

REVISÃO SISTEMÁTICA DE TESTES ECOTOXICOLÓGICOS COMO FERRAMENTA DE BIOMONITORAMENTO EM RIOS URBANOS

SYSTEMATIC REVIEW OF ECOTOXICOLOGICAL TESTS AS A BIOMONITORING TOOL IN URBAN RIVERS

Celymara Joice Barros Braga*
Thayres de Sousa Andrade**

RESUMO

O presente trabalho revisa sistematicamente o uso de testes ecotoxicológicos como ferramentas de biomonitoramento em rios urbanos no Brasil, destacando sua relevância frente ao impacto crescente das atividades humanas sobre a qualidade da água. Foram analisados 80 estudos publicados entre 2008 e 2023, dos quais 33 atenderam aos critérios de seleção. A metodologia incluiu a busca em bases de dados como Scopus e ScienceDirect, utilizando termos específicos relacionados à ecotoxicologia e rios urbanos. Os principais organismos bioindicadores utilizados foram *Allium cepa*, *Lactuca sativa* e *Daphnia similis*, com predomínio de *Allium cepa*, que mostrou alta sensibilidade a contaminantes como metais pesados, pesticidas e hidrocarbonetos. Os resultados indicaram que os testes ecotoxicológicos são eficazes na detecção de substâncias tóxicas, oferecendo uma avaliação detalhada dos impactos sobre a biota aquática. Contudo, a implementação dessas técnicas no Brasil ainda enfrenta desafios, como a falta de infraestrutura. Conclui-se que os testes ecotoxicológicos são fundamentais para o biomonitoramento de rios urbanos e para apoiar políticas públicas de conservação ambiental.

Palavras-chave: qualidade da água; contaminantes; impactos.

ABSTRACT

This study systematically reviews the use of ecotoxicological tests as biomonitoring tools in urban rivers in Brazil, highlighting their relevance due to the increasing impact of human activities on water quality. A total of 80 studies published between 2008 and 2023 were analyzed, with 33 meetings the established selection criteria. The methodology included database searches such as Scopus and ScienceDirect using specific terms related to ecotoxicology and urban rivers. The main bioindicator organisms used were *Allium cepa*, *Lactuca sativa*, and *Daphnia similis*, with *Allium cepa* showing high sensitivity to contaminants such as heavy metals, pesticides, and hydrocarbons. The results indicated that ecotoxicological tests are effective in detecting toxic substances, providing a detailed assessment of their impacts on aquatic biota. However, the implementation of these techniques in Brazil still faces challenges, such as a lack of infrastructure. It is concluded that ecotoxicological tests are essential for biomonitoring urban rivers and supporting public policies for environmental conservation.

Keywords: water quality; contaminant; impacts.

*Aluna de graduação do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Campus de Crateús. E-mail: bragacelymara@gmail.com

**Profª. Dra. Thayres de Sousa Andrade do campus de Crateús. E-mail: thayresandrade@crateus.ufc.br

1 INTRODUÇÃO

1.1 Qualidade da Água

Por muito tempo a água foi considerada como um recurso infinito, cuja disponibilidade estaria à disposição de atender às necessidades humanas sem preocupações, por considerar que suas características ambientais seriam restauradas naturalmente (GLORIA; HORN; HILGEMANN, 2017). No entanto, o crescimento populacional, a intensificação das atividades industriais e agrícolas, além da urbanização desordenada, tem causado impactos significativos nos ecossistemas aquáticos (MARQUES, 1993, p. 57, apud TROLEIS e BASSO, 2011, p. 114).

A qualidade da água é influenciada por fenômenos naturais e por ações antrópicas, uma vez que é função do uso de ocupação do solo na bacia hidrográfica, sendo assim, representada por características físicas, químicas e biológicas (VON SPERLING, 1996). Segundo Silveira e Sant'Anna (1990), a poluição hídrica origina-se de quatro principais fontes, sendo os esgotos domésticos uma das mais significativas, responsáveis por introduzir compostos orgânicos biodegradáveis nos ecossistemas aquáticos. Além disso, transformações invisíveis, como a eliminação de algas e outras espécies essenciais, são impactos causados por diferentes tipos de poluição, incluindo a física, físico-química, orgânica e mineral, afetando de forma diversificada os organismos aquáticos e os ambientes naturais (SILVEIRA; SANT'ANNA, 1990).

Dada a crescente interferência humana nos recursos naturais, fez-se necessário a elaboração de políticas públicas efetivas para o controle da poluição, bem como a implementação de práticas de gestão e conservação para garantir a preservação dos ecossistemas aquáticos e a segurança hídrica a longo prazo. Até a aprovação da Lei nº 9.433/1997, conhecida como Lei das Águas e/ou Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a proteção das águas se dava de forma indireta e associada a diversos interesses, fazendo com que as normas fossem de caráter econômico, sanitário ou associadas à proteção da propriedade privada (BRASIL, 1997).

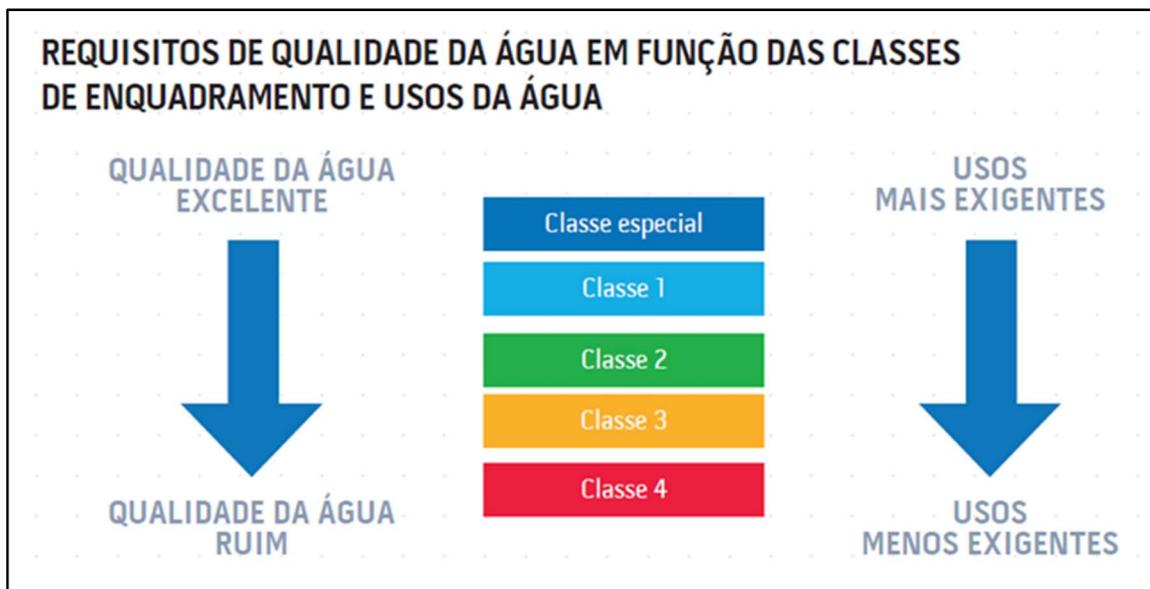
A PNRH inaugurou uma nova forma de gestão desse recurso no Brasil. Para cumprir com seus objetivos, a lei das águas estabeleceu instrumentos que auxiliam na gestão dos recursos hídricos no Brasil. O enquadramento dos corpos hídricos é um dos principais instrumentos previstos na PNRH, com o objetivo de assegurar a qualidade das águas para seus usos preponderantes, bem como proteger os ecossistemas aquáticos. Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA), o enquadramento dos corpos hídricos é um instrumento de planejamento, por se tratar de um plano que não pretende apenas classificar o estado atual de qualidade dos corpos d'água, mas busca determinar metas de qualidade de água a serem

mantidas ou alcançadas, com intuito de atender às necessidades da sociedade, segundo os usos demandados (BRASIL, 2014).

O enquadramento classifica os corpos hídricos em diferentes classes, de acordo com as suas características de qualidade e as necessidades de uso das águas. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece as classes de enquadramento dos corpos de águas superficiais, conforme os usos preponderantes, onde há uma subdivisão de classes, associando a qualidade da água com os usos exigentes.

A Figura 1 ilustra o esquema utilizado para analisar as classes de enquadramento e usos da água. A subdivisão de classes é feita de maneira crescente, logo quanto maior o número da classe, haverá um menor grau de exigência de qualidade da água imposto a determinadas atividades. Com relação à classe especial, a Resolução define que ela estará destinada aos usos que necessitem de um grau maior de qualidade de água, sendo a classe mais restritiva que impedirá atividades humanas que porventura venham a interferir na qualidade do corpo d'água, impossibilitando o lançamento de efluentes, mesmo tratados.

Figura 1: Requisitos de qualidade da água e função das classes de enquadramento da água



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)

A aplicação desse instrumento de gestão visa, portanto, a melhoria progressiva da qualidade dos corpos d'água, incentivando o controle de poluentes que possam afetar os ecossistemas aquáticos (BRASIL, 2020). Em áreas urbanas, os rios recebem poluentes provenientes tanto de fontes pontuais, como efluentes domésticos e industriais, quanto de fontes difusas, que são resultado do escoamento superficial durante chuvas, que carrega materiais das

superfícies urbanas para os corpos hídricos, agravando a poluição nas áreas com grande adensamento populacional (PEREIRA et al., 2021). Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade em direcionar políticas públicas eficazes de saneamento e monitoramento da qualidade das águas, a fim de mitigar os impactos e melhorar a saúde ambiental dos ecossistemas aquáticos.

Além de definir os parâmetros de qualidade para classificação dos corpos hídricos, a CONAMA 357/2005, também estabelece o uso de outros indicadores, como os ensaios ecotoxicológicos, que avaliam de maneira contínua a toxicidade dos contaminantes presentes na água. Os testes ecotoxicológicos permitem avaliar também, as possíveis interações entre substâncias e a presença de contaminantes não listados na Resolução, mas passíveis de causar danos à biota aquática, comprometendo funções ecológicas e usos sociais e econômicos (BRASIL, 2005).

Embora previstos na Resolução CONAMA, poucos estados brasileiros implementaram o uso de ensaios ecotoxicológicos no monitoramento e avaliação dos impactos de efluentes e poluentes sobre organismos aquáticos. Segundo Gazola (2020), apenas os estados de São Paulo, Santa Catarina, Paraná, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Rio Grande do Sul implementaram critérios próprios de toxicidade, voltados principalmente para o controle de efluentes industriais.

Em Santa Catarina, a Portaria FATMA nº 017/2002 define limites de toxicidade aguda para efluentes líquidos, exigindo ensaios com organismos de diferentes níveis tróficos. O Paraná, com a Resolução CEMA nº 81/2010, e o Rio de Janeiro, através da Resolução CONEMA nº 86/2018, estabelecem padrões para toxicidade aguda e crônica. Além disso, Minas Gerais e Rio Grande do Sul exigem testes com diferentes organismos-teste para garantir o controle dos efluentes industriais (GAZOLA, 2020).

Em conjunto com o enquadramento dos corpos hídricos, os testes ecotoxicológicos atuam como ferramentas indispensáveis para o biomonitoramento, contribuindo para identificar áreas de risco e assegurando que os corpos d'água mantenham suas funções ecológicas e usos múltiplos.

1.2 Poluição Hídrica

O crescimento desordenado das áreas urbanas no Brasil tem gerado impactos ambientais significativos, especialmente na qualidade dos corpos d'água. (ISSA, 2019). Os rios que atravessam cidades muitas vezes enfrentam pressões ambientais resultantes do descarte irregular de resíduos sólidos e efluentes domésticos e industriais, transformando-se em

paisagens degradadas. Esse cenário de poluição compromete tanto a biodiversidade aquática quanto a qualidade de vida das populações urbanas, além de intensificar problemas como enchentes e o assoreamento, afetando o equilíbrio dos ecossistemas e a saúde pública (COSTA *et al.*, 2008).

Nessa perspectiva, Laczynski e Oliveira (2002) definem que as cidades, em geral, se desenvolveram às margens de algum corpo hídrico que foi utilizado tanto para abastecimento, quanto para transporte, sendo suas margens utilizadas também para lazer e, por consequência, os rios foram atingidos pela poluição industrial e doméstica, alterando até mesmo a existência natural dos rios e dando lugar a avenidas e ocupações irregulares.

À vista disso, a ecotoxicologia tem sido utilizada como um parâmetro essencial para avaliar a toxicidade de uma amostra, determinando os efeitos e o tempo de resposta em diferentes concentrações da substância no organismo analisado (CASTRO, 2022).

Os testes de ecotoxicidade são fundamentais para avaliar o impacto de substâncias químicas no meio ambiente. Além disso, esses testes são aplicados em organismos aquáticos e terrestres, permitindo assim prever e mitigar riscos ambientais (YAN *et al.*, 2019). Ademais, os resultados obtidos servem como base para regulamentações ambientais, especialmente no monitoramento de poluentes em corpos d'água (BERTOLETTI; ZAGATTO, 2006).

As análises constituem-se em ensaios laboratoriais realizados sob condições experimentais específicas e controladas, utilizados para avaliar a toxicidade de substâncias químicas, efluentes industriais e amostras ambientais de águas e sedimentos (COSTA *et al.*, 2008). Complementando essas análises, o controle da qualidade das águas e dos efluentes líquidos também envolve avaliações das suas condições físicas, químicas e biológicas, que visam verificar e quantificar os parâmetros de qualidade da água (OLIVEIRA, 2021).

Os modelos de teste variam conforme o ambiente de estudo e o organismo modelo. A ecotoxicologia terrestre é uma área da ecotoxicologia que foca exclusivamente no estudo de ambientes terrestres, utilizando ensaios ecotoxicológicos padronizados internacionalmente pela International Organization for Standardization (ISO) e pela Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (SERAFINI; SOARES; SEGAT, 2018). Nesses ensaios, espécies bioindicadoras, sejam animais ou plantas, são expostos a solos contaminados com o resíduo ou produto em análise, visando qualificar e quantificar nestes organismos efeitos negativos (SERAFINI; SOARES; SEGAT, 2018).

A ecotoxicologia aquática se concentra em avaliar os efeitos adversos de poluentes químicos no ambiente aquático, utilizando organismos bioindicadores, como peixes e macroinvertebrados bentônicos, em bioensaios laboratoriais, sendo esses testes essenciais para

determinar os impactos dos contaminantes na biota aquática, permitindo identificar alterações morfofisiológicas nos organismos expostos (SILVA et al., 2015). Através desses testes é possível detectar o efeito das toxinas presentes no meio através de testes crônicos e agudos, cuja diferença entre esses está relacionada com o tempo que o bioindicador estará exposto ao potencial contaminante (LAPA et al., 2014).

A toxicidade crônica está relacionada com a resposta do organismo à exposição de contaminantes tóxicos por um período prolongado ou contínuo que irá abranger todo o ciclo de vida do organismo ou parte dele (LAPA et al., 2014). Já os testes agudos estão relacionados em curta duração durante o período de vida do organismo, utilizados para avaliar os efeitos dos agentes tóxicos (COSTA et al., 2008).

Além dos testes com organismos do solo, os testes de toxicidade com sementes também são amplamente utilizados na ecotoxicologia, pois avaliam os efeitos de contaminantes no desenvolvimento de plantas, como a germinação e o crescimento das raízes. Sementes de espécies como *Lactuca sativa* (alface) são frequentemente usadas para verificar a toxicidade do solo e a capacidade das plantas de se desenvolverem em ambientes contaminados (ALVES; CARDOSO, 2016).

Em ambientes aquáticos, organismos como o microcrustáceo *Daphnia magna* e o peixe *Danio rerio* são expostos a poluentes em diferentes concentrações, medindo efeitos como mortalidade e inibição do crescimento, em acordo com a (ISO) e (OECD), assegurando a confiabilidade dos resultados (ALVES; CARDOSO, 2016).

Neste contexto, o biomonitoramento de ecossistemas aquáticos tem se mostrado uma ferramenta essencial para a avaliação da qualidade da água. Os testes fornecem informações sobre o estado de saúde ambiental dos rios e é fundamental para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à proteção desses corpos hídricos. Os testes ecotoxicológicos têm ganhado destaque por sua capacidade de detectar os efeitos tóxicos de poluentes em organismos bioindicadores, como peixes, algas, invertebrados e plantas (FERNANDES, 2007). Estes testes permitem avaliar o impacto de substâncias químicas e amostras ambientais, oferecendo uma visão integrada dos efeitos dos contaminantes no ecossistema aquático.

Apesar da relevância dos testes ecotoxicológicos para o monitoramento de rios urbanos no Brasil, a implementação dessas técnicas ainda encontra diversas barreiras. Entre os principais desafios estão a falta de infraestrutura adequada dos órgãos ambientais, bem como a ausência de padrões definidos para a coleta, identificação e avaliação das espécies. Além disso, a insuficiência de estudos que contemplem espécies nativas de diferentes regiões e a falta de dados consistentes tornam difícil a aplicação eficaz dessas metodologias (BUSS; BAPTISTA;

NESSIMIAN, 2003). Das 27 unidades da federação (ou Estados), apenas 6 realizam testes ecotoxicológicos de rotina no monitoramento de corpos hídricos e efluentes (GAZOLA,2020).

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura científica sobre o uso de testes ecotoxicológicos como ferramenta de biomonitoramento em rios urbanos no Brasil. Por meio da análise dos estudos publicados nos últimos anos, buscou-se sistematizar o conhecimento acumulado sobre a aplicação de testes ecotoxicológicos, compreender a eficácia do seu uso na detecção de contaminantes, identificar lacunas de pesquisa e discutir sua relevância para a gestão sustentável dos rios urbanos.

2 METODOLOGIA

2.1 Critérios de Seleção dos Estudos

Para a seleção dos estudos incluídos nesta revisão, escolheu-se utilizar apenas artigos científicos, excluindo-se publicações como teses, dissertações, livros e resenhas. O intervalo de publicação foi delimitado para os últimos 15 anos (2008-2023), a fim de garantir a atualidade e relevância dos dados.

Somente estudos disponíveis em português ou inglês foram incluídos e a seleção focou exclusivamente em artigos que abordassem a aplicação de testes ecotoxicológicos e o biomonitoramento em rios urbanos, excluindo-se aqueles que tratavam de outros corpos d'água ou de temas fora do escopo principal.

A busca foi conduzida em bases de dados como **Scopus** e **ScienceDirect**, aplicando o sistema WebQualis como filtro de qualidade e relevância, mantendo somente artigos que possuíssem classificação entre A e B. Além disso, as referências dos estudos selecionados foram revisadas para identificar artigos adicionais pertinentes à análise.

2.2 Estratégia de Busca

Os termos de busca utilizados incluíram palavras-chave em inglês e português, sendo eles: em inglês, "urban rivers", "ecotoxicology", "biomonitoring", "toxicity" e "contaminants"; e em português, "rios urbanos", "ecotoxicologia", "biomonitoramento", "toxicidade" e "contaminantes".

Com o intuito de filtrar as buscas, utilizou-se operadores booleanos (AND, OR e NOT) para combinar os termos e limitar a busca somente de artigos que possuíssem as palavras-

chave escolhidas e priorizando as publicações realizadas nos últimos 15 anos.

2.3 Análise e Síntese dos Dados

Os dados coletados dos estudos selecionados foram organizados e tabulados em uma planilha Excel, cujas informações extraídas incluíram: título do artigo, autor, país, número de citações, tipo de rio urbano foco do estudo, organismos-teste utilizados, resultados obtidos e dificuldades ou limitações relatadas.

A síntese dos resultados foi realizada de forma temática, agrupando os estudos em categorias como: tipos de organismos-teste, eficácia dos métodos na detecção de toxicidade em rios urbanos e desafios específicos enfrentados nesses ambientes, como a poluição por esgoto doméstico e industrial, resíduos sólidos e contaminantes emergentes. Essa organização facilitou uma análise comparativa entre os estudos, permitindo identificar padrões e tendências nos rios urbanos.

Por meio dessa organização temática, foi possível comparar as diferentes abordagens utilizadas nos estudos, avaliando quais métodos de biomonitoramento são mais utilizados na detecção de contaminantes em rios urbanos e quais apresentam maiores limitações.

2.4 Avaliação da Qualidade dos Estudos

A qualidade dos estudos incluídos foi avaliada com base em três critérios principais: clareza metodológica, relevância dos dados apresentados e consistência das conclusões.

Em relação à clareza metodológica, foram analisados os estudos que descreviam de forma detalhada os métodos utilizados, incluindo os procedimentos experimentais, os organismos-teste selecionados e as condições em que os testes foram realizados, considerando as particularidades dos rios urbanos. Priorizou-se estudos com metodologia bem definida e transparente, especialmente aqueles que levaram em conta a complexidade dos impactos ambientais e poluentes presentes nesses ecossistemas.

Quanto à relevância dos dados apresentados, os estudos que não atenderam aos critérios de escopo ou que não apresentaram dados empíricos relevantes foram excluídos. A consistência das conclusões foi verificada para garantir que estivessem bem fundamentadas nos dados obtidos, com análises adequadas para responder às questões de pesquisa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

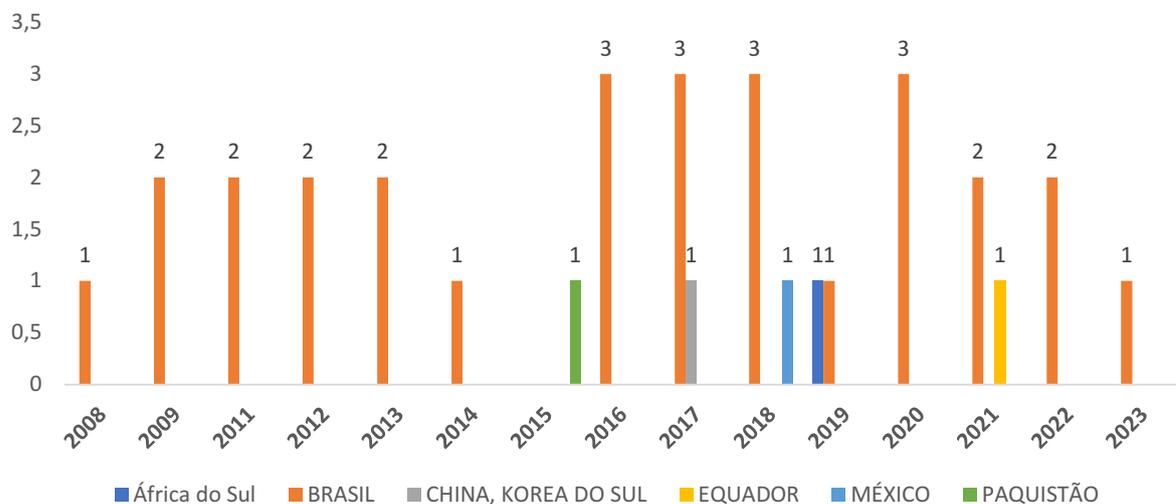
Neste trabalho, foram inicialmente analisados 80 artigos, porém, apenas 33 foram selecionados, pois atenderam aos critérios estabelecidos na metodologia, além de focarem no biomonitoramento em rios urbanos. Os principais resultados foram organizados em três categorias: os bioindicadores mais utilizados, a eficácia dos testes na detecção de toxicidade, e as limitações e desafios dos estudos.

3.1 Síntese Temática

No primeiro momento, buscou-se observar a frequência de publicações de artigos na área desejada. Conforme mostrado no Gráfico 1, pode-se observar que não há constância na produção científica. Embora tenha havido picos de publicações em 2013, 2016, 2017 e 2018, que juntos representam uma parte significativa do total de artigos (22,86%), observa-se uma baixa produção em outros anos, como 2014, 2015 e 2023, com apenas um artigo publicado por ano (2,86%). Esse padrão sugere que, apesar da relevância do tema, ele não tem recebido atenção contínua da comunidade científica.

Concomitante a isso, a análise da produção acadêmica sobre ecotoxicologia em rios urbanos nos últimos 15 anos, revelou uma predominância de estudos realizados no Brasil, apresentando uma produção consistente ao longo do período, com picos de publicações em 2013, 2016 e 2020.

Gráfico 1: Quantidade de Artigos Publicados sobre Ecotoxicologia em Rios Urbanos por País (2008-2023)



Fonte: Autoria Própria (2024)

A predominância brasileira na produção de artigos pode ser explicada pelos desafios ambientais nas áreas urbanas, como o crescimento populacional, a urbanização desordenada e a falta de saneamento básico adequado. Segundo Pereira (2004), a qualidade da água dos ecossistemas aquáticos tem sido alterada em diferentes escalas devido ao fator de complexidade dos usos múltiplos da água pelo homem, promovendo sua indisponibilidade e causando danos ao meio ambiente.

Campos e Studart (2001) alertam para a necessidade de mudar o modelo de administração dos recursos hídricos devido aos desastres ecológicos que sucederam à poluição hídrica. Assim, torna-se imprescindível a realização de estudos aprofundados com o intuito de avaliar a qualidade dos efluentes lançados nos corpos hídricos, de forma a garantir a proteção dos ecossistemas aquáticos (OLIVEIRA, 2021).

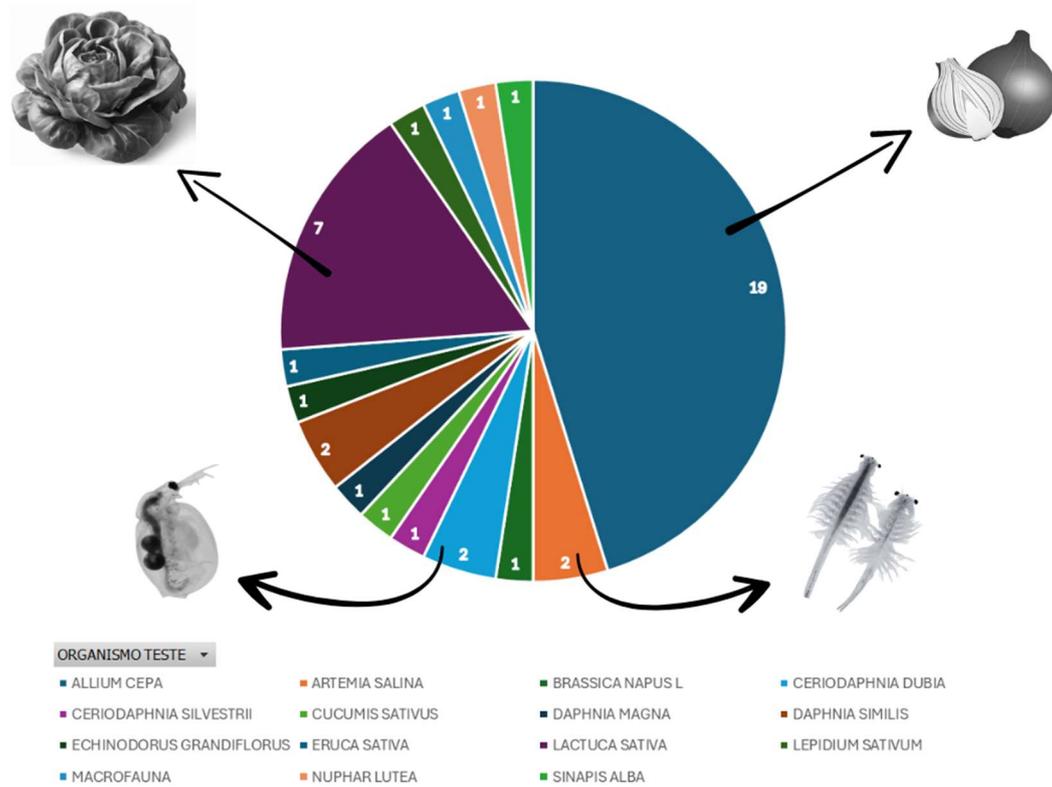
Ainda sobre o Gráfico 1, foi possível perceber que os países como China, Coreia do Sul, México, África do Sul, Equador e Paquistão, também contribuíram para a literatura, mas de maneira mais pontual. Essa diversidade geográfica evidencia a importância global dos testes ecotoxicológicos, apesar da predominância brasileira.

3.2 Comparação e Tendência entre estudos

Dentro da base de dados utilizada para a revisão, observou-se a aplicação de diversos testes ecotoxicológicos, envolvendo uma variedade de organismos bioindicadores, como a semente de *Allium cepa* (cebola), o microcrustáceo *Daphnia similis*, a semente de *Lactuca sativa* (alface), o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia*, o crustáceo *Artemia salina* e espécies de peixes como *Oreochromis niloticus*. Esses organismos representam diferentes níveis tróficos e nichos ecológicos.

A análise do Gráfico 2, evidencia a predominância do uso de *Allium cepa*, que foi o organismo-teste mais frequente, com 19 ocorrências, correspondendo a quase metade das análises realizadas. Esse organismo é amplamente utilizado devido à sua capacidade de detectar mutagenicidade e citotoxicidade em amostras de água, fornecendo informações críticas sobre o impacto dos poluentes.

Gráfico 2: Principais organismos bioindicadores utilizados (2008-2023)



Fonte: Autoria Própria (2024)

Destacou-se também o bioindicador *Lactuca sativa*, com 7 ocorrências, onde esse organismo é costumeiramente aplicado em bioensaios com sedimentos para avaliar toxicidade de metais pesados. Segundo Fernandes *et al.* (2007), bioensaios com plantas vêm sendo considerados mais sensíveis e fáceis de realização que os bioensaios com animais, dado que as plantas são grandes aliadas no monitoramento dos compartimentos ambientais, uma vez que sua constituição bioquímica favorece para a detecção de várias substâncias tóxicas.

Embora não seja um organismo aquático, o uso da *L. sativa* se justifica pela sensibilidade a contaminantes ambientais. Já *Daphnia similis* e *Artemia salina* aparecem com menor frequência, sendo utilizadas em 2 testes cada. A menor ocorrência de *Daphnia similis*, por exemplo, pode indicar uma preferência por *Allium cepa* devido à sua fácil manipulação em laboratório, embora *Daphnia* seja um importante indicador da toxicidade aguda em ecossistemas aquáticos.

Outros organismos, como *Ceriodaphnia dubia* e *Daphnia magna*, aparecem com apenas uma ocorrência cada, sugerindo que sua utilização é menos comum na base de dados analisada, por serem organismos mais adaptados a águas mais duras, com condições físico-químicas diferentes das águas brasileiras. Dellatorre e Siqueira (2015) destacam que o

microcrustáceo *Daphnia magna* é amplamente reconhecido em diversos países como um organismo-teste em estudos de ecotoxicologia, onde ele tem sido utilizado há décadas devido à sua capacidade de demonstrar rapidamente a toxicidade de substâncias, com resultados obtidos em até 48 horas de exposição.

Jardim, Armas e Monteiro (2008) identificaram toxicidade aguda para *Daphnia similis* em amostras de água e sedimento na estação Piracicaba, localizada na foz do rio Corumbataí, e o uso dessa espécie permitiu uma avaliação mais abrangente dos diferentes compartimentos amostrados, oferecendo uma visão mais detalhada da contaminação presente.

A escolha dos organismos utilizados nos estudos foi bem diversa, abrangendo diferentes tipos de bioindicadores, o que possibilitou uma avaliação mais ampla dos contaminantes presentes em rios urbanos. Além disso, os resultados variaram conforme o organismo-teste, a localização e a época do ano, como observado nos testes com *Ceriodaphnia dubia*, que indicaram toxicidade sazonal no outono (GOMES et al., 2013). Sendo assim, essa variabilidade sugere que a poluição em rios urbanos pode estar diretamente relacionada a fatores sazonais e à descarga irregular de contaminantes, reforçando a necessidade de um monitoramento contínuo para uma melhor compreensão dos impactos.

Além disso, foi identificada uma variação espacial e temporal na composição química da água e dos sedimentos de um córrego urbano, onde essas variações complicaram a interpretação dos resultados dos bioensaios, pois as respostas das plantas, no caso a *L. sativa*, podem ter sido influenciadas por uma série de fatores, como mudanças climáticas ou condições locais do solo, que atuaram simultaneamente à presença dos poluentes (RODRIGUES, et al, 2013).

No Quadro 1, a seguir, é possível verificar os artigos utilizados para análise:

Quadro 1: Artigos compreendidos entre 2008 e 2023, analisados no estudo

ANO	TÍTULO	AUTOR	TIPO DE RIO	ORGANISMO TESTE
2008	Ecotoxicological Assessment Of Water And Sediment Of The Corumbataí River, Sp, Brazil	(JARDIM; ARMAS; MONTEIRO, 2008)	RIO URBANO	<i>Daphnia magna e Daphnia similis</i>
2009	Avaliação Ecotoxicológica Preliminar Das Águas Das Bacias Hidrográficas Dos Rios Tarumã, São Raimundo E Educandos	(RODRIGUES; SILVA; SILVA, 2009)	IGARAPÉS URBANOS	<i>Daphnia similis</i>
2009	Potencial Mutagênico Das Águas Do Rio Pirapó (Apucarana, Paraná, Brasil Em Células Meristemáticas De Raiz De Allium Cepa L.	(PERON; CANESIN; CARDOSO, 2009)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i>

ANO	TÍTULO	AUTOR	TIPO DE RIO	ORGANISMO TESTE
2011	Potencial Mutagênico Dos Poluentes Na Água Do Rio Paraíba Do Sul Em Tremembé, Sp, Brasil, Utilizando O Teste Allium Cepa	(OLIVEIRA ET AL., 2011)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i>
2011	Avaliação Da Qualidade Ambiental Do Rio Itaguaré, Bertiooga-Sp, Com Base Em Testes De Toxicidade E Indicadores Microbiológicos De Balneabilidade	(MORAIS ET AL., 2011)	RIO URBANO	<i>Daphnia similis e Ceriodaphnia dubia</i>
2012	Sistema Teste De Allium Cepa Como Bioindicador Da Citogenotoxicidade De Cursos D'água	(CUCHIARA ET AL., 2012)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i>
2012	Sensibilidade De Sementes De Hortaliças Na Avaliação Da Qualidade Da Água Em Bioensaios	(SILVA; NASCIMENTO, 2013)	RIO URBANO	<i>Allium cepa e Lactuca sativa</i>
2013	Citogenotoxicidade De Amostras De Água Do Rio Tietê Em Células Meristemáticas Radiculares De Allium Cepa	(RODRIGUES ET AL., 2013)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i>
2013	Fitotoxicidade E Citogenotoxicidade Da Água E Sedimento De Córrego Urbano Em Bioensaio Com Lactuca Sativa	(GOMES ET AL., 2013)	CÓRREGO URBANO	<i>Lactuca sativa</i>
2014	Water Quality Of Urban Streams: The Allium Cepaseeds/Seedlings Test As A Tool For Surface Water Monitoring	(ATHANÁSIO; PRÁ; RIEGER, 2014)	CÓRREGO URBANO	<i>Allium cepa</i>
2015	Phytotoxicity Of River Chenab Sediments: In Vitro Morphological And Biochemical Response Of Brassica Napus L.	(ALI ET AL., 2015)	RIO URBANO	<i>Brassica napus l</i>
2016	Resposta Ecotoxicológica E Parâmetros Físicos E Químicos Em Rio De Área Costeira Do Nordeste brasileiro	(GOMES ET AL., 2016)	RIO URBANO	<i>Ceriodaphnia dubia e Ceriodaphnia silvestrii</i>
2016	Uso Do Bioensaio Com Allium Cepa L. E Análises Físico-Químicas E Microbiológicas Para Avaliação Da Qualidade Do Rio Da Ilha, Rs, Brasil	(RODRIGUES; DALZOCCHIO; GEHLEN, 2016)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i>
2016	Genotoxic And Mutagenic Evaluation Of Water Samples From A River Under The Influence Of Different Anthropogenic Activities	(BATISTA ET AL., 2016)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i>
2017	Genotoxicidade E Citotoxicidade Da Água Do Rio Passaúna: Bioensaio Com Allium Cepa E Relação Com Níveis De Cafeína	(PEIXER ET AL., 2017)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i>
2017	Testing The Toxicity Of Metals, Phenol, Effluents, And Receiving Waters By Root Elongation In Lactuca Sativa L.	(LYUA ET AL., 2017)	RIO URBANO	<i>Lactuca sativa</i>
2017	Direct And Indirect Anthropogenic Contamination In Water Sources: Evaluation Of Chromosomal Stability And Cytotoxicity Using The Allium Cepa Test	(SILVEIRA ET AL., 2017)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i>
2017	Urban Influence On The Water Quality Of The Uberaba River Basin: An Ecotoxicological Assessment	(CURADO ET AL., 2017)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i>

ANO	TÍTULO	AUTOR	TIPO DE RIO	ORGANISMO TESTE
2018	Relationships Between Land Use And Water Quality Obtained For The Evaluation Of Genotoxic Effects In Plant Bioindicators	(SIEKLIICKI ET AL., 2018)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i>
2018	Acute Toxicity Of Water And Aqueous Extract Of Soils From Champotón River In <i>Lactuca Sativa</i> L	(CHAN-KEBA ET AL., 2018)	RIO URBANO	<i>Lactuca sativa</i>
2018	Urban Influence On The Water Quality Of The Uberaba River Basin: An Ecotoxicological Assessment	(CURADO ET AL., 2018)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i>
2018	Impact Of Anthropic Activities On Eukaryotic Cells In Cytotoxic Test	(KASPER ET AL., 2018)	CÓRREGO URBANO	<i>Allium cepa</i>
2019	Qualidade Ambiental De Nascente Em Área Urbana	(CEMBRANEL ET AL., 2019)	RIO URBANO	<i>Artemia salina</i>
2019	Treated Acid Mine Drainage And Stream Recovery: Downstream Impacts On Benthic Macroinvertebrate Communities In Relation To Multispecies Toxicity Bioassays	(STEYN ET AL., 2019)	CÓRREGO URBANO	<i>Lactuca sativa</i> , <i>Allium cepa</i>
2020	Evaluation Of The Cytotoxic And Genotoxic Effect Of <i>Allium Cepa</i> L. (Amaryllidaceae) Root Cells After Exposure In Water Samples Of Five Lakes Of Alta Floresta, State Of Mato Grosso	(RAMOS ET AL., 2020)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i>
2020	Influence Of The Seasons On The Water Quality Of The Marmeleiro River (Paraná, Brazil) Using Different Bioindicators	(BERTAN ET AL., 2020)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i> ; <i>Artemia salina</i> e <i>Lactuca sativa</i>
2020	Phytotoxicological Assessment And Its Relationship With Environmental Variables Of Rio Grande Reservoir Waters (São Paulo State, Brazil)	(PEDUTO ET AL., 2020)	RIO URBANO	<i>Cucumis sativus</i> <i>Lepidium sativum</i> <i>Sinapis alba</i>
2021	Avaliação Da Qualidade Da Água Do Arroio Matadouro, Ijuí, Rio Grande Do Sul, Por Parâmetros Físico-Químicos E Pelo Teste De <i>Allium Cepa</i>	(JACOBOSKI; FACHINETTO, 2021)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i>
2021	Integrating Multiple Lines Of Evidence To Assess Freshwater Ecosystem Health In A Tropical River Basin	(CHANCA Y ET AL., 2021)	RIO URBANO	<i>Lactuca sativa</i>
2021	Benthic Macroinvertebrates As Bioindicators Of Environmental Quality Of Pará River Estuary, A Wetland Of Eastern Amazon	(PINTO ET AL., 2021)	AMBIENTES ESTUARINOS	<i>Macrofauna</i>
2022	Análise De Metais E Avaliação Da Citogenotoxicidade Da Água Do Delta Do Rio Jacuí, Rio Grande Do Sul	(SILVA ET AL., 2022)	RIO URBANO	<i>Allium cepa</i>
2022	Análise De Metais Pesados Pelo Método De Biomonitoramento No Rio Cachoeira, Região Nordeste De Santa Catarina	(REGINATO ET AL., 2022)	RIO URBANO	<i>Echinodorus grandiflorus</i> e <i>Eruca sativa</i>
2023	Ecotoxicidade Da Água Do Canal Água Cristal (Marambaia, Belém, Pará, Brasil): Utilizando O Sistema Teste <i>Allium Cepa</i> Como Bioindicador	(FREITAS ET AL., 2023)	RIO URBANO	<i>Nuphar lutea</i>

Fonte: Autoria Própria (2024)

3.3 Limitações dos Estudos

Nos estudos revisados, observa-se que os testes realizados em condições laboratoriais podem não refletir com precisão a complexidade dos ecossistemas naturais. Rodrigues, Silva e Rocha (2009) relatam que a variabilidade dos ecossistemas naturais representa um desafio para a extrapolação dos resultados obtidos em laboratório, pois estes não conseguem capturar completamente as interações complexas de um ecossistema natural, limitando a aplicação dos resultados para avaliações em larga escala.

Outra questão relevante é a duração dos testes. No estudo realizado por Peron, Canesin e Cardoso (2009), foi avaliado o potencial mutagênico das águas do Rio Pirapó utilizando o teste *Allium cepa*, porém a curta duração dos experimentos restringiu a detecção de efeitos subcrônicos ou crônicos. Nascimento e Silva (2013), em seu estudo sobre a citogenotoxicidade da água do Rio Tietê, relataram limitações semelhantes, onde a curta exposição nos testes impediu uma avaliação mais profunda dos efeitos a longo prazo dos contaminantes. Dessa forma, destaca-se que a ampliação do tempo de exposição é necessária para capturar os impactos reais desses poluentes e fornecer uma avaliação mais clara dos impactos ambientais.

Com relação ao meio de cultura utilizado nos testes, Cuchiara, Borges e Bobrowski (2012) utilizaram o sistema de *Allium cepa* para avaliar a citogenotoxicidade de cursos d'água e destacaram que o meio de cultura pode influenciar a absorção de contaminantes pelas células vegetais, alterando as respostas observadas, mostrando-se crucial a padronização dos meios de cultura para garantir resultados consistentes entre diferentes estudos, minimizando a interferência de fatores externos nos efeitos detectados.

Além de tudo, a dificuldade em obter amostras representativas de ambientes naturais representa uma limitação significativa na obtenção de resultados da Rodrigues et al. (2013), ao analisar a fitotoxicidade e citogenotoxicidade da água e sedimentos de córregos urbanos, relataram que a variabilidade temporal e espacial das condições ambientais pode gerar incertezas nos testes, reforçando a necessidade de expandir a amostragem e a duração dos experimentos, de modo a captar uma visão mais precisa e abrangente dos impactos ecotoxicológicos.

3.4 Contaminantes encontrados

Entre os contaminantes testados, os metais pesados destacam-se como os mais frequentemente analisados. Oliveira, Voltolini e Barbério (2011), ao avaliar os poluentes presentes na água do Rio Paraíba do Sul, identificaram os metais pesados como os principais

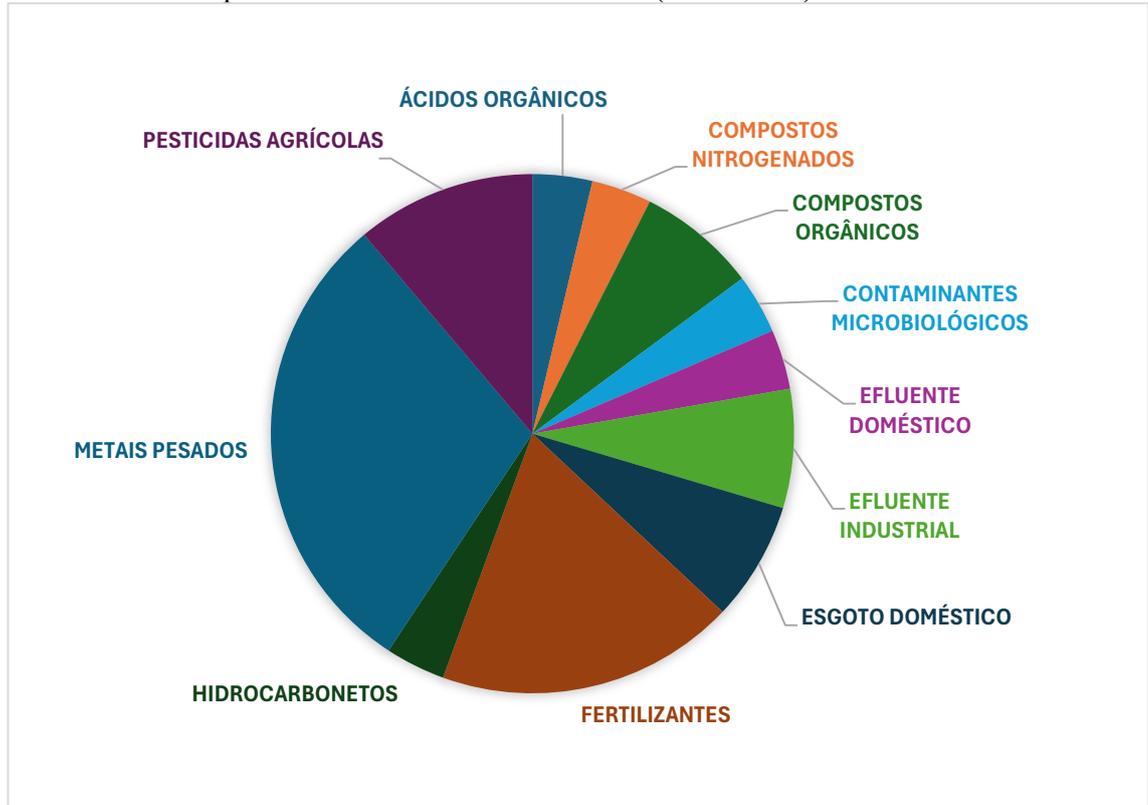
contaminantes. Esses poluentes causaram mutações genéticas e alterações cromossômicas nas células de *Allium cepa*, confirmando a importância do uso de bioindicadores vegetais para a detecção de efeitos genotóxicos. Da mesma forma, Silva et al. (2023), em seu estudo sobre a água do Delta do Rio Jacuí, relataram que os metais pesados presentes na água afetaram negativamente o crescimento das plantas testadas, resultando em alterações morfológicas e genotóxicas

Além dos metais pesados, pesticidas foram testados em diferentes estudos. Moraes et al. (2016), em sua avaliação da qualidade ambiental do Rio Itaguapé, identificaram resíduos de agrotóxicos como contaminantes significativos. Esses compostos causaram efeitos adversos no desenvolvimento de organismos aquáticos e na reprodução das espécies vegetais testadas. O estudo de Freitas et al. (2023), realizado no canal Água Cristal, também observou a presença de pesticidas como contaminantes, onde os efeitos citotóxicos e genotóxicos observados em *Allium cepa* incluíram a redução do crescimento radicular e alterações nos índices de divisão celular.

Os hidrocarbonetos aparecem como outro contaminante significativo para Gomes et al. (2016) que estudaram um rio costeiro no nordeste do Brasil e relataram a presença de hidrocarbonetos, os quais resultaram em uma redução significativa na taxa de reprodução de organismos aquáticos. Esse grupo de contaminantes, frequentemente proveniente de fontes antrópicas, apresenta um elevado potencial para causar impactos ecotoxicológicos severos, afetando tanto a fauna quanto a flora aquática. Jacoboski e Fachinetto (2024), ao investigar o Arroio Matadouro, também detectaram hidrocarbonetos como contaminantes que causaram danos genotóxicos em bioindicadores vegetais.

O Gráfico 2 ilustra os principais contaminantes apresentados na discussão:

Gráfico 2: Principais Contaminantes Encontrados (2008-2023)



Fonte: Autoria Própria (2024)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu analisar a relevância do uso de organismos bioindicadores para a detecção dos efeitos de poluentes em corpos hídricos. A utilização de testes ecotoxicológicos com plantas, como *Allium cepa* e *Lactuca sativa*, demonstrou-se uma ferramenta eficaz para identificar respostas biológicas sensíveis a contaminantes presentes em rios urbanos. Essas espécies indicaram efeitos como a redução do crescimento radicular e alterações cromossômicas, confirmando seu papel central no monitoramento da qualidade da água e na avaliação dos impactos ambientais. Dessa forma, os bioindicadores vegetais se mostram indispensáveis no diagnóstico da toxicidade em ecossistemas aquáticos.

Foi possível identificar os organismos-teste mais comumente utilizados em rios urbanos e avaliar sua eficácia na detecção de metais pesados e poluentes orgânicos. O uso predominante de *Allium cepa* em estudos ecotoxicológicos destaca sua sensibilidade para detectar contaminantes comuns em águas urbanas, como metais pesados, reforçando sua eficácia como ferramenta de monitoramento. Contudo, a diversificação dos organismos-teste poderia aumentar a abrangência dos resultados, permitindo uma avaliação mais completa e

representativa dos impactos ecotoxicológicos em diferentes espécies e níveis tróficos.

Em relação às dificuldades e desvantagens da aplicação de testes ecotoxicológicos em rios urbanos, o estudo evidenciou que a complexidade dos poluentes e a variabilidade ambiental desses ambientes representam desafios significativos. A presença de múltiplos contaminantes e a variação sazonal e geográfica dos corpos d'água dificultam a obtenção de amostras representativas, comprometendo a precisão dos resultados. Adicionalmente, as dificuldades na implementação de um monitoramento ecotoxicológico contínuo contribuem diretamente para a baixa quantidade de publicações sobre o tema no Brasil. Isso não implica a ausência de poluentes ou de toxicidade nos corpos hídricos, mas evidencia que o monitoramento realizado é insuficiente e ineficiente, limitando a geração de estudos mais consistentes e aprofundados acerca dos impactos ambientais.

Por fim, os testes ecotoxicológicos possibilitaram a identificação de tendências na literatura relacionadas à poluição em rios urbanos, com ênfase nos contaminantes mais recorrentes, como metais pesados e poluentes orgânicos. Esses resultados corroboram a literatura existente, demonstrando que os objetivos propostos neste estudo foram atingidos. A análise aprofundada dos testes ecotoxicológicos confirmou sua relevância no monitoramento de poluentes em ambientes urbanos, ao passo que destacou a necessidade de aprimoramento das metodologias de monitoramento e ampliação do escopo de estudos futuros.

REFERÊNCIAS

ALVES, P. R. L.; CARDOSO, E. J. B. N. Overview of the standard methods for soil ecotoxicology testing. *Invertebrates - Experimental Models in Toxicity Screening*, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/62228>. Acesso em: 2 out. 2024.

BARROS, S.S.; et al. Avaliação da toxicidade de sedimentos de uma represa utilizando ensaios de toxicidade com *Daphnia similis* e *Chironomus sanctiparoli*. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, n. 2, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/KSP8wrqQjpTy9j7BS4PHmSc/abstract/?lang=en>. Acesso em: 24 set. 2024.

BERTOLETTI, E.; ZAGATTO, P. A. Aplicação dos ensaios ecotoxicológicos e legislação pertinente. **Ecotoxicologia aquática: princípios e aplicações**. São Carlos: Rima, p. 347-382, 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Enquadramento dos corpos de água em classes**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/portallpnqa/enquadramento-introducao.aspx>. Acesso em: 24 set. 2024.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Brasília: CONAMA, 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357. Acesso em: http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf. Acesso em: 25 set. 2024

BRASIL. **Lei nº 6938**, de 31 de agosto de 1981. Política nacional do Meio Ambiente. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm. Acesso em: 14 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 14 set. 2024.

BRITO, P.F.; et al. Water quality, contaminants, and aquatic toxicity in an urban river under restoration. **Environmental Pollution**, [S.l.], v. 285, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749121013786>. Acesso em: 25 set. 2024.

CARDOSO, P.C.; et al. Assessment of urban river water quality using combined physicochemical, biological, and toxicological tools. **Environmental Advances**, v. 1, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214750018302907>. Acesso em: 25 set. 2024.

CASTRO, A.B. **Testes ecotoxicológicos como ferramenta na avaliação da poluição ambiental causada por aterros comuns (ou lixões)**: o caso do riacho dos cavalos em Crateús-CE. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Campus de Crateús, Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/70026>. Acesso em: 10 ago. 2024.

CEMBRANEL, A.S; et al. QUALIDADE AMBIENTAL DE NASCENTE EM ÁREA URBANA. **Tecnologia e Ambiente**. [S. l.], v. 25, p. 145–159, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unesc.net/ojs/index.php/tecnoambiente/article/view/4589>. Acesso em: 25 ago. 2024.

COSTA, C.R.; *et al.* A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v31n7/v31n7a38.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2024.

CRAWFORD, M.; et al. Perinatal health inequalities and the consequences of neurodevelopmental disorders in children. **PubMed**. [S.l.], v. 99, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29209858/>. Acesso em: 25 set. 2024.

CUCHIARA, C.C.; BORGES, C.S.; BOBROWSKI, V.L. Sensibilidade de sementes de hortaliças na avaliação da qualidade da água em bioensaios. **Biotemas**. Pelotas, v. 25, n. 7, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/2175-7925.2012v25n3p19>. Acesso em: 10 ago. 2024.

CUCHIARA, C.C.; BORGES, C.S.; BOBROWSKI, V.L. Sistema teste de Allium cepa como bioindicador da citogenotoxicidade de cursos d'água. **Ciência e Tecnologia Agropecuária**. João Pessoa, v.6, n.1, p.33-38, mar. 2012. Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/2175-7925.2012v25n3p19>. Acesso em: 10 ago. 2024.

DELLATORRE, C.P; SIQUEIRA, P. **Avaliação da toxicidade de metais em daphnia magna**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9681?mode=simple>. Acesso em: 18 set.2024.

DUMONT, M.; et al. Comparative environmental toxicology of waterbodies: Use of biomarkers for water quality assessments. **Revista Ambiente & Água**. [S.l.], v. 16, n. 2, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/3W6R5wLRbjfShQNqwBYrkfP/?lang=en>. Acesso em: 25 set. 2024.

FERNANDES, D.A.; et al. Adsorption of pharmaceuticals from water and wastewater using mineral and carbon-based materials: A review. **Journal of Hazardous Materials**. [S.l.], v. 342, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651317307601>. Acesso em: 25 set. 2024.

FERNANDES, T.C.C, MAZZEO, D.E.C, MARIN-NORALES, M.A. Mechanism of micronuclei formation in polyploidized cells of *Allium cepa* exposed to triflurlin herbicide. **Pesticide biochemistry & physiology**. [S.l.], 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048357506001945>. Acesso em: 25 set. 2024.

FERRARESI, C.B.; et al. Aplicação de índices e ferramentas ecotoxicológicas para a avaliação da qualidade da água em rios urbanos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, [S.l.], n. 57, 2020. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/760. Acesso em: 25 set. 2024.

FREITAS, L.G.R.; et al. Ecotoxicidade da água do canal Água Cristal (Marambaia, Belém, Pará, Brasil): utilizando o sistema teste *Allium cepa* como bioindicador. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**. [S.l.], v.11, n.2, p.57-70, 2023. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/1360/391>. Acesso em: 19 set. 2024.

GAZOLA, L. **Análise das legislações estaduais brasileiras sob ensaios ecotoxicológicos como ferramenta no controle de lançamento de efluentes industriais**. 2020. Dissertação (Mestrado em Perícias Criminais Ambientais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/215819>. Acesso em: 2 out. 2024.

GOMES, W.K.A.M; et al. Resposta ecotoxicológica e parâmetros físicos e químicos em rio de área costeira do nordeste brasileiro. **Gaia Scientia**. Rio Grande do Norte, v.10, n.4, 195-208, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/gaia/article/view/25824/17624>. Acesso em: 15 ago,2024.

ISSA, G.C. **Testes ecotoxicológicos para avaliação do potencial impacto ambiental em**

corpos receptores por efluente de estação de tratamento de esgoto. Dissertação de Mestrado (Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-22052019-150827/pt-br.php>. Acesso em: 25 set. 2024.

JACOBOSKI, B.K; FACHINETTO, J. Avaliação da qualidade da água do Arroio Matadouro, Ijuí, Rio Grande do Sul, por parâmetros físico-químicos e pelo teste de Allium cepa. **Engenharia Sanitária e Ambiental.** [S.l.], v. 27, n. 3, p. 489-497. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/GxcgYc9Ybh3wSZGLpzkFDGc/?lang=pt>. Acesso em: 10 ago.2024.

JARDIM, G.M; ARMAS, E.D; e MONTEIRO,R.T.T. Ecotoxicological assessment of water and sediment of the Corumbataí River, SP, Brazil. **Brazilian Journal of Biology,** [S.l.], v. 68, n. 4, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/RPqfHNyd343jPHbbr9nqx3g/?lang=en#>. Acesso em: 14 set, 2024.

KEMI, H.A.; et al. Mechanisms and Pathophysiological Implications of Uric Acid in Heart Failure-Role of xanthine oxidase and uric acid handling. **PubMed.** [S.l.], v. 21, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27588572/>. Acesso em: 25 set. 2024.

LACZYNSKI, S.P.; OLIVEIRA, F. Recuperar as nascentes. **Dicas: ideias para ação municipal.** São Paulo. PÓLIS, n.198, 2002. Disponível em: <http://bibliotecadigital.abong.org.br/handle/11465/1482>. Acesso em: 25 set. 2024.

LAPA, M.P. **Avaliação ecotoxicológica de solos impactados com borra oleosa submetidos a diferentes tratamentos de biorremediação.** Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/TCC-MARIEL-LAPA>. Acesso em: 25 set. 2024.

MAGALHÃES, D.P.; FILHO, A.S.F. A Ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecol bras,** Rio de Janeiro, v.12, n.3, p.355-381, 2008. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/27395>. Acesso em: 10 ago. 2024.

MENEGUZZO, J.; et al. Hydraulic and energetic performance characterization of a simplified gravitational water vortex hydropower plant prototype. **Energy for Sustainable Development.** [S.l.], v. 28, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215153215300088>. Acesso em: 25 set. 2024.

MORAIS, A.V; et al. Avaliação da qualidade ambiental do rio Itaguapé, Bertioga-SP, com base em testes de toxicidade e indicadores microbiológicos de balneabilidade. **O mundo da saúde.** São Paulo, v. 35, n. 1, p. 55-63, 2011. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-619112>. Acesso em: 10 ago.2024. "

MURPHY, T.P.; et al. Microbiological quality and public health risks of urban water bodies: A review. **PubMed.** [S.l.], v. 25, 2015. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25574484/>. Acesso em: 25 set. 2024.

NASCIMENTO, F.M; SILVA, C.C.S. Citogenotoxicidade de amostras de água do Rio Tietê em células meristemáticas radiculares de *Allium cepa*. **Atas de Saúde Ambiental**. São Paulo, v. 1 n. 1, 2013. Disponível em:

<https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/ASA/article/view/315>. Acesso em: 24 ago, 2024.

OLIVEIRA, J.F.Rodrigues. **Avaliação ecotoxicológica do efluente da ETE-MARATOAN utilizando sementes de *Lactuca sativa* L. e *Cucumis sativus* L.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Campus de Crateús, Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/58013>. Acesso em: 25 set. 2024.

OLIVEIRA, L.M; VOLTOLINI, J.C; e BARBÉRIO, A; Potencial mutagênico dos poluentes na água do rio Paraíba do Sul em Tremembé, SP, Brasil, utilizando o teste *Allium cepa*.

Revista Ambiente e Água. v. 6, n. 1, p. 90-103, 2011. Disponível em:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92817183008>. Acesso em: 10 ago. 2024.

PARANÁ (Estado). **Resolução CEMA nº 081/2010**, do Estado do Paraná. Dispõe sobre Critérios e Padrões de ecotoxicidade para o Controle de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais no Estado do Paraná. Curitiba, 2010.

PEIXER, G; et al. Passaúna River Water Genotoxicity and Cytotoxicity: Biossay with *Allium cepa* and Relationship with Cafferine. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. Rio de Janeiro, n. 46, p. 88–101, 2017. Disponível em:

https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/86. Acesso em: 25 ago. 2024.

PEREIRA, R.S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos.

Revista Eletrônica de Recursos Hídricos. IPH-UFRGS. v. 1. p. 20-36. 2004. Disponível em:

<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=2555660&lang=es>. Acesso em: 25 abr. 2023.

PERON, A.P; CANESIN, E.A; e CARDOSO, C.M.V. Potencial mutagênico das águas do Rio Pirapó (Apucarana, Paraná, Brasil em células meristemáticas de raiz de *Allium cepa* L.

Revista Brasileira de Biociências, v. 7, n.2, 2009. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/305347531_Potencial_mutagenico_das_aguas_do_Rio_Pirapo_Apucarana_Parana_Brasil_em_celulas_meristemáticas_de_raiz_de_Allium_cepa_L . Acesso em: 04 ago. 2024.

REGINATO, B.C.; et al. Análise de Metais Pesados pelo Método de Biomonitoramento no Rio Cachoeira, Região Nordeste de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 310–324, 2023. Disponível em:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgefe/article/view/254844>. Acesso em: 10 ago. 2024.

RIO DE JANEIRO (Estado). Resolução **CONEMA nº 86/2018**. Aprova a NOP-INEA-08REV00 – Critérios e Padrões para Controle da Ecotoxicidade aguda em efluentes líquidos. Rio de Janeiro, 2018.

RODRIGUES, D.O; SILVA,S.L; e ROCHA,M.S. Avaliação Ecotoxicológica Preliminar das Águas das Bacias Hidrográficas dos rios Tarumã, São Raimundo e Educandos. *Acta Amazonia*, v. 54, n .3, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/NxJSmLYs4xcJQV5xDbFjSvJ/> : Acesso em: 04 ago. 2024

RODRIGUES, L.C.A; et al. Fitotoxicidade e citogenotoxicidade da água e sedimento de córrego urbano em bioensaio com *Lactuca sativa*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.10, p.1099–1108, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/STvWwbV4LVYs343P3wCpNMR/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 24 ago, 2024.

RÖMBKE, J. Testing of 24 potentially hazardous wastes using 6 ecotoxicological tests. **Detritus**, v. 1, p. 4-21, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329383834_TESTING_OF_24_POTENTIALLY_HAZARDOUS_WASTES_USING_6_ECOTOXICOLOGICAL_TESTS. Acesso em: 24 ago, 2024.

SANTA CATARINA (Estado). Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina Portaria n. 017/02: Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens. Santa Catarina, 2002.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Resolução SMA n. 3, de 22 de fevereiro de 2000**. Dispõe sobre as relações que fixam a toxicidade permissível no controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no estado de São Paulo. São Paulo, 2000.

SERAFINI, S.; SOARES, J. G.; SEGAT, J. C. *Ecotoxicologia terrestre: ensaios ecotoxicológicos e suas aplicações*. Rural, ed. 212, 24 de maio de 2018, p. 2. Acesso em: 8 out. 2024.

SILVA , L. B.; et al. Análise de metais e avaliação da citogenotoxicidade da água do Delta do Rio Jacuí, Rio Grande do Sul. **Revista Thema**, Pelotas, v. 21, n. 4, p. 1161–1172, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/2952>. Acesso em: 25 set. 2024.

SILVA, A.F.; et al. Phytotoxicological assessment and its relationship with environmental stressors in different urban river basins. **Biblioteca Virtual da FAPESP**, 2021. Disponível em: <https://bv.fapesp.br/pt/publicacao/188534/phytotoxicological-assessment-and-its-relationship-with-envi>. Acesso em: 25 set. 2024.

SILVA, A.M.; et al. A combinação de diferentes ferramentas para avaliação ambiental de cursos d'água urbanos. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, n. 3, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/mrsTMnHcSjLBQxnCWcLYDLj/abstract/?lang=en>. Acesso em: 25 set. 2024.

SILVA, A.M.; et al. Evaluation of water quality and ecological status of urban streams using multiple indicators. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 6, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-020-03620-2>. Acesso em: 25 set. 2024.

SILVA, J. dos S. et al. Princípios bioéticos aplicados aos estudos ecotoxicológicos aquáticos. *Revista Bioética*, v. 23, n. 2, p. 409-418, 2015. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1590/1983-80422015232079>. Acesso em: 8 out. 2024.

SILVEIRA, S. S. B.; SANT'ANNA, F. S. P. *Poluição Hídrica*. In: MARGULIS, S. (Ed.). *Meio Ambiente: aspectos técnicos e econômicos*. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 1990. p. 57-79. Acesso em: 25 set. 2024.

STUDART, Ticiania.; CAMPOS, Nilson. **Gestão das águas: princípios e práticas. 2. ED. Fortaleza: ABRH, 2001.**

TONETTI, A.L.; et al. Uso de índices para avaliar a qualidade da água em uma bacia hidrográfica impactada pelo esgoto doméstico e poluição difusa. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 2, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/XcRDPTSbrQxqtH9fKnbVqjt/>. Acesso em: 25 set. 2024.

VIGNESH, R.; et al. Fate of emerging contaminants in natural environments and treatment technologies: A comprehensive review. **Journal of Environmental Management**, v. 237, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479719300520>. Acesso em: 25 set. 2024.

YAN, Z.; ZHENG, X.; GAO, F.; et al. A framework for ecotoxicity testing in the 21st century. **Applied Sciences**, v. 9, n. 3, p. 428, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app9030428>. Acesso em: 25 set. 2024.

ZIMMERMANN, P.R.G; DALZUCHIO, T; GEHLEN, G. **Acta Toxicologia Argentina**, [S.], v. 24, n. 2, p. 97-104, 2016. Disponível em: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185137432016000200002&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 15 ago, 2024.

APENDICE A – AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e proteção em cada passo da minha caminhada.

Aos meus pais, por todo o suporte e apoio incondicional ao longo desta jornada longa e desafiadora.

Ao meu irmão, Emanuel, por tornar meus dias mais leves e felizes.

À Profa. Dra. Larissa, que deu início à minha orientação, e à Profa. Dra. Thayres, por continuar me acompanhando nesse desafio de desenvolver o TCC, expressei minha mais sincera gratidão.

À Banca Examinadora, meu profundo agradecimento por aceitar o convite, dedicar tempo a esse momento importante e por todas as valiosas correções e contribuições.

Aos amigos que permanecem em minha vida e compartilharam comigo cada momento vivido na UFC, sou eternamente grata por essa jornada em conjunto. Em especial, à Mônica, por

alegrar meus dias e sempre me incentivar, e também à Nazaré e à Maria Ellen, pela amizade sincera que ultrapassa o tempo e a distância.

Aos amigos e colaboradores da Biblioteca da UFC Crateús, especialmente à Liliana, sou grata por sua constante disposição em me ajudar.

A todos os professores e colaboradores da UFC que fizeram parte da minha trajetória e me inspiraram profissionalmente, meu mais sincero agradecimento.