

**AVALIAÇÃO
ECOTOXICOLÓGICA
INTEGRADA DAS ÁGUAS DO
RIO PARNAÍBA SOB
INFLUÊNCIA DO DISTRITO
INDUSTRIAL DE
TERESINA/PI UTILIZANDO
ARTEMIA SALINA E ALLIUM
CEPA L**

**INTEGRATED ECOTOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF THE PARNAÍBA
RIVER UNDER THE INFLUENCE OF THE INDUSTRIAL DISTRICT OF
TERESINA, PIAUÍ, BRAZIL, USING ARTEMIA SALINA AND ALLIUM CEPA L**

Ciências Biológicas • 28/09/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/790540582](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/790540582)

Jovan Marques Lara Júnior¹

Hernandes Sousa Ribeiro²

Luciele Damas Pereira³

Raissa Barbosa de Oliveira⁴

Maria Rita Costa Alves⁵

Geomárcia Feitosa da Cruz Ramos⁶

RESUMO

A avaliação ecotoxicológica da qualidade da água permite identificar respostas biológicas associadas à presença de contaminantes que nem sempre são evidenciadas por parâmetros físico-químicos convencionais. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade das águas do Rio Parnaíba, em Teresina, Piauí, por meio de uma abordagem ecotoxicológica integrada, comparando dois pontos localizados a montante (P1) e a jusante (P2) do Distrito Industrial. Foram realizados bioensaios de toxicidade aguda com *Artemia salina* e de fitotoxicidade com *Allium cepa* L., associados à determinação do pH e da condutividade elétrica. Os resultados demonstraram elevada toxicidade em ambos os pontos, com maior intensidade em P2, onde a letalidade atingiu valores próximos à totalidade dos organismos expostos. No bioensaio com *Allium cepa* L., verificou-se redução significativa no ganho de biomassa em P2, enquanto os parâmetros físico-químicos avaliados não apresentaram diferenças expressivas entre os pontos. Os resultados biológicos, associados à estabilidade dos parâmetros físico-químicos analisados, evidenciaram alterações na qualidade ambiental não identificadas por esses indicadores isoladamente. Conclui-se que a integração de bioensaios constitui uma ferramenta relevante para a avaliação da qualidade da água e para a identificação de impactos em ambientes aquáticos sob influência de atividades urbano-industriais.

Palavras-chave: ecotoxicologia aquática; bioindicadores; qualidade da água; impacto industrial; Rio Parnaíba.

ABSTRACT

Ecotoxicological assessment of water quality enables the identification of biological responses associated with the presence of contaminants that are not always detected by conventional

physicochemical parameters. This study aimed to assess the water quality of the Parnaíba River in Teresina, Piauí, Brazil, through an integrated ecotoxicological approach, comparing two sampling sites located upstream (P1) and downstream (P2) of the Industrial District. Acute toxicity bioassays using *Artemia salina* and phytotoxicity bioassays using *Allium cepa* L. were performed, together with measurements of pH and electrical conductivity. The results showed high toxicity at both sampling sites, with greater intensity at P2, where mortality reached values close to the total number of exposed organisms. In the *Allium cepa* L. bioassay, a significant reduction in biomass gain was observed at P2, whereas the evaluated physicochemical parameters showed no substantial differences between the sampling sites. The biological responses, combined with the stability of the analyzed physicochemical parameters, revealed changes in environmental quality that were not identified by these indicators when considered separately. It is concluded that the integration of bioassays constitutes a relevant tool for assessing water quality and identifying impacts on aquatic environments influenced by urban and industrial activities.

Keywords: aquatic ecotoxicology; bioindicators; water quality; industrial impact; Parnaíba River.

1. INTRODUÇÃO

A intensificação das atividades urbanas e industriais exerce crescente pressão sobre os recursos hídricos, especialmente em áreas onde a expansão das atividades econômicas ocorre próxima aos corpos d'água. Entre as principais consequências desse processo estão as alterações na qualidade da água decorrentes do lançamento de efluentes e da introdução de diferentes substâncias no ambiente aquático.

A complexidade dessas interferências representa um desafio para o monitoramento ambiental, uma vez que os efeitos provocados sobre os organismos podem não ser plenamente identificados por avaliações baseadas exclusivamente em parâmetros físico-químicos.

O monitoramento da qualidade da água utiliza parâmetros físico-químicos como importantes indicadores das condições ambientais dos corpos hídricos. Entretanto, esses parâmetros representam características específicas do ambiente no momento da análise e, quando empregados isoladamente, podem apresentar limitações para demonstrar os efeitos biológicos decorrentes da exposição dos organismos a diferentes contaminantes.

Nesse contexto, a ecotoxicologia constitui uma ferramenta complementar de avaliação, pois permite analisar as respostas de organismos-teste expostos às amostras ambientais e, conseqüentemente, fornecer informações adicionais sobre possíveis alterações na qualidade do ambiente aquático.

Entre os organismos empregados em estudos ecotoxicológicos, *Artemia salina* apresenta aplicabilidade em ensaios de toxicidade aguda, nos quais a sobrevivência dos organismos expostos pode ser utilizada como resposta à toxicidade das amostras. Por sua vez, *Allium cepa* L. é utilizada como organismo bioindicador em avaliações de fitotoxicidade, possibilitando observar alterações relacionadas ao crescimento e ao desenvolvimento vegetal. A aplicação conjunta de organismos com respostas biológicas distintas contribui para uma avaliação mais abrangente dos possíveis efeitos provocados pelas amostras analisadas.

O Rio Parnaíba possui expressiva importância ambiental, econômica e social para os estados do Piauí e Maranhão, sendo utilizado para diferentes finalidades ao longo de sua extensão. Em Teresina, o rio está inserido em uma área submetida a diferentes pressões antrópicas relacionadas ao processo de urbanização e ao desenvolvimento de atividades econômicas.

Entre essas áreas encontra-se o Distrito Industrial de Teresina, cuja localização torna relevante a investigação da qualidade ambiental das águas em trechos situados antes e após sua área de influência. Nesse contexto, destaca-se como problemática a necessidade de compreender se as águas do Rio Parnaíba apresentam respostas ecotoxicológicas distintas entre pontos localizados a montante e a jusante do Distrito Industrial e se essas respostas são acompanhadas por alterações nos parâmetros físico-químicos avaliados.

A realização deste estudo justifica-se, portanto, pela importância de ampliar a compreensão acerca da qualidade ambiental do Rio Parnaíba em um trecho submetido à influência de atividades urbano-industriais. O uso integrado de organismos-teste pode possibilitar avaliar as respostas biológicas complementares e produzir informações que podem contribuir para o monitoramento da qualidade da água e para a compreensão dos impactos decorrentes das pressões antrópicas sobre o ambiente aquático.

Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade das águas do Rio Parnaíba, em Teresina, Piauí, comparando pontos localizados a montante e a jusante do Distrito Industrial por meio de uma abordagem ecotoxicológica integrada, utilizando bioensaios de toxicidade aguda com *Artemia salina* e de fitotoxicidade com *Allium cepa* L., associados à determinação do pH e da condutividade

elétrica. Com isso, buscou-se verificar as respostas biológicas apresentadas pelas amostras e sua relação com os parâmetros físico-químicos avaliados, contribuindo para uma análise integrada das condições ambientais do trecho estudado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Pressões Antrópicas e Qualidade da Água em Ambientes Urbano-Industriais

A qualidade dos recursos hídricos pode ser influenciada por diferentes atividades antrópicas desenvolvidas nas áreas urbanas e industriais. O lançamento de efluentes domésticos e industriais, o escoamento superficial, a disposição inadequada de resíduos sólidos e as alterações no uso e ocupação do solo constituem fatores capazes de modificar as características dos corpos hídricos e comprometer seus diferentes usos (ANA, 2012; Vianna, 2015).

Em áreas urbanizadas e industrializadas, a diversidade das fontes de poluição torna a avaliação ambiental complexa. Por isso, dependendo das atividades desenvolvidas e das características dos efluentes gerados, diferentes substâncias podem alcançar os ambientes aquáticos e produzir efeitos sobre os organismos aquáticos.

Somado a isso, a ocorrência simultânea de diferentes compostos pode dificultar a associação entre uma substância específica e uma determinada resposta biológica, reforçando a necessidade de abordagens capazes de avaliar os efeitos das amostras ambientais de maneira integrada (Newman, 2019; Chowdhary *et al.*, 2022).

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabelece condições e padrões de qualidade de acordo com seus usos preponderantes (Brasil, 2005).

O acompanhamento desses parâmetros é fundamental para a gestão dos recursos hídricos. Entretanto, a caracterização ambiental pode ser ampliada pela utilização de ferramentas complementares capazes de demonstrar respostas dos organismos às condições das amostras analisadas.

O Rio Parnaíba constitui um importante sistema hidrográfico para os estados do Piauí e Maranhão, apresentando relevância ambiental, econômica e social. No trecho urbano de Teresina, encontra-se submetido às pressões decorrentes da ocupação urbana e das diferentes atividades desenvolvidas em seu entorno. Estudos realizados na região têm discutido alterações na qualidade ambiental associadas às interferências antrópicas, reforçando a importância do monitoramento dos recursos hídricos e da utilização de diferentes ferramentas de avaliação (Façanha; Sousa, 2011; Rocha; Silva, 2018).

Nesse contexto, o trecho situado nas proximidades do Distrito Industrial de Teresina apresenta interesse para estudos ambientais devido à presença de atividades antrópicas em seu entorno. A comparação entre pontos situados a montante e a jusante dessa área pode contribuir para a compreensão das condições ambientais do rio, especialmente quando parâmetros físico-químicos são associados às respostas obtidas por meio de organismos bioindicadores.

2.2. Parâmetros Físico-Químicos e Abordagens Ecotoxicológicas

A avaliação da qualidade da água envolve a determinação de diferentes parâmetros capazes de fornecer informações sobre as características do ambiente aquático. Entre esses parâmetros encontram-se o pH, a condutividade elétrica, o oxigênio dissolvido, a turbidez e a concentração de diferentes substâncias, utilizados tanto em estudos ambientais quanto em programas de monitoramento dos recursos hídricos (Libânio, 2010; ANA, 2012).

O pH representa uma variável importante para a caracterização das águas, pois alterações em seus valores podem interferir em processos químicos e biológicos e influenciar a disponibilidade de determinadas substâncias no ambiente. E a condutividade elétrica, por sua vez, está relacionada à presença de íons dissolvidos na água, podendo fornecer informações sobre mudanças na composição iônica das amostras. Embora esses parâmetros sejam importantes para a caracterização ambiental, sua interpretação isolada não necessariamente demonstra os efeitos que uma amostra pode produzir sobre organismos vivos.

Essa questão assume relevância em ambientes sujeitos a diferentes fontes de contaminação, pois determinadas substâncias podem produzir respostas biológicas mesmo quando alterações expressivas não são observadas nos parâmetros físico-químicos avaliados. Além disso, organismos distintos podem apresentar diferentes níveis de sensibilidade às condições ambientais, tornando importante a utilização de ferramentas que complementem a caracterização físico-química (Newman, 2019).

A ecotoxicologia estuda os efeitos de agentes químicos e de amostras ambientais sobre organismos, populações e comunidades, contribuindo para a avaliação dos riscos associados à presença de substâncias potencialmente tóxicas no ambiente. Nesse campo, os bioensaios constituem ferramentas experimentais que permitem observar respostas biológicas decorrentes da exposição dos organismos-teste a determinadas amostras ou substâncias (Connell, 1999; Rand, 2004). As respostas avaliadas nos bioensaios podem envolver efeitos letais e subletais, dependendo do organismo utilizado, do período de exposição e do parâmetro analisado.

Dessa maneira, a associação entre análises físico-químicas e respostas biológicas possibilita ampliar a interpretação das condições ambientais, uma vez que essas abordagens fornecem informações distintas e complementares sobre a qualidade das amostras (Newman, 2019). Assim, a integração entre parâmetros físico-químicos e bioensaios constitui uma estratégia relevante para estudos de qualidade da água, sobretudo em ambientes submetidos a múltiplas pressões antrópicas. Enquanto os parâmetros físico-químicos permitem caracterizar determinadas propriedades da água, os bioensaios possibilitam avaliar os efeitos produzidos pela amostra sobre organismos vivos.

2.3. BIOINDICADORES EM ECOTOXICOLOGIA: *Artemia Salina* e *Allium Cepa* L

Os organismos bioindicadores são utilizados em estudos ambientais devido à capacidade de apresentar respostas mensuráveis diante da exposição a determinadas condições ou agentes. Na ecotoxicologia, a seleção de organismos com diferentes características biológicas

permite avaliar distintos tipos de resposta e ampliar a interpretação dos possíveis efeitos das amostras analisadas.

Entre os organismos utilizados em ensaios de toxicidade encontra-se *Artemia salina*, pequeno crustáceo empregado em testes de toxicidade aguda devido a características como facilidade de obtenção e manutenção, rapidez dos ensaios e baixo custo operacional. O teste com *A. salina* tem sido utilizado como ferramenta de triagem do potencial tóxico de diferentes substâncias e amostras, tendo a mortalidade dos organismos expostos como um dos principais parâmetros de resposta (Meyer et al., 1982; Nunes; Carvalho; Guilhermino, 2006).

Nos ensaios de toxicidade aguda, a sobrevivência dos organismos após determinado período de exposição permite comparar diferentes concentrações ou amostras. Dependendo do delineamento experimental, os resultados também podem subsidiar a determinação da concentração letal mediana, denominada CL50, correspondente à concentração associada à mortalidade de metade dos organismos expostos sob condições experimentais definidas (Rand, 2004).

Outro organismo amplamente utilizado como bioindicador é *Allium cepa* L., espécie vegetal empregada em estudos de fitotoxicidade e genotoxicidade. Sua utilização possibilita avaliar diferentes respostas biológicas, incluindo alterações no desenvolvimento radicular, divisão celular e material genético (Fiskesjö, 1985; Leme; Marin-Morales, 2009). Em avaliações de fitotoxicidade, parâmetros relacionados ao crescimento e ao desenvolvimento vegetal podem evidenciar efeitos subletais provocados pela exposição às amostras. Entre esses parâmetros podem ser considerados o desenvolvimento

das raízes e as alterações na biomassa, possibilitando comparar o desempenho dos organismos submetidos a diferentes tratamentos ou condições de exposição.

A utilização conjunta de *Artemia salina* e *Allium cepa* L. possibilita avaliar respostas biológicas distintas. Enquanto o ensaio com *A. salina* permite verificar efeitos relacionados principalmente à sobrevivência dos organismos durante uma exposição aguda, o ensaio com *A. cepa* possibilita observar respostas relacionadas ao crescimento e ao desenvolvimento vegetal.

Dessa forma, resultados provenientes de diferentes organismos podem fornecer informações complementares acerca das características ecotoxicológicas das amostras analisadas. A integração desses bioensaios com parâmetros físico-químicos mostra-se particularmente pertinente em estudos de qualidade da água, pois permite comparar as características mensuradas diretamente nas amostras com as respostas apresentadas pelos organismos-teste. Essa abordagem fornece sustentação para avaliações mais abrangentes das condições ambientais e fundamenta a aplicação conjunta de *Artemia salina*, *Allium cepa* L., pH e condutividade elétrica na investigação das águas do Rio Parnaíba realizada neste estudo.

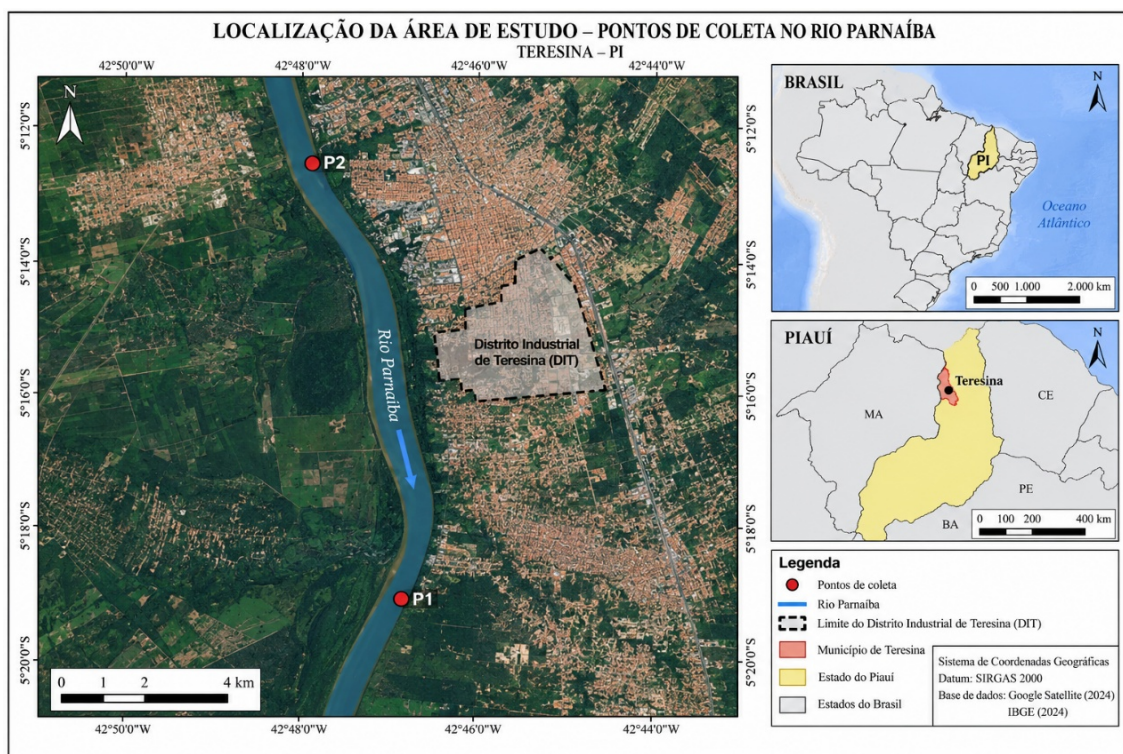
3. METODOLOGIA

A pesquisa caracterizou-se como experimental, de abordagem quantitativa e comparativa, baseada na avaliação de amostras de água por meio de parâmetros físico-químicos e bioensaios ecotoxicológicos.

O delineamento foi estabelecido de modo a permitir a comparação entre dois pontos do Rio Parnaíba situados em relação à área de influência do Distrito Industrial de Teresina, Piauí.

O estudo foi desenvolvido no município de Teresina, Piauí, em um trecho do Rio Parnaíba associado à área de influência do Distrito Industrial de Teresina (DIT). Para a comparação espacial, foram definidos dois pontos de coleta, sendo o Ponto 1 (P1) localizado a montante da área industrial, nas coordenadas geográficas -5.199424 e -42.799212, e o Ponto 2 (P2) localizado a jusante, nas coordenadas -5.136751 e -42.8110896 (Figura 1).

Figura 1. Localização dos pontos de coleta no Rio Parnaíba, Teresina – PI



Fonte: Autores (2026).

A coleta das amostras de água foi realizada em 6 de novembro de 2025, seguindo as recomendações da ABNT NBR 9898:1987. Assim, as amostras de água foram acondicionadas em frascos plásticos de polietileno, previamente higienizados, com fechamento e

identificados com o ponto e a data da coleta, conforme os procedimentos de preservação e amostragem estabelecidos pela norma supracitada.

Após a coleta, os frascos contendo as amostras foram acondicionados em recipientes térmicos e mantidos sob refrigeração a aproximadamente 4 °C durante o transporte até o Laboratório de Microbiologia de Alimentos do Instituto Federal do Piauí (IFPI), onde posteriormente foram conduzidas as etapas experimentais.

Previamente à realização dos bioensaios, as amostras correspondentes aos pontos P1 e P2 foram caracterizadas quanto ao pH e à condutividade elétrica. O pH foi determinado utilizando pHmetro digital de bancada, calibrado com soluções tampão de referência, enquanto a condutividade elétrica foi mensurada por meio de condutivímetro digital. As medições foram realizadas mediante imersão dos respectivos eletrodos diretamente nas amostras, aguardando-se a estabilização da leitura para o registro dos valores.

A avaliação da toxicidade aguda foi realizada utilizando náuplios de *Artemia salina*. Inicialmente, os cistos foram submetidos à eclosão em solução salina a 2%, sob oxigenação constante, durante 24 horas. Após a eclosão, grupos contendo entre 10 e 15 náuplios foram expostos às diferentes concentrações das amostras de água.

Para cada ponto de coleta, foram avaliadas as concentrações de 100, 50, 25, 12,5, 6,25 e 3,12%, obtidas por diluição seriada. Os ensaios foram realizados em triplicata, utilizando-se água mineral como

controle negativo. Após 24 horas de exposição, foi determinada a mortalidade dos organismos em cada concentração.

O ensaio de fitotoxicidade foi conduzido utilizando *Allium cepa* L. como organismo-teste, com base na metodologia descrita por Fiskesjö (1985). Foram selecionados 18 bulbos de cebola, previamente limpos e submetidos à pesagem para obtenção da massa inicial. Os bulbos foram distribuídos em três tratamentos: P1, correspondente à amostra coletada a montante do Distrito Industrial; P2, correspondente à amostra coletada a jusante; e Controle. Cada tratamento foi constituído por seis repetições. Os bulbos foram posicionados em suportes de isopor, mantendo-se a região basal em contato com a respectiva amostra líquida para possibilitar o desenvolvimento radicular (Figura 2).

Figura 2. Ensaio de fitotoxicidade com *Allium cepa* L.



Fonte: Autores (2026).

Após sete dias de exposição em temperatura ambiente, foram avaliados o ganho de massa dos bulbos, o número de raízes, o comprimento total das raízes e a massa das raízes. Os resultados

obtidos foram utilizados para comparar as respostas apresentadas pelos diferentes tratamentos.

Os dados obtidos nos bioensaios foram organizados e tabulados no Microsoft Excel® e submetidos à análise estatística no software *Statistica* 10.0. Para comparação entre os tratamentos P1, P2 e Controle no ensaio com *Allium cepa* L., foi aplicada a Análise de Variância (ANOVA), seguida do teste de *Tukey* para comparação entre as médias, adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$), correspondente a um nível de confiança de 95%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Parâmetros Físico-Químicos das Amostras de Água

Os valores de pH e condutividade elétrica determinados nas amostras de água coletadas nos pontos P1 e P2 são apresentados na Tabela 1. O pH médio foi de $7,42 \pm 0,01$ em P1 e $7,50 \pm 0,00$ em P2, sem diferença estatisticamente significativa entre os pontos. Os valores indicaram condições próximas à neutralidade e encontram-se dentro da faixa de pH estabelecida pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para as classes de águas doces às quais se aplica o intervalo de 6,0 a 9,0 (Brasil, 2005).

Tabela 1. Valores médios de pH e condutividade elétrica das amostras de água coletadas nos pontos P1 e P2 do Rio Parnaíba

Amostras	pH	Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)
P1	$7,42 \pm 0,01^a$	$600 \pm 0,00^a$
P2	$7,50 \pm 0,00^a$	$600 \pm 0,00^a$

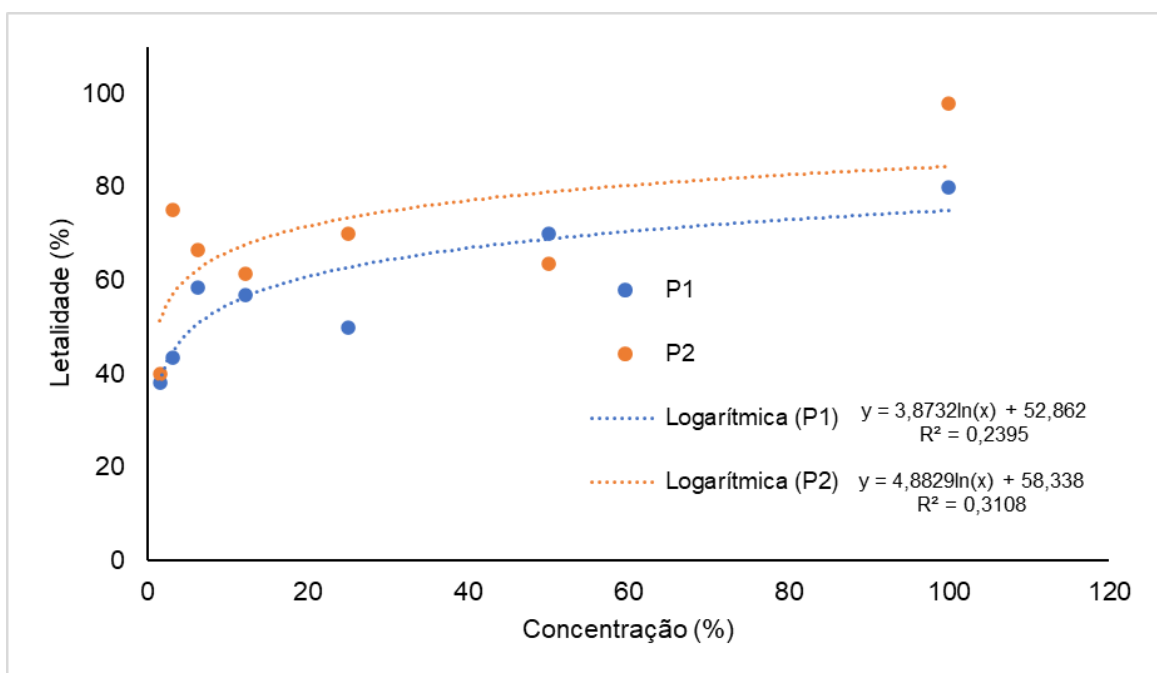
Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey* ($p < 0,05$).

A condutividade elétrica apresentou valor médio de 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em ambos os pontos, sem diferença estatisticamente significativa. Esse parâmetro está relacionado à presença de espécies iônicas dissolvidas na água e pode auxiliar na identificação de alterações em sua composição. Entretanto, a ausência de diferenças entre P1 e P2 demonstra apenas que, no momento da coleta e para os parâmetros avaliados, não foram observadas alterações físico-químicas expressivas entre os pontos.

A semelhança dos valores de pH e condutividade elétrica assume maior relevância quando analisada em conjunto com os bioensaios, uma vez que respostas biológicas distintas foram verificadas mesmo diante da estabilidade desses parâmetros. Esse resultado reforça a importância da associação entre análises físico-químicas e ferramentas ecotoxicológicas na avaliação da qualidade ambiental.

O bioensaio com *Artemia salina* demonstrou elevada mortalidade dos organismos expostos às amostras provenientes dos dois pontos do Rio Parnaíba. A resposta observada nas diferentes diluições apresentou variação conforme a concentração das amostras, permitindo avaliar comparativamente o potencial tóxico de P1 e P2 (Figura 3).

Figura 3. Mortalidade de *Artemia salina* em diferentes concentrações das amostras de água coletadas nos pontos P1 e P2 do Rio Parnaíba



Fonte: Autores (2026).

A análise dos valores médios de letalidade demonstrou mortalidade de $95,26 \pm 4,61\%$ para P1 e $99,23 \pm 1,33\%$ para P2, sendo identificada diferença estatisticamente significativa entre as amostras (Tabela 2). Embora ambos os pontos tenham provocado elevada mortalidade, P2 apresentou o maior valor médio de letalidade.

Tabela 2. Valores médios de letalidade de *Artemia salina* nas amostras de água dos pontos P1 e P2 do Rio Parnaíba

Amostras	Letalidade (%)
P1	$95,26 \pm 4,61a$
P2	$99,23 \pm 1,33b$

Nota: Médias seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Autores (2026).

A elevada mortalidade observada demonstrou que as amostras apresentaram efeito tóxico sobre *A. salina* nas condições

experimentais adotadas. Esse organismo tem sido empregado em ensaios de toxicidade devido à sua capacidade de responder à exposição a diferentes substâncias e matrizes ambientais, constituindo ferramenta de triagem para avaliação de toxicidade (Meyer *et al.*, 1982; Nunes; Carvalho; Guilhermino, 2006).

A ocorrência de elevada letalidade em P1 demonstrou que os efeitos observados não estão restritos ao ponto situado a jusante do Distrito Industrial. Entretanto, o maior valor registrado em P2 indica uma diferença espacial entre as amostras e sugere maior efeito ecotoxicológico nesse ponto. Esse resultado deve ser interpretado com cautela, pois o delineamento adotado permite identificar diferenças entre os locais de coleta, mas não determinar isoladamente a origem ou a composição dos agentes responsáveis pela toxicidade.

4.2. FITOTOXICIDADE COM *Allium Cepa* L

Os resultados do bioensaio com *Allium cepa* L. demonstraram respostas distintas entre os parâmetros avaliados. Foram analisados o ganho de massa dos bulbos, o número de raízes, o comprimento radicular e a massa das raízes após o período experimental (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios dos parâmetros avaliados no ensaio de fitotoxicidade com *Allium cepa* L.

Amostras	Ganho de massa (g)	Nº de raízes	Comprimento das raízes (cm)	Massa das raízes (g)
P1	25,25 ± 1,34 ^a	6,33 ± 1,08 ^a	29,36 ± 4,76 ^a	0,43 ± 0,11 ^a

P2	$11,18 \pm 0,68^b$	$6,03 \pm 0,30^a$	$36,93 \pm 3,74^a$	$0,35 \pm 0,13^a$
Controle	$17,81 \pm 0,93^c$	$7,50 \pm 3,08^a$	$36,43 \pm 4,32^a$	$0,42 \pm 0,90^a$

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Autores (2026).

O ganho de massa apresentou diferença estatisticamente significativa entre os três tratamentos. P1 apresentou o maior valor médio, com $25,25 \pm 1,34$ g, seguido pelo Controle, com $17,81 \pm 0,93$ g, enquanto P2 apresentou o menor ganho, com $11,18 \pm 0,68$ g. O menor incremento de biomassa observado nos bulbos expostos à água de P2 evidencia uma resposta fitotóxica nesse parâmetro em comparação aos demais tratamentos.

O resultado é relevante porque *Allium cepa* L. é utilizada como organismo bioindicador em avaliações ambientais, sendo capaz de apresentar respostas relacionadas ao crescimento e ao desenvolvimento quando submetida a condições potencialmente tóxicas (Fiskesjö, 1985; Leme; Marin-Morales, 2009). Entretanto, o maior ganho de massa observado em P1 em relação ao Controle demonstrou que a interpretação não deve ser limitada a uma relação linear entre exposição às amostras do rio e inibição do crescimento.

Para o número de raízes, comprimento radicular e massa das raízes, não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre P1, P2 e Controle. Portanto, nas condições experimentais utilizadas, esses parâmetros não demonstraram respostas capazes de diferenciar os tratamentos. A ocorrência de diferença apenas no

ganho de massa indica que os parâmetros avaliados apresentaram sensibilidades distintas às condições de exposição.

4.3. Integração dos Resultados Ecotoxicológicos e Físico-Químicos

A análise conjunta dos resultados revelou um aspecto importante: enquanto pH e condutividade elétrica permaneceram estatisticamente semelhantes entre P1 e P2, os bioensaios evidenciaram diferenças nas respostas dos organismos. *Artemia salina* apresentou elevada mortalidade nos dois pontos, com maior letalidade em P2, enquanto *Allium cepa* L. apresentou menor ganho de massa no mesmo ponto.

Essa diferença entre as respostas físico-químicas e biológicas demonstrou a importância de empregar múltiplas linhas de evidência na avaliação ambiental. Os parâmetros físico-químicos utilizados neste estudo caracterizam aspectos específicos das amostras, enquanto os bioensaios fornecem informações sobre os efeitos produzidos nos organismos nas condições experimentais. Dessa maneira, a ausência de diferenças significativas no pH e na condutividade elétrica não correspondeu à ausência de respostas biológicas.

Os resultados obtidos em P2 indicam maior efeito biológico em dois organismos-teste distintos quando comparado a P1, particularmente pela maior letalidade de *A. salina* e pelo menor ganho de massa de *A. cepa* L. Esse padrão é compatível com a existência de diferenças na qualidade das amostras coletadas a montante e a jusante da área investigada. Entretanto, os resultados não permitem atribuir diretamente esses efeitos às atividades do Distrito Industrial, uma

vez que não foram realizadas análises destinadas à identificação e quantificação de contaminantes específicos nem avaliadas todas as possíveis fontes antrópicas existentes no trecho.

Além disso, a interpretação dos resultados deve considerar que as amostras foram obtidas em uma única campanha, realizada em 6 de novembro de 2025. Dessa forma, os dados representam as condições verificadas no período amostrado e não permitem caracterizar possíveis variações sazonais da qualidade da água. Estudos posteriores poderão incorporar campanhas em diferentes períodos hidrológicos, maior número de pontos de coleta e análises complementares, como demanda bioquímica e química de oxigênio, nutrientes, metais e compostos orgânicos, associadas aos bioensaios ecotoxicológicos.

Em conjunto, os resultados demonstram que a utilização integrada de parâmetros físico-químicos, *Artemia salina* e *Allium cepa* L. ampliou a capacidade de avaliação das amostras do Rio Parnaíba, evidenciando respostas biológicas que não seriam identificadas exclusivamente pelos parâmetros físico-químicos analisados.

5. CONCLUSÃO

A avaliação integrada demonstra que as águas do Rio Parnaíba nos pontos estudados apresentam respostas ecotoxicológicas distintas, mesmo diante da estabilidade dos parâmetros físico-químicos avaliados. Os bioensaios com *Artemia salina* e *Allium cepa* L. evidenciam efeitos biológicos mais pronunciados no ponto situado a jusante do Distrito Industrial de Teresina, indicando diferenças na qualidade ambiental entre os trechos analisados.

A associação entre bioensaios e parâmetros físico-químicos amplia a capacidade de avaliação da qualidade da água, uma vez que permite identificar respostas biológicas que não são evidenciadas pelo pH e pela condutividade elétrica isoladamente. Dessa forma, o estudo atinge o objetivo proposto e demonstra a relevância da abordagem ecotoxicológica integrada para o monitoramento de ambientes aquáticos submetidos a pressões antrópicas.

O delineamento adotado permite identificar diferenças espaciais entre os pontos avaliados, mas não estabelece relação causal direta entre os efeitos observados e as atividades desenvolvidas no Distrito Industrial. A realização de novas campanhas em diferentes períodos, associada à ampliação dos parâmetros físico-químicos e à identificação de contaminantes específicos, contribui para aprofundar a compreensão das fontes e dos fatores relacionados às respostas ecotoxicológicas observadas no Rio Parnaíba.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021**. Brasília, DF: ANA, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9898: **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, DF, 2011.

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

CAUICH-SUÁREZ, L. Y. et al. Bioassays with *Allium cepa* for the monitoring of toxicity in groundwater: an applied study. **Applied Sciences**, v. 14, 2024.

CHOWDHARY, P. et al. Detection and identification of hazardous organic pollutants in industrial wastewater and assessment of phytotoxic, cytotoxic and genotoxic effects. **Chemosphere**, v. 287, 2022.

CONNELL, D. W. **Basic concepts of environmental chemistry.** Boca Raton: CRC Press, 1999.

DIAS, G. C.; TANAKA, F. C.; MALMONGE, L. F. Efeitos das contaminações de corpos hídricos oriundos da atividade industrial e agrícola. **Revista Augustus**, v. 24, n. 48, p. 117–133, 2019.

FAÇANHA, R.; SOUSA, I. A poluição aquática no Rio Parnaíba em Teresina. **Geografia em Questão**, v. 4, n. 2, p. 129–144, 2011.

FISKESJÖ, G. The Allium test as a standard in environmental monitoring. **Hereditas**, v. 102, n. 1, p. 99–112, 1985.

KAMALAKANNAN, M. et al. Combined toxicity of nanoplastics and dyes in *Artemia salina*: implications for aquatic ecosystems. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, 2025.

LEME, D. M.; MARIN-MORALES, M. A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application. **Mutation Research**, v. 682, n. 1, p. 71–81, 2009.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

LIMA, I. J. C. et al. Evaluating the toxicity and genotoxicity of naproxen and ketoprofen using factorial design: a study with *Artemia salina* and *Allium cepa*. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, v. 17, n. 6, p. 518–525, 2026.

MEYER, B. N. et al. Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. **Planta Medica**, v. 45, p. 31–34, 1982.

NEWMAN, M. C. **Ecotoxicology**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2019.

NICUȚA, D. et al. The *Allium cepa* model: a review of its application in environmental and toxicological assessments. **Plants**, v. 14, 2025.

NUNES, B.; CARVALHO, F.; GUILHERMINO, L. Immobilization of *Artemia salina* larvae by sodium dodecyl sulfate: a tool for toxicity testing. **Chemosphere**, v. 62, p. 121–125, 2006.

RAND, G. M. **Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate and risk assessment**. 2. ed. Washington: Taylor & Francis, 2004.

ROCHA, J. R.; SILVA, C. E. Análise da qualidade das águas do Rio Parnaíba no meio urbano da cidade de Teresina-PI. **ABES**, 2018.

SORGELOOS, P. et al. **Handbook of Artemia Biology**. Ghent: Ghent University Press, 2001.

TZIMA, C. S.; BANTI, C. N.; HADJIKAKOU, S. K. Assessment of the biological effect of metal ions using *Allium cepa* and *Artemia salina* assays. **Journal of Biological Inorganic Chemistry**, v. 27, 2022.

VIANNA, A. M. Poluição ambiental e crescimento urbano desordenado. **Revista Sustinere**, v. 3, n. 1, 2015.

ZUCKER, E. **Hazard Evaluation Division, Standard Evaluation Procedure: Acute Toxicity Test for Freshwater Fish**. EPA-540/9/85-006. Washington, D.C.: Environmental Protection Agency, Office of Pesticide Programs, 1985.

¹ Docente do Curso Superior de Gestão Ambiental do Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).

² Gestor Ambiental pelo Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).

³ Gestora Ambiental pelo Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).

mail.

⁴ Gestora Ambiental pelo Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).

⁵ Gestora Ambiental pelo Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).

⁶ Docente do Curso Superior de Gestão Ambiental do Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).