas do Cerrado podem representar desafios metodológicos em ensaios laboratoriais, como observado em experimentos de ecotoxicologia com o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia*, onde oscilações na composição da água influenciaram negativamente os resultados (MUNIZ *et al*., 2011).

A presente revisão teve como objetivo avaliar diferentes estudos realizados em riachos do Cerrado, comparando efeitos da ocupação urbana e rural sobre as comunidades de macroinvertebrados bentônicos e suas relações ecológicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A revisão bibliográfica foi realizada por meio da plataforma Google Acadêmico, de 2013 a 2026, com o uso das palavras-chave “Cerrado”, “Áreas urbanas”, “Áreas rurais”, “Macroinvertebrados bentônicos” e “Bioindicadores”. Foram considerados também teses, artigos e regulamentações, publicados entre os anos de 2007 até 2026, sendo selecionados aqueles pertinentes aos objetivos desta revisão. Além disso, foram priorizados, de forma não excludente, estudos com foco na região do Distrito Federal, uma vez que este localiza-se centralmente no Cerrado e possui forte representatividade do bioma.

3. MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COMO BIOINDICADORES

A comunidade bentônica (do grego *benthos* = profundidade) é constituída por organismos animais (zoobentos) e vegetais (fitobentos) que habitam o sedimento aquático ou a interface sedimento-água (ESTEVES, 1998). Estes

organismos colonizam tanto ecossistemas lóticos (águas correntes) quanto lênticos (águas estagnadas), estabelecendo-se sobre substratos diversos, como rochas, cascalhos, macrófitas ou integrados a sedimentos lodosos e arenosos. Representam um dos grupos biológicos mais abundantes e diversos nos ecossistemas aquáticos, compreendendo táxons variados, como insetos, moluscos, crustáceos e anelídeos (ABÍLIO *et al*., 2007; BARBOSA *et al*., 2016).

A ampla utilização dos macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores fundamenta-se em seus ciclos de vida relativamente longos, que permitem uma análise temporal e espacial integrada dos efeitos de perturbações antropogênicas. Somam-se a isso a facilidade amostral, o baixo custo operacional, a elevada riqueza taxonômica e a sensibilidade diferencial a variadas concentrações de poluentes, o que fornece um espectro abrangente de respostas biológicas frente à contaminação ambiental (BARBOSA *et al*., 2016).

Ecologicamente, esses organismos atuam como um elo fundamental no fluxo de energia e na ciclagem de nutrientes, conectando a matéria orgânica basal aos níveis tróficos superiores (peixes), ocupando posições de consumidores primários e secundários. Sua função na fragmentação de detritos é crucial, pois acelera o processo de decomposição e assegura a recirculação de nutrientes no substrato (ABÍLIO *et al*., 2007).

Ademais, a diversidade de respostas biológicas destes organismos permite inferências precisas sobre a integridade ambiental. Enquanto táxons da ordem Plecoptera são reconhecidamente sensíveis a impactos, grupos como Oligochaeta e certas larvas de Diptera apresentam elevada tolerância. Complementarmente, a análise dos Grupos Funcionais de Alimentação (GFA) refina o diagnóstico: organismos fragmentadores e raspadores são geralmente mais suscetíveis a distúrbios, ao passo que coletores-catadores e filtradores tendem a persistir em ambientes degradados (FERNANDES, 2007). Sob essa ótica, a urbanização negligente compromete a integridade hídrica, promovendo o declínio da biodiversidade e a predominância de táxons tolerantes, com notável dominância da família Chironomidae.

A dinâmica sazonal do Cerrado também exerce influência determinante sobre essa biota. No período de cheia, observa-se uma tendência à homogeneização e diluição das variáveis físico-químicas, acompanhada pelo aumento da turbidez devido ao aporte de matéria orgânica e nutrientes de origem alóctone (ABÍLIO,

2002). Em contraste, o período de estiagem pode elevar a densidade populacional dos macroinvertebrados.

Assim, segundo as proposições de ABÍLIO *et al.* (2007), a elevação da densidade populacional de macroinvertebrados durante o período de estiagem é o resultado de uma sinergia de fatores ecológicos e físicos. Primeiramente, a maior disponibilidade de detritos e material vegetal particulado amplia a oferta de recursos alimentares, permitindo que o ambiente suporte uma carga biológica superior à média anual. Essa dinâmica é favorecida pela estabilidade do habitat, uma vez que a ausência de pulsos de inundação minimiza o revolvimento do substrato e preserva a integridade da biota associada. Paralelamente, o incremento no fotoperíodo e na temperatura da água atua como um catalisador metabólico, potencializando as taxas reprodutivas dos indivíduos. Por fim, a redução da coluna d'água impõe um efeito de concentração física, o qual restringe a área passível de colonização e eleva a densidade relativa da comunidade, criando condições particularmente favoráveis para o desenvolvimento de espécies com hábito alimentar filtrador.

Tabela 1. O nível de impacto humano relacionado com as variáveis de qualidade de água, as áreas e a ocorrência de grupos predominantes. OD: oxigênio dissolvido; CEA: condutividade elétrica da água; (1) FERNANDES (2007); (2) FONSECA *et al*. (2014).

IMPACTO	OD (mg/L) [2]	CEA (µS/cm) [2]	Turbidez (UT) [2]	ÁREA [1]	GRUPOS [1]
Baixo impacto	5.07	15.0	3.19	Maioria áreas preservadas e rurais	Odonata e EPT
Médio impacto	4.96	59.3	14.7	Áreas rurais e próximas a áreas urbanas	Trichoptera e Oligoquetas
Maior impacto	3.51	106.1	7.61	Urbanas e rurais	Chironomidae e Oligoquetas

4. ALTERAÇÕES DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DA ÁGUA

A avaliação da qualidade da água baseia-se rotineiramente na análise de variáveis como condutividade elétrica, disponibilidade de nutrientes e concentração de oxigênio dissolvido (OD). Esses parâmetros são determinantes para classificar o nível de integridade dos ecossistemas lóticos, permitindo distinguir trechos

de cabeceira, geralmente preservados e com características naturais, de zonas localizadas a jusante, que tendem a apresentar maiores índices de impacto ambiental (MOREYRA & PADOVESI-FONSECA, 2015).

Em áreas de nascente e trechos de cabeceira, onde a pressão antrópica é mínima, observa-se um perfil físico-químico caracterizado por menores temperaturas, pH tendendo à basicidade, elevada saturação de oxigênio e baixa turbidez (FONSECA *et al*., 2014). Conforme os dados consolidados na Tabela 1, ambientes de baixo impacto mantêm níveis de OD médios de 5,07 mg/L, pH de 6,48 e condutividade reduzida de 15,0 µS/cm, sendo propício para organismos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) que são reconhecidamente sensíveis à poluição e sua presença restringe-se a ambientes de baixa condutividade e elevada oxigenação. (FERNANDES, 2007).

Inversamente, o deslocamento para zonas localizadas a jusante revela um incremento nos índices de impacto. Em áreas classificadas como de maior impacto, a condutividade elétrica atinge valores médios de 106,1 µS/cm, acompanhada por uma redução crítica nos níveis de OD para 3,51 mg/L e um aumento na turbidez para 7,61 UT (Tabela 1). Essa alteração química é frequentemente acompanhada por uma ligeira acidificação do meio (pH de 6,25) e reflete o aporte de íons e carga orgânica provenientes do uso do solo circundante assim, tornam-se dominados por táxons tolerantes, como as famílias Chironomidae (Diptera) e o grupo Oligochaeta. Esses organismos possuem adaptações fisiológicas que permitem a sobrevivência em condições de hipóxia e alta carga de poluentes (FERNANDES, *op. cit*.).

A dinâmica físico-química é fortemente condicionada pela sazonalidade do Cerrado. Durante o período chuvoso, a maior taxa de erosão e o escoamento superficial elevam a concentração de sólidos em suspensão, aumentando a turbidez e alterando a transparência da água. Embora o período de cheia promova a diluição de certos poluentes, ele altera drasticamente a qualidade do habitat. Em contrapartida, o período de seca exacerba a concentração de compostos e reduz a disponibilidade de oxigênio, pressionando a biota remanescente, como presença de organismos trituradores (como os da ordem Trichoptera), por exemplo, que é restrita a áreas menos impactadas, como as cabeceiras, que mantêm baixa condutividade e elevados níveis de OD (MOREYRA & PADOVESI-FONSECA, 2015).

5. ANÁLISE DOS IMPACTOS URBANO E RURAL

A transição do uso do solo de vegetação nativa para matrizes urbanas e agrícolas imprime alterações drásticas na biodiversidade aquática, agindo de formas distintas sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos.

A urbanização é identificada como o vetor de degradação mais imediato e localizado. Estudos apontam que o avanço das áreas impermeabilizadas acima de 10 a 20% da área total da bacia correlaciona-se diretamente com a supressão de táxons sensíveis à poluição, notadamente os grupos Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) e ao aumento de grupos tolerantes, como Oligochaeta, Hirudinea e Chironomidae (CAMPOS *et al*., 2022).

A integridade sanitária dos corpos d'água no Cerrado é severamente comprometida por múltiplas fontes de contaminação orgânica decorrentes da ocupação antrópica. No âmbito urbano, os impactos principais derivam do descarte inadequado de efluentes domésticos, deficiências estruturais em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), além do chorume proveniente de lixões e necrotérios. Esse aporte contínuo de carga orgânica altera drasticamente as variáveis físico-químicas, resultando em flutuações críticas na oxigenação e no aumento da turbidez (SILVA *et al*., 2010).

Um caso crítico é observado no Ribeirão Sobradinho, onde a pressão urbana e o descarte de ETEs resultam em um cenário de degradação acentuada em comparação a trechos preservados, como as cabeceiras do Rio São Bartolomeu. Dados comparativos indicam que, enquanto áreas de baixo impacto mantêm níveis de oxigênio dissolvido (OD) em torno de 5,07 mg/L, zonas de maior impacto apresentam queda para 3,51 mg/L, acompanhada por um aumento na condutividade elétrica de 15,0 µS/cm, para 106,1 µS/cm (Tabela 1). Esse enriquecimento orgânico não apenas degrada a qualidade da água para consumo, mas atua como um filtro ambiental que exclui espécies sensíveis (FERNANDES, 2007).

Estudos na região do Distrito Federal demonstram que os pontos com maior comprometimento da integridade biótica coincidem precisamente com áreas onde a vegetação ripária foi degradada ou removida. Essa perda de habitat resulta em uma simplificação biótica, onde a heterogeneidade de substratos (como troncos, folhas e raízes) é substituída por sedimentos homogêneos, reduzindo os locais disponíveis para colonização e refúgio da fauna aquática.

A supressão dessa cobertura vegetal para a expansão urbana ou agrícola expõe diretamente os corpos d'água ao escoamento superficial. Sem a barreira física da vegetação, resíduos urbanos e defensivos agrícolas são transportados diretamente para o leito dos riachos, intensificando a turbidez e o aporte de sólidos em suspensão, especialmente durante o período pluvial. Diferente do impacto urbano, as áreas rurais contribuem majoritariamente via poluição difusa. O manejo intensivo de fertilizantes e pesticidas introduz cargas químicas que se intensificam no período pluvial devido à lixiviação (DELLAMATRICE & MONTEIRO, 2014).

A severidade dessa contaminação é tamanha que ensaios ecotoxicológicos com o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia* demonstraram ausência de respostas efetivas, indicando níveis críticos de toxicidade ambiental que impedem o desenvolvimento de organismos-teste sensíveis (MUNIZ *et al*., 2011). Embora as áreas de preservação rural, como as cabeceiras do Rio São Bartolomeu, mantenham a integridade hídrica, o manejo agrícola inadequado pode elevar a condutividade para níveis de médio impacto (59,3 µS/cm) (Tabela1), favorecendo grupos como Oligochaetas em detrimento dos grupos sensíveis.

Em conclusão, a convergência entre indicadores bióticos e variáveis físico-químicas confirma que a ocupação antrópica, seja urbana ou rural, compromete a estrutura trófica e a integridade ecológica dos corpos d'água no Distrito Federal.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão destaca a imprescindibilidade de uma abordagem integrada para o diagnóstico da integridade de ecossistemas límnicos, enfatizando as respostas das comunidades de macroinvertebrados bentônicos. Tal análise fundamenta-se na convergência entre indicadores bióticos (estruturais e funcionais) e variáveis ambientais, contemplando tanto a variabilidade natural quanto as pressões decorrentes de perturbações antrópicas.

A dinâmica sazonal de oxigenação e turbidez, impulsionada pelo regime de chuvas, mostrou-se um fator condicionante para a estrutura da comunidade biótica. A maior taxa de erosão e o consequente aumento de sólidos em suspensão no período chuvoso alteram a qualidade do habitat, sugerindo que as variações na transparência e no oxigênio são os principais vetores das oscilações observadas nos macroinvertebrados bentônicos.

Desse modo, a utilização de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores no Distrito Federal confirma que a integridade ecológica dos corpos d'água está intrinsecamente ligada ao uso do solo circundante. A predominância de táxons tolerantes, como Chironomidae e Oligochaeta, em detrimento de grupos sensíveis (EPT), serve como um diagnóstico claro do estresse ambiental causado pela urbanização e pelo descarte de efluentes domésticos.

Evidente que, embora as atividades agrícolas contribuam com cargas difusas de nutrientes e pesticidas, os impactos urbanos apresentam uma severidade mais imediata e localizada na degradação da qualidade da água. A sazonalidade do Cerrado também desempenha um papel crítico: enquanto o período de cheia promove a diluição de poluentes, o período de seca exacerba a concentração de compostos tóxicos e reduz a disponibilidade de oxigênio dissolvido, pressionando ainda mais a biodiversidade aquática.

7. AGRADECIMENTOS

Este capítulo é produto de atividade desenvolvida na disciplina Limnologia, nível graduação, Universidade de Brasília, ministrada pela Profa. Dra. Claudia Padovesi Fonseca, no período de verão de 2026. A professora é líder do Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL), cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

BARBOSA, A.H.S.; SILVA, Camila S.P.; ARAÚJO, S.E.; LIMA, T.B.; DANTAS, I. M. **Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade de água em um trecho do Rio Apodi-Mossoró.** HOLOS, *[S. l.]*, 7, 121–132, 2016. DOI: 10.15628/holos.2016.4183.

CAMPOS, C.A.; TONIN, A.M; KENNARD, M.J.; GONÇALVES-JÚNIOR, J.F. Setting thresholds of ecosystem structure and function to protect streams of the Brazilian savanna. Frontiers in Environmental Science, 10, 2022. DOI 10.3389/fenvs.2022.867905

DELLAMATRICE, P.M.; MONTEIRO, R.T.R. **Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas.**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 18 (12), 1296–1301, 2014.

DISTRITO FEDERAL. **Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009**. Atualiza o Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal - PDOT e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial do Distrito Federal, 2009.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FERNANDES, A.C.M. **Macroinvertebrados Bentônicos como Indicadores Biológicos de Qualidade da Água: Proposta para Elaboração de um Índice de Integridade Biológica.** Tese (doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 226 pp., 2007.

FONSECA, B.M. *et al*. **Nutrient baselines of Cerrado low-order streams: comparing natural and impacted sites in Central Brazil.** Environental Monitoring and Assessment, 186: 19-33, 2014.

MOREYRA, A.K.; PADOVESI-FONSECA, C. **Environmental effects and urban impacts on aquatic macroinvertebrates in a stream of central Brazilian Cerrado.** Sustainable Water Resources Management, 1, 125-136, 2015.

MUNIZ, D.H.F. et al. **Evaluation of water parameters for monitoring natural, urban and agricultural areas in the Brazilian savana**. Acta Limnologica Brasiliensia, 23 (3), 301-317, 2011. http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000009

NASCIMENTO, D.T.F.; NOVAIS, G.T. **Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas.** Élisée - Revista de Geografia da UEG, *[S. l.]*, 9 (2), e922021, 2020.

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, e dá outras providências. Brasília, DF: MMA, 17 mar. 2005.

SILVA, W.J.; FELISBERTO, S.A.; PADOVESI-FONSECA, C. *et al*. **Serial discontinuity along the Descoberto river basin, central Brazil**. Acta Limnologica Brasiliensia, 22 (3), 344-355.

WWF Brasil. **Com oito das 12 principais bacias hidrográficas que abastecem o país, Cerrado é bioma mais devastado do Brasil.** WWF, 2024. Disponível em: https://www.wwf.org.br/?89580/Com-oito-das-12-principais-bacias-hidrograficas-que-abastecem-o-pais-Cerrado-e-bioma-mais-devastado-do-Brasil. Acesso em: 26 jan. 2026.

CAPÍTULO 9

PEIXES COMO INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL EM ÁGUAS CERRATENSES

Data de submissão: 05/06/2026
Data de aceite: 18/06/2026

Théo Victor Mafra de Andrade
Graduando em Ciências Biológicas
Universidade de Brasília
Campus Darcy Ribeiro
Brasília - DF
http://lattes.cnpq.br/6544981933411815

Alexandre Diadorim Zerbini Brandão
Graduando em Ciências Biológicas
Universidade de Brasília
Campus Darcy Ribeiro
Brasília - DF
http://lattes.cnpq.br/8074994997321471

RESUMO: Os ecossistemas aquáticos do Domínio Cerrado desempenham papel fundamental na manutenção da biodiversidade e na disponibilidade hídrica em escala regional e continental. No entanto, esses ambientes têm sido intensamente impactados por ações antrópicas e pelas mudanças climáticas, resultando em alterações na qualidade da água e na estrutura das comunidades biológicas. Nesse contexto, o uso de bioindicadores destaca-se como uma ferramenta eficiente para a avaliação da integridade ecológica dos sistemas aquáticos. O presente estudo teve como objetivo revisar a literatura científica sobre o uso de peixes como indicadores da qualidade ambiental em ecossistemas aquáticos do Cerrado. Para isso, realizamos uma revisão bibliográfica de documentos publicados entre 2015 e 2025, selecionados a partir de critérios de relevância temática. A presente revisão indica que os peixes respondem de forma integrada às alterações ambientais e biológicas dos sistemas aquáticos. Englobam respostas fisiológicas, histopatológicas e ecológicas associadas à degradação ambiental. Portanto, os peixes constituem ferramentas robustas para o monitoramento da qualidade da água, sendo essenciais para subsidiar estratégias de conservação e gestão dos recursos hídricos no Cerrado.
PALAVRAS-CHAVE: biota aquática; condições ambientais; savana brasileira.

FISHES AS INDICATORS OF ENVIRONMENTAL QUALITY IN CERRADO INLAND WATERS

ABSTRACT: Aquatic ecosystems in the Cerrado Domain play a fundamental role in maintaining biodiversity and water availability on a regional and continental scale. However, these environments have

been intensely impacted by anthropogenic actions and climate change, resulting in alterations in water quality and the structure of biological communities. In this context, the use of bioindicators stands out as an efficient tool for assessing the ecological integrity of aquatic systems. This study aimed to review the scientific literature on the use of fish as indicators of environmental quality in aquatic ecosystems of the Cerrado. To this end, we conducted a bibliographic review of documents published between 2015 and 2025, selected based on criteria of thematic relevance. This review indicates that fish respond in an integrated way to environmental and biological changes in aquatic systems. They encompass physiological, histopathological, and ecological responses associated with environmental degradation. Therefore, fish constitute robust tools for monitoring water quality, being essential to support conservation and management strategies for water resources in the Cerrado.
KEYWORDS: aquatic biota; environmental conditions; Brazilian Savannah.

1. INTRODUÇÃO

A Limnologia é a área da ciência dedicada ao estudo das águas continentais, abrangendo suas características físicas, químicas e biológicas, bem como as comunidades e os ecossistemas associados (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2017). Nesse contexto hídrico, o Domínio Cerrado destaca-se por sua elevada importância hidrológica, sendo reconhecido como o "berço das águas" do Brasil, uma vez que abriga nascentes de grandes bacias hidrográficas sul-americanas, como as bacias do Prata, do Amazonas e do São Francisco (PADOVESI-FONSECA, 2023).

Nesse cenário, o uso de bioindicadores tem se consolidado como uma ferramenta fundamental para a avaliação da qualidade ambiental dos ecossistemas aquáticos. Bioindicadores são parâmetros biológicos, qualitativos ou quantitativos, avaliados nos níveis de indivíduo, população ou comunidade, capazes de refletir condições ambientais específicas, associadas tanto a variações naturais quanto a perturbações antrópicas (SÁ *et al.,* 2019). Diferentes grupos aquáticos, como o fitoplâncton, os macroinvertebrados bentônicos e os peixes, têm se mostrado especialmente eficientes como bioindicadores, uma vez que apresentam tolerâncias diferenciadas às mudanças ambientais e respondem de forma integrada às alterações do meio (SÁ *et al.,* op. cit.; MATOS & PIRES, 2023).

Os peixes são considerados excelentes indicadores no monitoramento de ambientes aquáticos e são amplamente utilizados na avaliação da qualidade

da água. A fauna ictiológica é particularmente vulnerável a alterações ambientais, sobretudo em função de sua elevada complexidade fisiológica quando comparada a outros grupos aquáticos. Dessa forma, os peixes são frequentemente empregados para detectar e monitorar os impactos da poluição e de outras pressões ambientais, refletindo tanto condições atuais quanto efeitos cumulativos ao longo do tempo (ASSIS *et al.*, 2018).

As ações antrópicas exercem diversos efeitos negativos sobre as bacias hidrográficas, incluindo a poluição da água, o assoreamento dos rios e a perda da vegetação ciliar e da biota aquática. Embora estudos sobre a fauna e flora do Cerrado apontem uma estimativa de aproximadamente 160 mil espécies (PADOVESI-FONSECA *et al.*, 2005), a biodiversidade desse bioma ainda permanece pouco explorada e insuficientemente conhecida. Esse cenário reforça a importância de pesquisas limnológicas e do uso de bioindicadores para subsidiar estratégias de conservação dos ecossistemas aquáticos da região (PADOVESI-FONSECA, 2023).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo revisar a literatura científica e compilar as principais informações sobre o uso de peixes como indicadores biológicos em ecossistemas aquáticos do Domínio Cerrado, considerando também os impactos antrópicos das mudanças ambientais e climáticas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo consiste em uma revisão bibliográfica da literatura, conduzida a partir das seguintes etapas: definição do tema, pré-seleção dos estudos, seleção final dos artigos e extração das principais informações relevantes (MATOS & PIRES, 2023).

O levantamento bibliográfico foi realizado por meio da plataforma Google Scholar, utilizando os termos de busca “peixes”, “bioindicador” e “Cerrado”. Foram considerados artigos completos publicados no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2025, abrangendo um intervalo temporal de dez anos.

Os critérios de inclusão basearam-se na aderência ao tema proposto, sendo excluídos estudos que não apresentavam relação direta com o uso de peixes como bioindicadores em ecossistemas aquáticos do Cerrado.

3. UNIVERSO DA PESQUISA

A partir da aplicação dos termos de busca, foram identificados 399 artigos. Desse total, 38 estudos foram pré-selecionados com base nos títulos. Após a leitura dos resumos, 16 artigos apresentaram relação direta com o objetivo da revisão e foram incluídos na análise final. Os 22 artigos excluídos apresentaram desvios temáticos quanto ao bioma, grupo biológico ou tipo de ambiente abordado (Figura 1). Do total de estudos inicialmente avaliados, 11 artigos foram excluídos por desvio de tema relacionado ao grupo biológico estudado, cinco por não abordarem o uso de bioindicadores, um por se referir à tipo de ambiente distinto do escopo da pesquisa, e cinco por não estarem inseridos no bioma Cerrado. Ao final do processo de triagem, 16 artigos mostraram-se compatíveis com o objetivo proposto e foram incluídos na análise qualitativa da revisão.

Figura 1. Distribuição dos artigos pré-selecionados de acordo com os critérios de exclusão e inclusão adotados na revisão bibliográfica.



4. A HIDROGRAFIA DO CERRADO

O bioma Cerrado é reconhecido como um dos principais *hotspots* de biodiversidade do planeta, caracterizado por elevado grau de endemismo e intensas pressões antrópicas (MYERS *et al*., 2000). A descrição a seguir foi originalmente apresentada em PADOVESI-FONSECA (2005).

Além de sua relevância biológica, o Cerrado desempenha papel estratégico no contexto hidrológico brasileiro e sul-americano, sendo amplamente denominado o "berço das águas", por abrigar nascentes de importantes bacias hidrográficas, como as bacias do Amazonas, do São Francisco e do Prata (PADOVESI-FONSECA, *op. cit.*).

A região nuclear do Cerrado localiza-se predominantemente no Planalto Central Brasileiro, caracterizado por extensas chapadas situadas em altitudes elevadas, o que favorece a drenagem das águas superficiais para diferentes sistemas hidrográficos e confere ao bioma a função de principal divisor de águas do país. Nessas áreas desenvolve-se uma ampla rede hidrográfica composta majoritariamente por cursos d'água de pequeno porte, como riachos e córregos, que constituem a base da hidrografia regional PADOVESI-FONSECA, *op. cit.*).

Em condições naturais, os ecossistemas lóticos do Cerrado caracterizam-se por águas pobres em nutrientes, levemente ácidas, com baixa condutividade elétrica e reduzida variação térmica ao longo do ano. Essas características refletem a influência conjunta do clima, da geologia, dos solos e da cobertura vegetal das bacias de drenagem, especialmente da vegetação ripária, que exerce papel fundamental na manutenção da qualidade da água e da estabilidade dos ecossistemas aquáticos (PADOVESI-FONSECA, *op. cit.*).

Além dos sistemas lóticos, o Cerrado abriga uma expressiva diversidade de ecossistemas aquáticos lênticos e zonas úmidas, incluindo lagoas naturais, veredas, campos úmidos e campos de murundus. Esses ambientes desempenham funções ecológicas essenciais, como a regulação do fluxo hídrico, a recarga de aquíferos e a manutenção da biodiversidade associada (PADOVESI-FONSECA, *op. cit.*).

O regime climático do Cerrado é do tipo tropical sazonal, com uma estação chuvosa bem definida e um período seco prolongado, exercendo forte influência sobre a dinâmica hidrológica dos ecossistemas aquáticos. Apesar da percepção de abundância hídrica, a disponibilidade de água no bioma é limitada, sobretudo em função do pequeno porte dos aquíferos e da elevada dependência das áreas de recarga (PADOVESI-FONSECA, *op. cit.*).

Nas últimas décadas, a hidrografia do Cerrado tem sido intensamente impactada pela expansão da fronteira agrícola, pela urbanização desordenada e pelo uso inadequado dos recursos hídricos, resultando em processos de assoreamento,

contaminação das águas e perda da biodiversidade aquática (MOREYRA & PADOVESI-FONSECA, 2015; SOUSA & MILLHOMEM-PAIXÃO, 2024).

5. BIOINDICADORES E A AVALIAÇÃO DS QUALIDADE DA ÁGUA

Bioindicadores constituem ferramentas essenciais no monitoramento ambiental, especialmente em ecossistemas aquáticos, uma vez que respondem de forma integrada às alterações físicas, químicas e biológicas do ambiente. Diferentemente das análises exclusivamente físico-químicas, que refletem condições pontuais, os bioindicadores permitem avaliar os efeitos cumulativos e de longo prazo das pressões ambientais (SÁ *et al*., 2019; MATOS & PIRES, 2023).

Alterações na presença, abundância ou estrutura das comunidades biológicas indicam mudanças na qualidade ambiental, sendo amplamente utilizadas para detectar impactos associados à poluição, ao uso e ocupação do solo e às atividades agropecuárias (OLIVEIRA, 2017). Nesse contexto, o biomonitoramento representa uma abordagem eficiente para avaliar a integridade ecológica dos corpos hídricos e subsidiar ações de gestão e conservação (SÁ *et al*., *op. cit.*).

Além disso, as mudanças climáticas, caracterizadas por alterações nos padrões de temperatura, precipitação e regime hidrológico, influenciam diretamente a qualidade da água e a estrutura das comunidades aquáticas. Nesse cenário, o uso de bioindicadores torna-se ainda mais relevante para compreender e monitorar os efeitos diretos e indiretos dessas mudanças sobre os ecossistemas aquáticos (SÁ *et al*., *op. cit.*).

6. PEIXES COMO INDICADORES DA QUALIDADE AMBIENTAL

Os peixes respondem de forma integrada às variações físico-químicas da água, à disponibilidade de habitat e à presença de contaminantes, o que os torna organismos amplamente utilizados como bioindicadores da qualidade ambiental em ecossistemas aquáticos continentais (ASSIS *et al*., 2018).

Esses organismos são capazes de expressar os efeitos de estressores ambientais em diferentes níveis de organização biológica, incluindo respostas comportamentais, fisiológicas, histológicas e genéticas (Tabela 1). Alterações em tecidos-alvo, como brânquias, fígado e sangue, têm sido amplamente

documentadas como respostas precoces à poluição orgânica, metálica e química (SALGUEIRO, 2021; WEISS, 2017). Adicionalmente, o uso de marcadores genéticos e enzimáticos em peixes tem se mostrado eficaz para indicar a antropização da paisagem e a degradação dos corpos hídricos (COTRIM *et al*., 2020; SANTOS, 2020).

As brânquias, por serem estruturas de contato direto e contínuo com a água, destacam-se como importantes biomarcadores, apresentando lesões histopatológicas, como hiperplasia, fusão lamelar, aneurismas e necrose, frequentemente associadas à exposição a poluentes (BEZERRA, 2018; SALGUEIRO, *op. cit.*).

Estudos também demonstram que espécies tolerantes e espécies que ocupam níveis tróficos maiores apresentam respostas diferenciadas à contaminação, permitindo a avaliação de gradientes de impacto ambiental. Em bacias hidrográficas do Cerrado, espécies como *Salminus hilarii* (tabarana), *Prochilodus lacustris (*curimatã), *Hoplias malabaricus* (traíra), entre outras têm sido destacadas como bioindicadoras em potencial em função de sua relevância ecológica e sensibilidade a alterações ambientais. (SAVIATO *et al*., 2025; CARDOSO, 2016; FREITAS, 2017; BARBOSA *et al.,* 2023).

De modo geral, a integração de parâmetros físico-químicos da água com análises biológicas em peixes constitui uma abordagem robusta para a avaliação da qualidade ambiental, reforçando a importância da ictiofauna em programas de biomonitoramento e conservação dos ecossistemas aquáticos continentais. Além dos impactos antrópicos diretos, as mudanças climáticas têm influenciado de forma significativa a qualidade da água e a estrutura das comunidades ictiológicas. (OLIVEIRA, 2017).

Os impactos antrópicos decorrentes da urbanização, da agricultura e das mudanças no uso do solo refletem-se diretamente nas respostas biológicas observadas nos peixes. A Tabela 1 sintetiza os principais impactos ambientais identificados na literatura e as respectivas respostas biológicas observadas na ictiofauna.

Tabela 1. Principais impactos antrópicos e respostas biológicas observadas em peixes.

Impacto ambiental	Fonte do impacto	Resposta biológica observada	Órgão/ parâmetro afetado	Referência
Urbanização	Efluentes domésticos	Alterações histopatológicas	Estresse fisiológico	• Bezerra (2018); • Santos (2020); • Cotrim (2020); • Salgueiro (2021); • Matos & Pires (2023); • Sousa & Milhomem-Paixão (2024); • Saviato (2025).
Agricultura	Agrotóxicos	Bioacumulação e estresse	Brânquias e fígado	• Cardoso (2016); • Weiss (2017); • Freitas (2017); • Assis (2018) • Galli (2022); • Silva (2024).
Supressão ripária	Uso do solo	Redução da diversidade	Comunidade ictiológica	• Freitas (2019); • Barbosa *et al.* (2023).
Mudanças climáticas	Aumento de temperatura	Estresse fisiológico	Fisiologia geral	• Sá *et al.* (2019).

7. AÇÃO ANTRÓPICA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE OS AMBIENTES AQUÁTICOS CERRATENSES

Os ecossistemas aquáticos do Cerrado vêm sofrendo transformações intensas nas últimas décadas em decorrência da ação antrópica e das mudanças climáticas, resultando em alterações significativas na estrutura, no funcionamento e na integridade ecológica desses ambientes. A expansão da fronteira agrícola, a urbanização acelerada e o uso inadequado dos recursos hídricos configuram-se como os principais vetores de pressão sobre os sistemas aquáticos do bioma, afetando diretamente a qualidade da água e a biodiversidade associada (PADOVESI-FONSECA, 2005; MOREYRA & PADOVESI-FONSECA, 2015; OLIVEIRA, 2017). A poluição decorrente dessas atividades gera consequências ambientais severas, impactando diretamente a ictiofauna e a qualidade hídrica (GALLI, 2022).

Entre os impactos antrópicos mais recorrentes destacam-se a supressão da vegetação ripária, o lançamento de efluentes domésticos e industriais, o uso

intensivo de fertilizantes e agrotóxicos e os processos de assoreamento dos cursos d'água. A remoção da vegetação ciliar compromete a estabilidade das margens, reduz a capacidade de retenção de sedimentos e nutrientes e aumenta a incidência de radiação solar sobre a lâmina d'água (PADOVESI-FONSECA, *op. cit.*; SILVA, 2024). Estudos indicam que o efeito da perda de cobertura florestal é drástico sobre a diversidade de peixes de riachos, especialmente em zonas de transição ecológica (FREITAS, 2019).

No Cerrado, tais impactos assumem maior relevância devido à predominância de corpos hídricos de pequeno porte, como riachos e córregos, que apresentam elevada sensibilidade às alterações no uso e ocupação do solo. A integridade ambiental de córregos urbanos, por exemplo, é severamente afetada pela urbanização, alterando a biota local (SALGUEIRO, 2021). Esses ambientes funcionam como áreas-chave para a manutenção da biodiversidade aquática regional e são altamente dependentes das condições da bacia de drenagem, tornando-se vulneráveis a impactos cumulativos de origem antrópica (PADOVESI-FONSECA, 2023).

Paralelamente às pressões diretas da ação humana, as mudanças climáticas globais representam um fator adicional de estresse para os ecossistemas aquáticos do Cerrado. Alterações nos padrões de precipitação, aumento da frequência de eventos extremos e elevação da temperatura média do ar têm modificado o regime hidrológico do bioma, intensificando períodos de estiagem e promovendo variações abruptas na vazão dos cursos d'água durante a estação chuvosa (SÁ *et al*., 2019). Essas mudanças afetam a disponibilidade hídrica, a conectividade entre habitats e os processos ecológicos fundamentais para a manutenção das comunidades aquáticas.

O aumento da temperatura da água influencia diretamente processos metabólicos, a solubilidade do oxigênio dissolvido e a dinâmica de nutrientes, podendo favorecer a proliferação de organismos oportunistas e reduzir a diversidade biológica. Além disso, a alteração no regime hidrológico interfere nos ciclos reprodutivos, nos padrões de migração e na disponibilidade de áreas de refúgio para diversas espécies de peixes, especialmente aquelas mais sensíveis às variações ambientais (ASSIS *et al*., 2018).

Nesse contexto, os peixes respondem de forma integrada às pressões antrópicas e climáticas, refletindo tanto impactos locais quanto alterações

ambientais de maior escala. Modificações na composição das assembleias ictiológicas, redução da riqueza de espécies sensíveis e aumento da dominância de espécies tolerantes têm sido frequentemente associadas à degradação ambiental e às mudanças no regime hidrológico (SALGUEIRO, 2021; WEISS, 2017). Além disso, alterações histopatológicas em órgãos como brânquias e fígado evidenciam a exposição contínua a contaminantes e a condições ambientais adversas, reforçando o potencial dos peixes como bioindicadores da qualidade ambiental.

A integração entre os efeitos da ação antrópica e das mudanças climáticas tende a intensificar os processos de degradação dos ecossistemas aquáticos do Cerrado, ampliando os riscos à biodiversidade e à disponibilidade de água em quantidade e qualidade. Dessa forma, o uso de peixes como indicadores biológicos torna-se uma ferramenta estratégica para o monitoramento ambiental, permitindo a detecção precoce de impactos, a avaliação da integridade ecológica e o subsídio a políticas públicas voltadas à conservação e ao manejo sustentável dos recursos hídricos no bioma (SÁ *et al*., 2019; PADOVESI-FONSECA, 2023).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo revisar a literatura científica acerca do uso de peixes como bioindicadores da qualidade ambiental em ecossistemas aquáticos do bioma Cerrado, considerando os efeitos das pressões antrópicas e das mudanças climáticas sobre esses ambientes. A partir da análise dos trabalhos selecionados, foi possível evidenciar a relevância da Limnologia como base conceitual para a compreensão integrada dos processos físicos, químicos e biológicos que estruturam os sistemas aquáticos continentais.

O Cerrado destaca-se como um bioma estratégico do ponto de vista hidrológico, atuando como principal área de recarga e divisor de grandes bacias hidrográficas sul-americanas. No entanto, seus ecossistemas aquáticos apresentam elevada vulnerabilidade devido ao predomínio de corpos hídricos de pequeno porte e à forte dependência das condições da bacia de drenagem. A literatura revisada demonstra que a expansão agrícola, a urbanização desordenada, a supressão da vegetação ripária e o uso inadequado dos recursos hídricos têm provocado impactos significativos sobre a qualidade da água e a biodiversidade aquática do bioma.

Nesse contexto, os bioindicadores emergem como ferramentas fundamentais para a avaliação da integridade ecológica dos ecossistemas aquáticos, uma vez que refletem de forma integrada os efeitos cumulativos das pressões ambientais ao longo do tempo. Entre os diferentes grupos utilizados no biomonitoramento, os peixes destacam-se por sua sensibilidade às alterações ambientais, ampla distribuição, diversidade de nichos ecológicos e capacidade de responder a estressores em múltiplos níveis de organização biológica.

A literatura evidencia que alterações na composição das assembleias ictiológicas, bem como respostas fisiológicas, histopatológicas e hematológicas, constituem importantes indicadores da degradação ambiental. Lesões em órgãos-alvo, especialmente nas brânquias e no fígado, revelam-se eficientes como biomarcadores precoces da exposição a contaminantes e a condições ambientais adversas. Além disso, o uso de espécies nativas e ecologicamente relevantes, como predadores de topo, amplia o potencial do biomonitoramento e contribui para uma avaliação mais representativa da qualidade ambiental dos sistemas aquáticos do Cerrado.

As mudanças climáticas, caracterizadas por alterações no regime de precipitação, aumento da temperatura e intensificação de eventos extremos, configuram um fator adicional de pressão sobre os ecossistemas aquáticos do bioma. A interação entre impactos antrópicos locais e mudanças ambientais globais tende a intensificar processos de degradação, afetando a disponibilidade hídrica, a conectividade dos habitats e a estrutura das comunidades aquáticas, reforçando a necessidade de abordagens integradas de monitoramento.

Dessa forma, o uso de peixes como bioindicadores representa uma estratégia eficaz e robusta para a avaliação da qualidade ambiental em ecossistemas aquáticos do Cerrado. A integração de análises biológicas com parâmetros físico-químicos da água é essencial para o diagnóstico ambiental, o planejamento do uso sustentável dos recursos hídricos e a definição de estratégias de conservação. Por fim, deve-se ressaltar a importância da ampliação de estudos limnológicos e ictiológicos no bioma, especialmente aqueles voltados ao biomonitoramento de longo prazo, como subsídio à conservação da biodiversidade e à manutenção dos serviços ecossistêmicos prestados pelos ambientes aquáticos do Cerrado.

9. AGRADECIMENTOS

Este capítulo é produto de atividade desenvolvida na disciplina Limnologia, nível graduação, Universidade de Brasília, ministrada pela Profa. Dra. Claudia Padovesi Fonseca, no período de verão de 2026. A professora é líder do Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL), cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

ASSIS, T.S.; RIBAS, J.L.C.; VIANNA, A.C.C. **Biomarcadores histológicos e bioquímicos de Oreochromis niloticus (Actinopterygii: Cichlidae)**. Brazilian Journal of Ecology – Revista Brasileira de Ecologia, v. 15–16, 2018.

BARBOSA, T.R.; CAETANO, D.L.F.; SILVA, L.G.M. **The application of fish species as bioindicator in mesohabitats of streams inserted into the upper Paraná River system, Brazil.** Revista Biociências, Taubaté, v. 29, n. 2, 2024. DOI: 10.69609/1415-7411.2023.v29.n2.a3776. Disponível em: https://periodicos.unitau.br/biociencias/article/view/3776.

BEZERRA, C.A.M. **Investigação branquial histológica de *Pimelodus blochii, Pimelodina flavipinnis* (Siluriformes: Pimelodidae) e *Psectrogaster amazonica* (Characiformes: Curimatidae) e diversidade parasitária de Monogenoidea de *Psectrogaster amazonica* do médio Rio Tocantins.** Mestrado em Ciência Animal, Universidade Estadual do Maranhão (MA), 2018.

CARDOSO, R.L. **Aspectos reprodutivos e biomarcadores em *Prochilodus lacustris* (Pisces, Prochilodontidae) para avaliação de impactos ambientais em uma área protegida do Maranhão, Brasil**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2016.

COTRIM, C.F.C. **Marcadores genéticos e enzimáticos de peixes como indicadores da antropização da paisagem**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2020.

FREITAS, L.C. **Biomarcadores morfológicos em *Hoplias malabaricus* (Pisces, Characiformes, Erythrinidae) em ambiente dulcícola da área de proteção da baixada maranhense (Brasil)**. 141 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Aquáticos e Pesca), Universidade Estadual do Maranhão (MA), 2017.

FREITAS, P.V. **Efeito da perda de cobertura florestal sobre a diversidade de peixes de riachos em uma zona de transição Cerrado-Amazônia.** Orientadora: Karina Dias da Silva. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) — Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas, Belém, 2019. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/11307.

GALLI, L. **Consequências ambientais da poluição no Rio Tietê: impacto nas águas dos principais rios da região de Bauru – SP.** [S. l.]: Universidade Estadual Paulista, 2022.

MATOS, Z. M.; PIRES, D.J. **TC09 – Bioindicadores da qualidade da água: uma revisão narrativa da literatura.** In: SEMINÁRIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UEG CÂMPUS SUDOESTE – QUIRINÓPOLIS, 3., 2023. Anais [...]. Quirinópolis: Universidade Estadual de Goiás, 2023. p. 275–283.

MOREYRA, A.K.; PADOVESI-FONSECA, C. **Environmental effects and urban impacts on aquatic macroinvertebrates in a stream of central Brazilian Cerrado.** Sustainable Water Resources Management, v. 1, p. 125–136, 2015. DOI: 10.1007/s40899-015-0013-8.

MYERS, N. *et al*. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. Nature, London, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2000.

OLIVEIRA, D.N.; **Levantamento de bioindicadores de degradação ambiental**. Monografia (bacharelado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios, 2017.

PADOVESI-FONSECA, C.; Caracterização dos ecossistemas aquáticos do Cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (orgs.) **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 417-429.

PADOVESI-FONSECA, C.(org.). **Mapeamento de indicadores ambientais e de diversidade biológica aquática da Chapada dos Veadeiros.** [S. l.]: Editora Artemis, 2023. DOI: 10.37572/edart_030723866.

SÁ, R.J.S. *et al*. **Indicadores biológicos de qualidade da água e as mudanças climáticas.** Multidisciplinary Reviews, v. 2, n. 1, p. e2019006, 2019.

SALGUEIRO, T.M. *et al*. **Impacto da área urbana de Diamantina na biota do Córrego da Palha**. In: SEMANA DE INTEGRAÇÃO: ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UFVJM, 8., 2021, Diamantina. Anais [...]. Diamantina: UFVJM, 2021. Disponível em: https://www.even3.com.br/anais/VIIISINTEGRAUFVJM/442299-IMPACTO-DA-AREA-URBANA-DE-DIAMANTINA-NA-BIOTA-DO-CORREGO-DA-PALHA.

SANTOS, B. **Avaliação da qualidade da água do Rio Uberabinha, em áreas urbanas do município de Uberlândia (Minas Gerais, Brasil), por meio de testes de citotoxicidade e genotoxicidade.** Uberlândia: EDUFU – Editora da Universidade Federal de Uberlândia, 2020.

SAVIATO, M.; JUNIOR, J.; MARIANO, W.; LIMA, J. **Avaliação da relevância de *Salminus hilarii* Valenciennes, 1850 como bioindicador utilizando cienciometria.** Acta of Fisheries and Aquatic Resources, v. 12, p. 100–111, 2025. DOI: 10.46732/Actafish.22.100-111.

SAVIATO, M.; JUNIOR, J.; LIMA, J. ***Salminus hilarii* as a biological indicator in the Brazilian Cerrado.** Acta of Fisheries and Aquatic Resources, v. 13, p. 112–121, 2025. DOI: 10.46732/Actafish.22.112-121.

SILVA, G.M.M. **Impactos por agrotóxicos na piscicultura: alterações na morfologia reprodutiva de tilápia, atores sociais e alternativa para a sustentabilidade.** Orientador: Jorge Eduardo Lins Oliveira. 2024. 98 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024.

SOUSA, E.S.; MILHOMEM-PAIXÃO, S.S.R. **Avaliação de mutagenicidade em espécies de peixes na bacia do Rio São Bartolomeu, Alto Rio Paraná, através do teste de micronúcleo.** Observatório de la Economía Latinoamericana, v. 22, n. 8, p. e6212, 2024.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnology**. London: CRC Press, 2017.

WEISS, L.A. **Parâmetros físico-químicos da água e bioacumulação de metais em peixes de tanques-rede em Entre Rios do Oeste-PR.** 2017. 47 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2017.

CAPÍTULO 10

BIODIVERSIDADE DA ICTIOFAUNA CAVERNÍCOLA NO CERRADO

Data de submissão: 05/06/2026
Data de aceite: 18/06/2026

André Luiz Marques de Andrade
Universidade de Brasília
Instituto de Biologia - IB
Brasília - DF
http://lattes.cnpq.br/7282216512593102

Otávio Silverio
Universidade de Brasília
Instituto de Biologia - IB
Brasília - DF
http://lattes.cnpq.br/9019276420527897

RESUMO: Os ambientes cavernícolas são ecossistemas singulares, marcados pela ausência de luz, estabilidade ambiental e escassez de recursos. O bioma Cerrado abriga extensos sistemas cársticos e aquíferos subterrâneos, mas ainda é pouco estudado quanto à sua biodiversidade. O presente estudo conduziu uma revisão bibliográfica baseada em publicações científicas nacionais e internacionais, selecionadas em bases como Google Scholar e SciELO, abrangendo o período de 2015 a 2025. Esta revisão sintetiza o conhecimento disponível sobre a diversidade de peixes cavernícolas no Cerrado, incluindo padrões de riqueza, distribuição, grau de associação ao ambiente subterrâneo e ameaças à conservação. Foram registradas 21 espécies, distribuídas em 13 gêneros, sete famílias e três ordens. A ordem Siluriformes foi predominante, especialmente as famílias Trichomycteridae, Heptapteridae e Loricariidae. O predomínio de populações troglóbias no Cerrado revela ambientes subterrâneos antigos, estáveis e isolados, que favorecem alta especialização e endemismo, mas também alta vulnerabilidade ambiental. As principais ameaças incluem mineração, expansão agropecuária e contaminação dos aquíferos, evidenciando a necessidade de ampliação de estudos e estratégias específicas de conservação.
PALAVRAS-CHAVE: caverna; peixes; diversidade biológica.

BIODIVERSITY OF CAVE-DWELLING ICHTHYOFAUNA IN THE CERRADO

ABSTRACT: Cave environments are unique ecosystems, characterized by the absence of light, environmental stability, and scarcity of resources. The Cerrado biome harbors extensive karst systems and subterranean aquifers, despite its biodiversity remains poorly studied. This study conducted a literature review based on national and international scientific publications,

selected from databases such as Google Scholar and SciELO, covering the period from 2015 to 2025. This review synthesizes the available knowledge on the diversity of cave-dwelling fish in the Cerrado, including patterns of richness, distribution, degree of association with the subterranean environment, and threats to conservation. A total of 21 species were recorded, distributed across 13 genera, seven families, and three orders. The order Siluriformes was predominant, particularly the families Trichomycteridae, Heptapteridae, and Loricariidae. The predominance of troglobitic populations in the Cerrado reveals ancient, stable, and isolated subterranean environments which favor high specialization and endemism, but also high environmental vulnerability. The main threats include mining, agricultural expansion, and aquifer contamination, highlighting the need for expanded studies and specific conservation strategies.
KEYWORDS: cave; fishes; biological diversity.

1. INTRODUÇÃO

Os ambientes cavernícolas representam alguns dos ecossistemas mais singulares do planeta. A ausência permanente de luz, a relativa estabilidade térmica e a baixa disponibilidade de alimento criam condições ambientais diferenciadas, que moldam comunidades biológicas altamente especializadas (GALLÃO & BICHUETTE, 2018). Esses ambientes funcionam como verdadeiros laboratórios naturais, onde processos ecológicos e evolutivos ocorrem de forma distinta daqueles observados em ecossistemas aquáticos superficiais, como lagos e rios, em função do isolamento ambiental e das restrições ecológicas impostas pelo meio subterrâneo (GALLÃO & BICHUETTE, *op. cit.*).

O Brasil destaca-se mundialmente pela elevada diversidade subterrânea, abrigando muitas espécies adaptadas à vida em cavernas e águas subterrâneas (TRAJANO *et al*., 2016; BICHUETTE, 2021). Entre esses organismos, os peixes cavernícolas ocupam posição de destaque, tanto pela singularidade de suas adaptações quanto pela elevada vulnerabilidade às alterações ambientais. Esses peixes podem ser classificados como troglóbios, quando possuem seu ciclo de vida restrito ao ambiente subterrâneo, ou troglófilos, quando utilizam tanto habitats subterrâneos quanto superficiais (BICHUETTE, *op. cit.*).

As espécies troglóbias apresentam adaptações marcantes associadas à vida em ambientes permanentemente escuros, como a redução ou perda da pigmentação e da visão, além de modificações sensoriais e comportamentais, que favorecem a exploração de recursos escassos (BICHUETTE, *op. cit.*; GOMES

et al., 2021). Essas características aliadas ao isolamento geográfico típico dos sistemas cavernícolas, resultam em elevados níveis de endemismo e distribuições extremamente restritas, tornando essas espécies particularmente sensíveis a distúrbios ambientais.

O bioma Cerrado abriga extensas áreas cársticas e importantes sistemas aquíferos subterrâneos, desempenhando papel fundamental na manutenção da biodiversidade e dos recursos hídricos do país. Apesar dessa relevância, o conhecimento sobre a biodiversidade de peixes cavernícolas no Cerrado ainda é limitado quando comparado a outras regiões brasileiras, como a Mata Atlântica e o Nordeste cárstico (GALLÃO & BICHUETTE, 2018; GOMES *et al.*, 2021). A dificuldade de acesso aos ambientes subterrâneos, aliada à escassez de estudos sistemáticos, contribui para a subestimação da diversidade real desses organismos no bioma.

Além das lacunas de conhecimento, os peixes cavernícolas enfrentam uma série de ameaças associadas às atividades humanas. A mineração, a construção de barragens, as mudanças no uso do solo e a contaminação dos aquíferos podem provocar impactos severos e, muitas vezes, irreversíveis sobre populações que já apresentam baixa resiliência ecológica (BICHUETTE & GALLÃO, 2021; TRAJANO *et al.*, 2020). Nesse contexto, a realização de revisões bibliográficas torna-se fundamental para reunir o conhecimento disponível, identificar padrões gerais e apontar lacunas que orientem futuras pesquisas e ações de conservação.

O presente capítulo tem como objetivo revisar o conhecimento científico disponível sobre a biodiversidade de peixes cavernícolas, abordando aspectos relacionados à riqueza, distribuição e adaptações ecológicas dessas espécies, com ênfase no bioma Cerrado. Busca-se, ainda, discutir as principais ameaças antrópicas que afetam os peixes cavernícolas e seus habitats subterrâneos, bem como identificar lacunas de conhecimento e perspectivas para futuras pesquisas e estratégias de conservação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo consiste em uma revisão bibliográfica sobre a biodiversidade de peixes cavernícolas, com ênfase em registros e discussões

relacionadas ao bioma Cerrado. A revisão foi conduzida a partir da análise de publicações científicas disponíveis na literatura nacional e internacional, com foco em estudos que abordam aspectos de biodiversidade, ecologia, distribuição e conservação de peixes associados a ambientes subterrâneos.

A busca bibliográfica foi realizada entre os anos de 2015 e 2025, de modo a contemplar produções científicas recentes e atualizadas. Foram consultadas bases de dados amplamente reconhecidas, como Google Scholar, SciELO e periódicos especializados em biodiversidade, ecologia aquática e biologia subterrânea. As palavras-chave utilizadas na busca incluíram os termos "caverna", "peixe" e "diversidade", bem como seus correspondentes em inglês "cave", "fish" e "diversity", combinados entre si.

Foram incluídos na revisão artigos científicos originais e de revisão que tratassem diretamente da ictiofauna cavernícola, com prioridade para estudos realizados no Brasil e, sempre que possível, com registros no bioma Cerrado. Trabalhos que abordassem exclusivamente outros grupos taxonômicos ou ambientes subterrâneos não aquáticos foram considerados apenas quando contribuem para a compreensão geral da biodiversidade e da conservação dos sistemas subterrâneos. Foram excluídas publicações fora do recorte temporal estabelecido ou que não apresentassem dados ou discussões relevantes para o tema proposto.

A análise dos estudos selecionados foi conduzida de forma qualitativa e descritiva. As informações extraídas incluíram dados sobre riqueza de espécies, padrões de distribuição geográfica, categorias ecológicas (troglóbios e troglófilos), adaptações associadas à vida subterrânea e principais ameaças aos habitats cavernícolas. Sempre que possível, os resultados foram organizados de modo a evidenciar tendências gerais e lacunas de conhecimento relacionadas à biodiversidade de peixes cavernícolas no Cerrado.

3. DIVERSIDADE TAXONÔMICA DE PEIXES CAVERNÍCOLAS NO CERRADO

A revisão bibliográfica permitiu o levantamento de populações de peixes associadas a ambientes cavernícolas no bioma Cerrado. No total, foram registradas 21 espécies, distribuídas em 13 gêneros e sete famílias. Esses resultados evidenciam uma expressiva diversidade taxonômica nos sistemas

subterrâneos aquáticos do Cerrado, reforçando a relevância do bioma para a ictiofauna cavernícola brasileira (GALLÃO & BICHUETTE, 2018; SIMÕES & BICHUETTE, 2021).

A ordem Siluriformes apresentou ampla dominância, reunindo a maior parte das famílias e espécies registradas, especialmente Trichomycteridae, Heptapteridae, Loricariidae e Callichthyidae. Esse padrão é consistente com outros estudos que apontam os Siluriformes como o grupo mais representativo em ambientes subterrâneos neotropicais, devido à sua plasticidade ecológica e morfológica (TRAJANO & De PINNA, 2015).

Tabela 1. Classificação taxonômica, localidade e referências das espécies de peixes cavernícolas registradas no bioma Cerrado, Brasil. CSR= classificação Schiner-Racovitza (SCHINER, 1854; RACOVITZA, 1907), +++ = Troglóbio e ++ = Troglófilo.

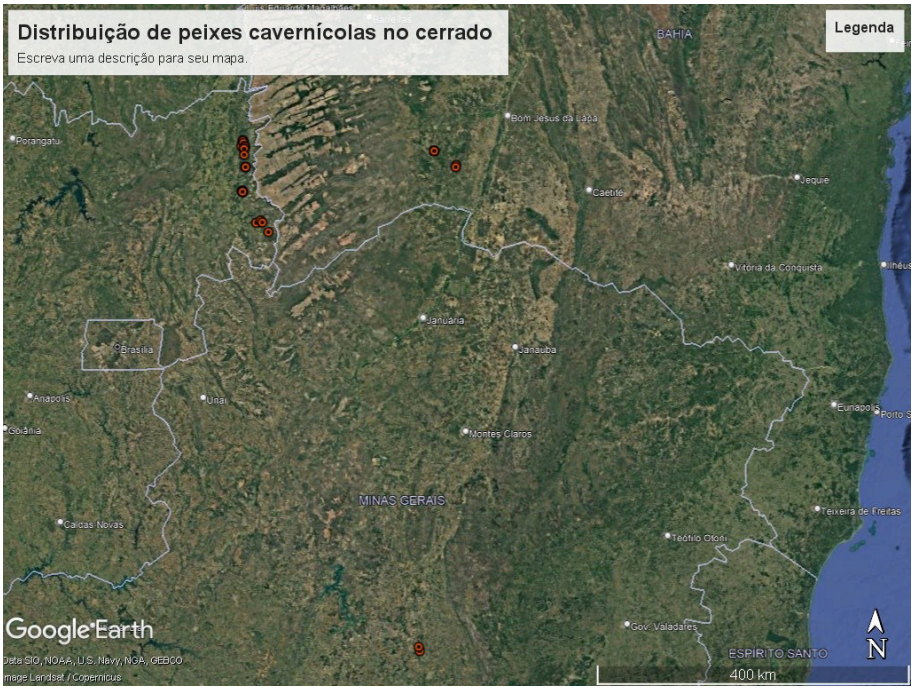
Ordem	Família	Espécie	Caverna (Estado)	CSR	Estado	Referência
Siluriformes	Loricariidae	*Ancistrus cryptophthalmus*	Lapa Angélica	+++	GO	Reis 1987
Siluriformes	Loricariidae	*Ancistrus cryptophthalmus*	Lapa do Bezerra	+++	GO	Reis 1987
Siluriformes	Loricariidae	*Ancistrus cryptophthalmus*	Lapa Passa Três	+++	GO	Reis 1987
Siluriformes	Loricariidae	*Ancistrus cryptophthalmus*	Lapa de São Vicente I	+++	GO	Reis 1987
Siluriformes	Callichthyidae	*Aspidoras albater*	Gruta do Russão III	+++	GO	Secutti et al. 2011
Siluriformes	Callichthyidae	*Aspidoras albater*	Russão II	+++	GO	Secutti et al. 2011
Siluriformes	Callichthyidae	*Aspidoras albater*	Caverna do Anésio III	+++	GO	Secutti et al. 2011
Siluriformes	Callichthyidae	*Aspidoras mephisto*	Russão II	+++	GO	Tencatt and Bichuette 2017
Siluriformes	Callichthyidae	*Aspidoras mephisto*	Caverna do Anésio III	+++	GO	Tencatt and Bichuette 2017
Gymnotiformes	Sternopygidae	*Eigenmannia vicentespelaea*	Lapa de São Vicente II	+++	GO	Triques 1996
Gymnotiformes	Sternopygidae	*Eigenmannia vicentespelaea*	Lapa de São Vicente I	+++	GO	Triques 1996
Characiformes	Erythrinidae	*Erythrinus sp*	Gruta do Enfurnado	++	BA	Trajano et al. 2010
Gymnotiformes	Gymnotidae	*Gymnotus cf carapo*	Gruta da Morena	++	MG	Trajano et al. 2010
Characiformes	Erythrinidae	*Hoplias cf malabaricus*	Gruta do Enfurnado	++	BA	Trajano et al. 2010
Siluriformes	Loricariidae	*Hypostomus sp*	São Bernardo	++	GO	Trajano et al. 2010
Siluriformes	Heptapteridae	*Imparfinis hollandi*	Lapa Angélica	++	GO	Trajano et al. 2010

Siluriformes	Trichomycteridae	*Ituglanis bambui*	Lapa Angélica	+++	GO	Bichuette and Trajano 2004
Siluriformes	Trichomycteridae	*Ituglanis boticario*	Gruta da Tarimba	+++	GO	Bichuette and Trajano 2008
Siluriformes	Trichomycteridae	*Ituglanis epikarsticus*	Lapa do São Mateus III	+++	GO	Bichuette and Trajano 2004
Siluriformes	Trichomycteridae	*Ituglanis mambai*	Lapa do Sumidouro do Landin I	+++	GO	Bichuette and Trajano 2008
Siluriformes	Trichomycteridae	*Ituglanis passensis*	Lapa Passa Três	+++	GO	Fernández and Bichuette 2002
Siluriformes	Trichomycteridae	*Ituglanis ramiroi*	São Bernardo	+++	GO	Bichuette and Trajano 2004
Siluriformes	Trichomycteridae	*Ituglanis sp.*	Gruta do Russão III	++	GO	Trajano et al. 2010
Siluriformes	Trichomycteridae	*Ituglanis sp.*	Russão II	++	GO	Trajano et al. 2010
Siluriformes	Trichomycteridae	*Ituglanis sp.*	Caverna do Anésio III	++	GO	Trajano et al. 2010
Siluriformes	Heptapteridae	*Pimelodella spelaea*	São Bernardo	+++	GO	Trajano et al., 2004
Siluriformes	Heptapteridae	*Rhamdia enfurnada*	Gruta do Enfurnado	+++	BA	Bichuette and Trajano 2005
Siluriformes	Heptapteridae	*Rhamdiopsis sp.*	Gruta do Salitre	+++	MG	Trajano and Bichuette 2010
Siluriformes	Trichomycteridae	*Trichomycterus rubbioli*	Lapa dos Peixes	+++	BA	Bichuette and Rizzato 2012
Siluriformes	Trichomycteridae	*Trichomycterus rubbioli*	Gruna da Água Clara	+++	BA	Bichuette and Rizzato 2012
Siluriformes	Trichomycteridae	*Trichomycterus sp. A*	Penhasco	++	GO	Trajano 2001
Siluriformes	Trichomycteridae	*Trichomycterus sp. A*	Nova Esperança	++	GO	Trajano 2001

4. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS GRUPOS

As populações de peixes cavernícolas do Cerrado encontram-se distribuídas em três estados brasileiros: Goiás, Minas Gerais e Bahia. O estado de Goiás concentra a maior riqueza registrada, com 25 táxons, destacando-se a região cárstica de São Domingos (GO) como um dos principais hotspots de biodiversidade subterrânea. Em Minas Gerais, foram registrados dois táxons, enquanto o estado da Bahia abriga cinco táxons.

Figura 1. Distribuição espacial das espécies de peixes cavernícolas registradas no bioma Cerrado, Brasil. Fonte: Google Earth, imagem de satélite (2026).



Essa distribuição reflete uma forte associação entre a ocorrência de peixes cavernícolas e áreas com sistemas cársticos bem desenvolvidos e aquíferos subterrâneos, os quais fornecem condições ambientais favoráveis à colonização e manutenção dessas populações. No entanto, observa-se uma concentração espacial dos registros em regiões mais intensamente amostradas, indicando possíveis vieses de esforço amostral e sugerindo que a diversidade real do bioma pode estar subestimada (GALLÃO & BICHUETTE, 2018; BICHUETTE *et al*., 2020).

5. ASPECTOS MORFOLÓGICOS E GRAU DE ASSOCIAÇÃO AO AMBIENTE SUBTERRÂNEO

Com base na classificação de Schiner-Racovitza (SCHINER, 1854; RACOVITZA, 1907) .as populações analisadas podem ser enquadradas em diferentes graus de associação ao ambiente cavernícola: troglóbias, troglófilas e trogloxenas. As populações troglóbias são aquelas restritas exclusivamente ao ambiente subterrâneo, frequentemente apresentando características morfológicas

típicas da vida em cavernas, como redução ou ausência de olhos, despigmentação e alongamento de estruturas sensoriais.

O predomínio de populações troglóbias no Cerrado indica a existência de ambientes subterrâneos estáveis, antigos e ecologicamente isolados, capazes de sustentar processos de especialização extrema ao longo do tempo evolutivo (CULVER & PIPAN, 2019; BICHUETTE, 2021). Essas populações são, em sua maioria, endêmicas e associadas a sistemas aquíferos específicos, o que as torna particularmente vulneráveis a alterações ambientais.

As populações troglófilas e trogloxenas, por sua vez, utilizam tanto ambientes subterrâneos quanto superficiais, desempenhando um papel essencial na conectividade ecológica entre esses sistemas. Esses grupos contribuem para o fluxo de energia e nutrientes, evidenciando que a integridade ecológica das cavernas depende diretamente da conservação das áreas externas, especialmente das zonas de recarga dos aquíferos e das bacias hidrográficas associadas (GALLÃO & BICHUETTE, 2018; BICHUETTE & GALLÃO, 2021).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que o bioma Cerrado abriga uma diversidade significativa de peixes associados a ambientes cavernícolas, reforçando sua importância como área prioritária para a conservação da biodiversidade subterrânea no Brasil (BICHUETTE *et al*., 2018; SIMÕES & BICHUETTE, 2021). A elevada riqueza registrada, distribuída em diferentes grupos taxonômicos, sugere que os sistemas subterrâneos do Cerrado desempenham papel fundamental nos processos evolutivos e ecológicos da ictiofauna brasileira (TRAJANO & De PINNA, 2015).

Além disso, o elevado grau de endemismo observado em diversas populações reforça o potencial do Cerrado como um dos principais centros de diversificação de peixes cavernícolas na região Neotropical, embora ainda seja considerado um bioma subamostrado sob a perspectiva da biodiversidade subterrânea (SIMÕES & BICHUETTE, 2021).

A elevada proporção de populações ainda não classificadas quanto ao grau de associação ao ambiente cavernícola evidencia lacunas significativas de conhecimento sobre a ecologia e a biologia dessas espécies. Essa limitação está

relacionada, principalmente, à escassez de estudos ecológicos detalhados, à dificuldade de acesso aos sistemas subterrâneos e à concentração das pesquisas em poucas regiões do bioma.

Como consequência, a diversidade real de peixes cavernícolas do Cerrado pode estar subestimada, reforçando a necessidade de ampliação de inventários biológicos, estudos populacionais e análises ecológicas de longo prazo (BICHUETTE *et al*., 2020).

Sob a perspectiva da conservação, os resultados indicam que as populações de peixes cavernícolas do Cerrado estão expostas a diversas ameaças antrópicas, como mineração, expansão agropecuária, uso intensivo dos recursos hídricos e contaminação dos aquíferos subterrâneos (TRAJANO & BICHUETTE, 2016; BICHUETTE *et al*., 2020). Considerando a baixa resiliência ecológica, o alto grau de endemismo e a distribuição espacial restrita de muitas dessas populações, tais impactos podem resultar em perdas irreversíveis de biodiversidade.

Dessa forma, torna-se essencial a incorporação da biodiversidade subterrânea do Cerrado em políticas públicas, planos de manejo e estratégias de conservação, bem como o fortalecimento de ações de proteção das áreas cársticas e das zonas de recarga aquífera (BICHUETTE & GALLÃO, 2021; SIMÕES & BICHUETTE, 2021).

7. AGRADECIMENTOS

Este capítulo é produto de atividade desenvolvida na disciplina Limnologia, nível graduação, Universidade de Brasília, ministrada pela Profa. Dra. Claudia Padovesi Fonseca, no período de verão de 2026. A professora é líder do Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL), cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

BICHUETTE, M.E. *et al.* **Spots of high diversity of troglobites in Brazil: the challenge of measuring subterranean diversity**. Biodiversity and Conservation, 29, 1–19, 2020.

BICHUETTE, M. E.; GALLÃO, J. E. **Ecologia de peixes de cavernas brasileiras**. Oecologia Australis, 25 (1), 1–20, 2021.

BICHUETTE, M.E.; GALLÃO, J.E.; TRAJANO, E. **Under the surface: what we know about the threats to subterranean fishes in Brazil**. Journal of Fish Biology, 96, 1–14, 2020.

BICHUETTE, M.E.; TRAJANO, E. **Ecology and distribution of subterranean fishes in Brazil**. Environmental Biology of Fishes, 72 (3), 291–302, 2005.

BICHUETTE, M.E.; TRAJANO, E. **Biology and conservation of subterranean fishes in Brazil**. Ichthyological Exploration of Freshwaters, 29, 1–20, 2018.

BICHUETTE, M.E.; TRAJANO, E. **Ituglanis boticario, a new troglomorphic catfish (Teleostei: Siluriformes: Trichomycteridae) from Mambaí karst area, central Brazil**. Neotropical Ichthyology, 6 (1), 9–15, 2008.

CULVER, D.C.; PIPAN, T. **The biology of caves and other subterranean habitats**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 2019.

GALLÃO, J.E.; BICHUETTE, M.E. **Brazilian subterranean biodiversity: an overview**. Subterranean Biology, 26, 1–22, 2018.

GALLÃO, J.E.; BICHUETTE, M.E. **Mapping subterranean biodiversity hotspots in Brazil**. Biological Conservation, 219, 1–9, 2018.

RACOVITZA, E.G. **Essai sur les problèmes biospéologiques.** Archives de zoologie expérimentale et générale, Paris, 6, 371–488, 1907.

SIMÕES, L.B.; BICHUETTE, M.E. **Subterranean ichthyofauna of the Cerrado biome**. *Neotropical Ichthyology*, 19 (3), e210045, 2021.

TENCATT, L.F.C.; BICHUETTE, M.E. **Aspidoras mephisto, new species: the first troglobitic Callichthyidae (Teleostei: Siluriformes) from South America**. PLoS ONE, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0171309.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M.E. **Conservation of Brazilian cave fishes**. Environmental Biology of Fishes, 98, 1–15, 2015.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M.E. **Threats to subterranean fishes in Brazil**. Subterranean Biology, 19, 1–20, 2016.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M.E.; KAPOOR, B.G. (eds.). **Biology of subterranean fishes**. Enfield, NH: Science Publishers, 2010.

TRAJANO, E.; DE PINNA, M. C. C. **Diversity of Brazilian troglobitic fishes: models of colonization and differentiation in subterranean habitats**. Environmental Biology of Fishes, 98, 1–14, 2015.

SOBRE A ORGANIZADORA

Dra. Claudia Padovesi Fonseca – Professora Titular da Universidade de Brasília (UnB, Brasil). Bióloga formada pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar, Brasil), Mestre em Engenharia Civil: Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP, Brasil) e Doutora em Engenharia Ambiental (USP, Brasil). Realizou dois Estágios Pós-Doutoral no exterior: em Limnologia na Universidade de Granada, Granada, Espanha; e em Ecologia Aplicada na Universidade de Paris Pierre e Marie Curie, Paris, França. Até o presente foi responsável pela orientação e formação de mestres e doutores na área de Limnologia (PPG Ecologia, UnB), mestres professores de biologia (ProfBio) e gestores de água (ProfÁgua), além de estagiários de graduação, inclusive de alunos estrangeiros. É líder do grupo de pesquisa Núcleo de Estudos Limnológicos (NEL) da UnB, cadastrado no CNPq desde 1997. Tem experiência na área de Ecologia, com ênfase em Limnologia, atuando principalmente nos seguintes temas: qualidade de água, biota aquática (zooplâncton, fitoplâncton, bentos e peixes), ambientes lóticos (riachos) e lênticos (lagoas e reservatórios), Brasil central e Amazônia.

Orcid: https://orcid.org/0000-0001-7915-3496

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aquíferos 1, 3, 4, 12, 16, 18, 24, 117, 126, 128, 132, 133, 134

B

Bacia hidrográfica 7, 16, 18, 36, 57, 104
Bentos 103
Biota aquática 90, 93, 94, 99, 105, 113, 115
Brasil 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 13, 15, 16, 17, 27, 28, 30, 33, 36, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 61, 65, 66, 70, 71, 72, 75, 77, 78, 90, 92, 100, 101, 102, 103, 104, 112, 114, 124, 125, 127, 129, 130, 132, 133
Brasil central 1, 9, 15, 16, 42, 103

C

Caverna 126, 129, 130, 131
Cerrado 1, 2, 9, 14, 15, 16, 17, 18, 26, 27, 36, 41, 42, 75, 76, 77, 78, 81, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135
Condições ambientais 34, 38, 77, 79, 83, 103, 107, 113, 114, 122, 123, 127, 132
Contaminação hídrica 59
Curso fluvial 103

D

Desenvolvimento Sustentável 16, 17, 18, 23, 27
Diretrizes 46, 56, 59, 87, 112
Diversidade biológica 13, 89, 101, 121, 125, 126
Domínio Cerrado 1, 2, 9, 113, 114, 115

E

Ensino da biologia 29, 37

I

Integridade de riachos 29

L

Lagos 24, 75, 90, 127
Lagos artificiais 90

M

Mananciais 3, 9, 13, 16, 18, 46, 104
Microcrustáceos 90, 95
Monitoramento ambiental 44, 45, 75, 78, 86, 87, 118, 122

P

Peixes 106, 113, 114, 115, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134
Planalto Central 1, 2, 3, 13, 18, 117
Poluição das águas 45, 46
Poluição plástica 59, 62
Proteção integral 1
Protocolo de Avaliação Rápida 28, 29, 31, 32, 33, 34, 40, 42

Q

Qualidade ambiental 22, 29, 30, 33, 34, 47, 75, 76, 78, 83, 85, 86, 94, 96, 113, 114, 118, 119, 122, 123

R

Recursos hídricos 1, 2, 3, 6, 8, 9, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 31, 40, 41, 43, 44, 46, 47, 53, 55, 56, 58, 60, 66, 72, 73, 75, 83, 84, 86, 87, 90, 93, 113, 117, 120, 122, 123, 128, 134
Regulamentação hídrica 45
Rotíferos 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 99

S

Savana brasileira 104, 113
Sazonalidade climática 75, 77, 78, 84, 85, 87

T

Tecnologia da informação 29, 34, 36

EDITORA
ARTEMIS
2026