TOXICIDADE AGUDA E CRÔNICA DA ÁGUA E DO SEDIMENTO DE CORPOS HÍDRICOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE ALEGRE, ESPÍRITO SANTO

Felipe de Brito Menezes[1]; Ingrid Lins Noé[1]; Rubens Caetano Andrade[1]; Jéssica Dutra Ferreira[1]; Cristiane dos Santos Vergilio[1]

[1]Universidade Federal do Espírito Santo – Campus Alegre, Alto Universitário, s/nº – Guararema, 29500-000 – Alegre – ES, Brasil, fmenezesbrito@gmail.com; ingridlnoe@gmail.com; rubimcaetano297@gmail.com; jessicadutra017@gmail.com; cristiane.vergilio@ufes.br

Resumo

O presente estudo avaliou a qualidade ambiental e o potencial tóxico da água e do sedimento de corpos d'água urbanos de Alegre-ES. Foram realizadas duas coletas (agosto e dezembro) em seis pontos – três no Rio Alegre e três no Córrego Varjão da Cutia (CVC), ambos sob forte influência de esgoto doméstico sem tratamento – considerando um gradiente de entrada, meio e saída da área urbana, com aferição de parâmetros físico-químicos e ensaios de toxicidade aguda da água com *Daphnia similis* e do sedimento com *Hyalella azteca*. Foram observadas baixas concentrações de oxigênio dissolvido no meio e na saída do CVC, sem toxicidade aguda significativa para *D. similis*, já o sedimento apresentou toxicidade para *H. azteca* na saída do CVC e no meio do Rio Alegre. Os resultados reforçam a importância da abordagem ecotoxicológica multiorganismo aliada a parâmetros físico-químicos e apontam a urgência de investimentos em saneamento, monitoramento contínuo e estudos complementares para identificação dos contaminantes.

Palavras-chave: Ecotoxicologia; Saneamento básico; Bioindicadores, *Daphnia similis*, *Hyalella azteca*.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas - Ecologia

Introdução

Os ecossistemas aquáticos continentais desempenham funções essenciais para a manutenção da biodiversidade, ciclagem de nutrientes e abastecimento humano (Lynch *et al*., 2023). Entretanto, o crescimento urbano associado à deficiência dos serviços de saneamento básico tem contribuído para a degradação de rios e córregos. Entre as principais fontes de contaminação desses ambientes está o lançamento de efluentes domésticos sem tratamento, que pode alterar as características da água e comprometer a qualidade ambiental e a biota aquática (Marques; Cunico, 2023).

No município de Alegre, localizado no sul do Espírito Santo, a ausência de tratamento do esgoto coletado resulta no lançamento de efluentes *in natura* nos corpos hídricos (Instituto Água e Saneamento, 2024). Entre os cursos d'água que atravessam a área urbana destacam-se o Córrego Varjão da Cutia e o Rio Alegre, sujeitos à influência das atividades antrópicas, além de recebem a carga de efluentes domésticos do município sem tratamento. A avaliação da qualidade ambiental de rios e córregos urbanos é fundamental, pois esses ambientes recebem diferentes fontes de contaminação, especialmente esgoto doméstico sem tratamento, e estão em contato próximo com a população. Em situações de alagamentos e enchentes, o transbordamento das águas contaminadas pode ampliar a exposição humana a agentes químicos e biológicos, aumentando o risco de doenças e agravos à saúde, além de comprometer a biodiversidade aquática e os serviços ecossistêmicos.

O monitoramento desses ambientes e deve considerar diferentes matrizes, uma vez que o sedimento pode atuar como reservatório de contaminantes, em função de processos de decantação a partir da coluna d'água, favorecendo sua persistência no ambiente. Tais poluentes podem sofrer remobilização para a coluna d'água, sendo uma fonte de exposição dos organismos aquáticos (Burton, 2002).

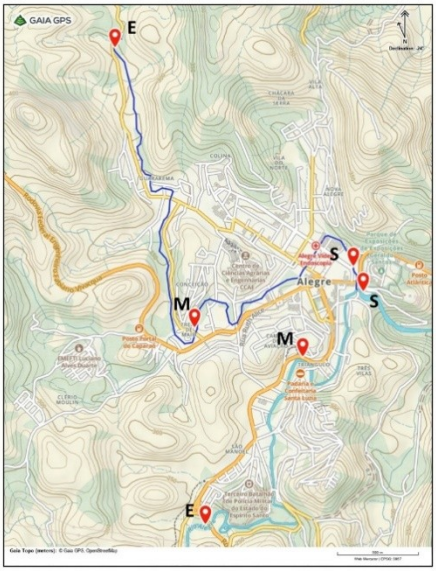
A utilização de múltiplos bioindicadores em programas de monitoramento ambiental demonstra ser crucial, pois os ensaios com *D. similis* permitem detectar alterações na qualidade da água, sendo um indicativo das condições ambientais vigentes no momento da coleta, o que permite a associação direta com os parâmetros físico-químicos, como oxigênio dissolvido e pH. Enquanto ensaios com *H. azteca* evidenciam de forma mais clara a presença de contaminantes, que sofrem decantação a partir da coluna d'água e se acumulam no sedimento.

A avaliação de parâmetros físico-químicos fornece informações importantes sobre as condições dos corpos hídricos, porém, isoladamente, não permite determinar os efeitos biológicos provocados pelos contaminantes. Nesse sentido, os ensaios ecotoxicológicos constituem uma importante ferramenta complementar para o monitoramento ambiental, permitindo avaliar diretamente os efeitos sobre organismos bioindicadores (Kalinowski; Załęska-Radziwiłł, 2011). Entre os organismos utilizados, *Daphnia similis* destaca-se por ser uma espécie indicadora de qualidade aguda de água em estudos ecotoxicológicos no Brasil (Silva *et al*., 2024). Para a avaliação de sedimentos, *Hyalella azteca* constitui um importante organismo-teste devido ao seu hábito bentônico e sensibilidade a contaminantes associados a essa matriz (Poynton *et al*., 2018). Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade ambiental e o potencial tóxico da água e do sedimento do Córrego Varjão da Cutia e do Rio Alegre, no município de Alegre-ES, por meio de parâmetros físico-químicos e ensaios ecotoxicológicos com *D. similis* e *H. azteca*.

Metodologia

Foram realizadas duas campanhas de coleta de amostras de água superficial e sedimento, sendo uma no período seco (agosto de 2025) e outra no período chuvoso (dezembro de 2025), sendo coletadas em dois corpos d'água urbanos do município de Alegre, Espírito Santo — o Córrego Varjão da Cutia e o Rio Alegre. Em cada corpo hídrico, foram selecionados pontos amostrais na entrada (E), no meio (M) e na saída (S), de modo a contemplar as diferentes influências exercidas pela área urbana ao longo do curso d'água (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização dos pontos de coleta no Córrego Varjão da Cutia e no Rio Alegre, município de Alegre-ES. O traço em azul escuro representa o Córrego Varjão da Cutia, e o traço em azul claro representa o Rio Alegre. Os pontos estão identificados como Entrada (E), Meio (M) e Saída (S) em cada corpo d'água.



Fonte: Base cartográfica elaborada com Gaia GPS. (2025)

As amostras de água superficial foram coletadas com coletor de inox e armazenadas em garrafas de poliestireno, enquanto as amostras de sedimento superficial (0–10 cm) foram coletadas com auxílio de draga tipo Van Veen e armazenadas em sacolas plásticas. Durante as coletas, foram mensurados *in situ* os parâmetros de oxigênio dissolvido, pH, temperatura, condutividade elétrica e turbidez. Os valores obtidos foram comparados aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de Classe 2.

Para avaliação da toxicidade aguda da água, foram realizados ensaios com *Daphnia similis*, conforme a ABNT NBR 12713:2016. Cinco neonatos com idade entre 6 e 24 horas foram adicionados a dez tubos de ensaio contendo 10 mL de água de cada ponto amostral, totalizando 50 organismos expostos por tratamento. Os organismos foram expostos durante 48 horas, em sistema estático, a 20 ± 2 °C e no escuro. Ao final do período de exposição, foi registrada a imobilidade dos organismos.

Para avaliação da toxicidade do sedimento, foram realizados ensaios com *Hyalella azteca*, conforme a ABNT NBR 15470:2013. Oito recipientes-teste foram montados contendo 100 g de sedimento úmido e 200 mL de meio MS. Após 24 horas de decantação, cinco organismos com idade entre 7 e 14 dias foram adicionados a cada recipiente-teste, totalizando 40 organismos expostos por tratamento. O ensaio foi conduzido em sistema semiestático durante dez dias, a 24 ± 2 °C, com renovação de aproximadamente 1/3 do meio a cada 48 horas. Ao final da exposição, foi avaliada a sobrevivência dos organismos.

Os dados quantitativos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida pelo pós-teste de Tukey para comparação dos tratamentos com o grupo controle, utilizando o software GraphPad Prism. As diferenças foram consideradas estatisticamente significativas quando $p < 0,05$.

Resultados

Os parâmetros físico-químicos da água apresentaram variações entre os pontos amostrais e as campanhas de coleta (Tabela 1). As violações do CONAMA 357 para classe de água tipo II foram observadas nos níveis de oxigênio dissolvido (OD) nos pontos de saída no período seco (2,3 mg/L) e no meio em ambos os períodos (seco: 2,5 e chuvoso: 1,9 mg/L) do CVC, enquanto o Rio Alegre não apresentou violações em relação aos níveis de oxigênio dissolvido. Em relação ao pH, apenas na entrada de CVC apresentou valor abaixo do estabelecido pela CONAMA 357, sendo 5,3 no período seco. Os valores de turbidez permaneceram dentro do limite estabelecido para águas de Classe 2 em todos os pontos avaliados.

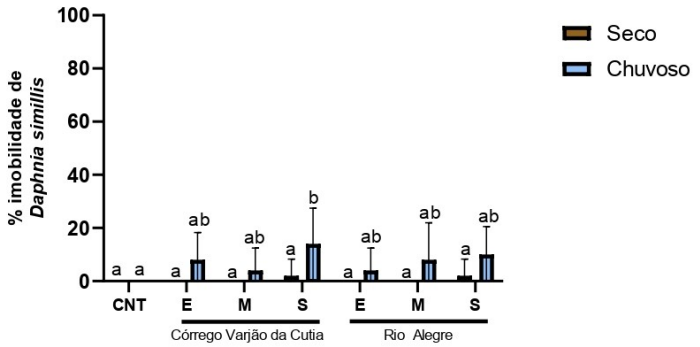
Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos da água nos seis pontos amostrais – Entrada (E), Meio (M) e Saída (S) durante as duas campanhas de coleta (C1 e C2). OD = oxigênio dissolvido; Temp = temperatura; Cond= condutividade elétrica; CVC = Córrego Varjão da Cutia.

Curso d'água	Ponto de Coleta	OD (mg/L)		pH		Temp (°C)		Cond (µS/cm)		Turbidez	
		SECO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO
CVC	E	7,3	7,8	5,3	7,2	23,0	24,7	58,0	70,4	12,0	7,7
CVC	M	2,5	1,9	7,5	7,2	19,8	25	143,1	148,9	8,3	8,3
CVC	S	2,3	6,4	6,2	8,7	22,8	24,9	203,0	64,4	18,3	58,0
Rio Alegre	E	6,9	6,1	7,4	7,6	22,7	25,3	53,7	269,5	5,7	21,6
Rio Alegre	M	7,2	6,8	7,5	8,6	24,2	24,8	63,7	74,4	7,3	21,5
Rio Alegre	S	6,0	7,5	7,9	7,9	23,0	24,7	79,4	73	6,8	19,4
CONAMA 357/2005 - Águas Tipo II		**≥ 5 mg/L**		**6,0 a 9,0**		**-**		**-**		**100 UNT**	

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Os ensaios com *Daphnia similis* demonstraram toxicidade aguda da água apenas no ponto de saída da cidade no CVC. Nos demais pontos, apesar da tendência de aumento da imobilidade no período chuvoso (4,0–10,0%), os dados não apresentaram diferenças estatísticas em relação ao controle (Figura 2).

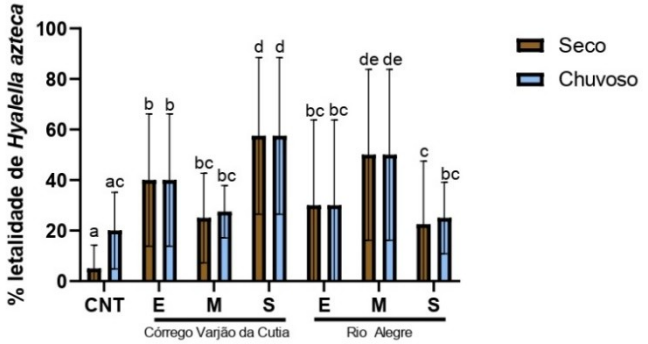
Figura 2. Comparação da imobilidade (%) de *Daphnia similis* exposta à água coletada no período seco (agosto/2025) e no período chuvoso (dezembro/2025) nos seis pontos amostrais e no grupo controle. As barras representam a média dos valores obtidos (dez réplicas por ponto amostral). E = Entrada; M = Meio; S = Saída. As letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas entre os pontos amostrais ($p < 0,05$; Two-Way RM ANOVA, pós-teste de Tukey).



Fonte: elaborado pelo próprio autor. (2025)

Os ensaios com *Hyalella azteca* demonstraram toxicidade aguda do sedimento demostrou que todos os pontos amostrais (Entrada, Meio e Saída de ambos os corpos d'água) diferiram significativamente do grupo controle em pelo menos uma das estações. Os efeitos mais pronunciados foram observados no ponto de saída da cidade no Córrego Varjão da Cutia, que apresentou 57,5% de letalidade para *H. azteca* em ambos os períodos de coleta, e no ponto do meio do Rio Alegre, com 50% de letalidade (Figura 3).

Figura 3. Comparação da letalidade (%) de *Hyalella azteca* exposta aos sedimentos coletados no período seco (agosto/2025) e no período chuvoso (dezembro/2025) nos seis pontos amostrais e no grupo controle. As barras representam a média dos valores obtidos (8 réplicas por ponto amostral). E = Entrada; M = Meio; S = Saída. As letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas entre os pontos amostrais ($p < 0,05$; Two-Way RM ANOVA, pós-teste de Tukey).



Fonte: elaborado pelo próprio autor. (2025)

Discussão

Os parâmetros físico-químicos evidenciaram alterações na qualidade da água, principalmente nos pontos do meio e saída da cidade no CVC, que apresentaram baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Essa redução pode estar relacionada ao aporte de matéria orgânica proveniente do lançamento de esgoto doméstico sem tratamento, uma vez que sua decomposição aumenta o consumo de oxigênio no ambiente aquático (Silva; Sperling; Barros, 2014). No ponto de entrada do CVC, o pH abaixo do limite estabelecido pode estar associado à decomposição da matéria orgânica e à formação de ácidos orgânicos (Esteves, 2011). Além disso, embora a Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabeleça limite para a condutividade elétrica, mas valores superiores a 100 µS/cm, conforme observado nos pontos do meio e saída do CVC e na entrada do Rio Alegre podem indicar influência antrópica (CETESB, 2023).

Os ensaios ecotoxicológicos realizados com *H. azteca* e *D. similis* evidenciaram diferenças significativas na toxicidade entre os pontos amostrais avaliados, bem como diferenças nas respostas dos organismos utilizados. De modo geral, os resultados indicaram maior toxicidade associada ao sedimento em comparação à coluna d'água, evidenciada pelas elevadas taxas de letalidade observadas em *H. azteca* (até 57,5%) quando comparadas aos baixos níveis de imobilidade registrados para *D. similis* (até 14%). A maior toxicidade observada no sedimento em comparação à água pode ser explicada por fatores físico-químicos que governam a distribuição de contaminantes entre essas matrizes. O sedimento pode atuar como reservatório de contaminantes, favorecendo a exposição dos organismos associados a essa matriz (Burton, 2002). Devido ao hábito bentônico e ao contato direto com o sedimento, *H. azteca* apresenta sensibilidade a contaminantes presentes nesse compartimento (Poynton *et al*., 2018).

Os maiores efeitos tóxicos no sedimento foram observados no ponto saída da cidade do Córrego Varjão da Cutia, que apresentou 57,5% de letalidade para *H. azteca* em ambos os períodos de coleta, e no ponto meio do Rio Alegre, com 50% de letalidade. Para *D. similis*, apenas o ponto de saída do Córrego Varjão da Cutia no período chuvoso apresentou imobilidade significativamente maior que o grupo controle, indicando que os contaminantes capazes de afetar a coluna d'água estão mais associados a eventos sazonais, como o carreamento de poluentes durante as chuvas. Esse padrão revela que, enquanto o sedimento mantém uma toxicidade crônica e persistente, a água reflete uma toxicidade aguda e episódica, diretamente relacionada à sazonalidade. Destaca-se ainda que a ausência de efeitos agudos no ensaio de *D. similis* não exclui a ocorrência de efeitos crônicos, que podem se manifestar por alterações subletais no crescimento, desenvolvimento e reprodução dos organismos (ABNT, 2017).

O ponto de saída do CVC destacou-se por elevada toxicidade em ambos os ensaios. O ponto está localizado próximo ao Hospital de Alegre, em uma área de alta densidade populacional e concentração de atividades comerciais e institucionais. Essa região é caracterizada pelo recebimento do esgoto doméstico sem tratamento, uma vez que o município de Alegre ainda não possui sistema de tratamento de esgoto estabelecido (ANA, 2017). Dessa forma, a toxicidade elevada observada na saída do CVC pode estar associada à combinação de diferentes fontes de contaminação, incluindo efluentes domésticos, resíduos de atividades agrícolas e possíveis lançamentos de efluentes hospitalares.

Conclusão

Os resultados obtidos evidenciam a degradação dos recursos hídricos urbanos de Alegre-ES, com padrões de toxicidade consistentes entre os períodos seco e chuvoso. O sedimento apresentou maior comprometimento que a coluna d'água, com destaque para os pontos saída do Córrego Varjão da Cutia e meio do Rio Alegre, que registraram as maiores taxas de letalidade para *H. azteca* (57,5% e 50%, respectivamente). O Córrego Varjão da Cutia, por ser um curso de menor porte, mostrou-se mais vulnerável à contaminação do que o Rio Alegre, corroborando a hipótese de que corpos d'água com menor capacidade de diluição são mais suscetíveis aos impactos da poluição.

A toxicidade da água, detectada exclusivamente no período chuvoso no ponto saída do Córrego Varjão da Cutia para *D. similis* (com pico de 14% de imobilidade), contrasta com a estabilidade temporal da toxicidade sedimentar, evidenciada pela ausência de diferenças significativas entre as estações para *H. azteca*. Esse padrão indica que a contaminação do sedimento é crônica e persistente, enquanto a coluna d'água reflete variações sazonais associadas ao carreamento de poluentes durante as chuvas e à ressuspensão de sedimentos finos, que liberam contaminantes adsorvidos para a coluna d'água.

Os baixos níveis de oxigênio dissolvido registrados nos pontos Saída do Córrego Varjão da Cutia e Meio do Córrego Varjão da Cutia durante o período seco corroboram a elevada carga de matéria orgânica proveniente do lançamento de esgoto doméstico sem tratamento, reforçando a relação entre a falta de saneamento básico e a degradação ambiental observada.

Dessa forma, este estudo preenche uma lacuna de conhecimento sobre a qualidade ecotoxicológica dos recursos hídricos de Alegre e demonstra a eficácia da abordagem integrada com múltiplos organismos-teste e parâmetros físico-químicos para o diagnóstico ambiental.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12713: Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Daphnia* spp. (Crustacea, Cladocera)**. Rio

de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13373: Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica – Método de ensaio com *Ceriodaphnia* spp. (Crustacea, Cladocera)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15470: Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda e crônica – Método de ensaio com *Hyalella* spp. (Amphipoda) em sedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: http://atlasesgotos.ana.gov.br/. Acesso em: 09 set. 2026.

BURTON, G. A. Sediment quality criteria in use around the world. **Limnology**, v. 3, p. 65-75, 2002.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Apêndice C: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo: CETESB, 2023. Disponível em: Apêndice C – CETESB. Acesso em: 26 ago. 2026.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília: CONAMA, 2005.

ESTEVES, Francisco de Assis (coord.). **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. **O saneamento em Alegre (ES): indicadores municipais de água e esgoto**. 2024. Disponível em: Instituto Água e Saneamento – Alegre (ES). Acesso em: 29 jun. 2026.

KALINOWSKI, R.; ZAŁĘSKA-RADZIWIŁŁ, M. Ecotoxicological assessment of freshwater sediments. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 20, n. 5, p. 1181-1192, 2011.

LYNCH, A. J. et al. People need freshwater biodiversity. **WIREs Water**, v. 10, n. 3, e1633, 2023. DOI: 10.1002/wat2.1633. Acesso em: 4 jul. 2026.

MARQUES, P.; CUNICO, A. Integrating the influence of untreated sewage into our understanding of the urban stream syndrome. **Freshwater Science**, v. 42, n. 2, p. 195-203, 2023. DOI: 10.1086/724823. Acesso em: 29 jun. 2026.

POYNTON, H. C. et al. The Toxicogenome of *Hyalella azteca*: A Model for Sediment Ecotoxicology and Evolutionary Toxicology. **Environmental Science & Technology**, v. 52, n. 10, p. 6009-6022, 2018. DOI: 10.1021/acs.est.8b00837.

SILVA, Denise Felício; SPERLING, Eduardo Von; BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos**.** Avaliação do gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde em municípios da região metropolitana de Belo Horizonte (Brasil). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 251–262, 2014. DOI: 10.1590/S1413-41522014019000000452.

SILVA, F. V. M. et al. Avaliação da qualidade da água do Rio Cubatão (Baixada Santista, SP-Brasil). **Periódicos Unisanta**, 2024.

Agradecimentos

Agradeço ao LABTOX (Laboratório de Ecotoxicologia da UFES – Alegre ES) pelo apoio na infraestrutura e análises laboratoriais, a FAPES (Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo) e ao Programa de Iniciação Científica júnior do Espírito Santo – Pesquisador do Futuro (PICJr 2025), pelo financiamento.