

AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO TRATADO POR OZONIZAÇÃO UTILIZANDO BIOENSAIO COM *ALLIUM CEPA*

RUBIANE BUCHWEITZ FICK¹; ANA CLARA MARINS MENDES²; JÉSSICA TORRES DOS SANTOS³; RAFAEL MIRITZ BARTZ⁴; DANIELE MARTIN SAMPAIO⁵; MAURIZIO SILVEIRA QUADRO⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – rubianebfick1@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – anaclaramarinsmendes@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – jessica_jesantos@hotmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – rafaelmiritz@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – daniele.sampaio@ufpel.edu.br

⁶Universidade Federal de Pelotas – mausq@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os aterros sanitários são soluções adequadas para a disposição final de resíduos sólidos urbanos, sendo equipados com sistemas de revestimento, drenagem de lixiviado e manejo de gases (YOUCAI; ZIYANG, 2017). Para garantir sua eficiência, é essencial o monitoramento durante a construção, operação e após seu fechamento, considerando fatores como a gestão do lixiviado, possíveis vazamentos, qualidade da água subterrânea, migração de gases e estabilidade estrutural (MEEGODA; HETTIARACHCHI; HETTIARATCHI, 2016).

O lixiviado de aterro sanitário, também chamado de percolado ou chorume, é um líquido escuro, viscoso, com forte odor e elevada turbidez (SCANDELA et al., 2025). Este líquido também apresenta altas concentrações de nitrogênio amoniacal, cloretos, matéria orgânica e compostos de difícil degradação, como substâncias húmicas, podendo conter metais (KAWAHIGASHI et al., 2014), que, se não tratado de forma adequada, pode representar risco ambiental, incluindo a contaminação do solo e das águas subterrâneas (BARBOSA; ROCHA, 2023).

O tratamento do chorume de aterro constitui um desafio técnico fundamental para a gestão ambiental e a proteção da saúde pública (NATH; DEBNATH, 2022). Para atender aos padrões regulatórios de descarga, cada vez mais rigorosos, têm sido desenvolvidas diversas técnicas voltadas à remoção dos contaminantes tóxicos presentes nesse lixiviado (ABDELFATTAH; EL-SHAMY, 2024).

O ozônio (O₃) é um oxidante altamente eficiente, amplamente aplicado para remoção de cor, odor, microrganismos e degradação de compostos orgânicos no chorume de aterros (TRIPATHI; HUSSAIN, 2022; YANG C. et al., 2021). A eficiência desta técnica depende da dosagem, tempo de contato e qualidade inicial da água a ser tratada (HUSSAIN et al., 2022). Apesar do alto consumo energético e da possível formação de subprodutos (WANG; CHEN, 2020), a ozonização é uma alternativa promissora para o tratamento de chorume.

A ozonização, embora eficiente na remoção de poluentes, pode gerar subprodutos com impacto ambiental superior aos compostos originais, tornando essencial a avaliação da toxicidade do efluente tratado (PULICHARLA, 2020). Nesse contexto, este estudo avaliou a eficácia da ozonização na redução da toxicidade do lixiviado de aterro sanitário, por meio de ensaios de fitotoxicidade com sementes de *Allium cepa* e aplicação do Índice de Germinação (IG%) como parâmetro de resposta biológica.

2. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Águas e Efluentes (LAAE) da UFPel, utilizando lixiviado do aterro de Candiota/RS. Nos ensaios de ozonização, aplicaram-se doses de 75, 150 e 300 mg O₃/L. Para o teste de fitotoxicidade, amostras brutas e tratadas, diluídas em 1:10, 1:50 e 1:100 (v/v), além do controle com água destilada, foram aplicadas em placas de Petri com sementes de *Allium cepa*, em triplicata. As placas foram incubadas por sete dias a 25 °C, alternando entre 8 horas de luz e 16 horas de escuro, e o Índice de Germinação (IG%) foi calculado conforme a equação abaixo, adaptada de MENDES et al. (2016).

$$IG(\%) = \left(\frac{Gm * Lm}{Gc * Lc} \right) * 100$$

Onde:

IG%: índice de germinação das sementes expressado em percentual;

Gm: número de sementes germinadas na exposição da amostra de lixiviado;

Lm: alongamento das raízes das sementes na exposição da amostra de lixiviado;

Gc: número de sementes germinadas na exposição de água destilada (controle);

Lc: alongamento das raízes das sementes na exposição de água destilada (controle).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Índice de Germinação (IG%) foi utilizado como parâmetro comparativo entre as amostras brutas, tratadas com as doses de ozônio aplicadas e o controle, permitindo identificar as condições mais favoráveis à atenuação da toxicidade do lixiviado. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados do teste de fitotoxicidade.

Amostras	Diluição (v/v)	Índice de Germinação (%)
Branco	-	100
Bruto	-	-
	1:10	-
	1:50	-
	1:100	-
Dose: 75mg O ₃ /L	-	-
	1:10	5,46
	1:50	57,43
	1:100	58,41
	-	-

Dose: 150mg O ₃ /L	1:10	27,16
	1:50	87,62
	1:100	35,41
Dose: 300mg O ₃ /L	-	-
	1:10	19,15
	1:50	42,52
	1:100	61,01

Fonte: Autores, 2025.

A análise dos resultados evidencia que o lixiviado bruto apresentou elevada toxicidade, uma vez que não houve germinação em nenhuma das diluições testadas. Segundo Kopliku (2015), o lixiviado de aterros de resíduos sólidos urbanos pode conter substâncias genotóxicas e mutagênicas, capazes de prejudicar o crescimento das raízes de *Allium cepa*, reforçando a necessidade de um tratamento prévio.

A aplicação de 75 mg O₃/L promoveu redução parcial da toxicidade, com aumento significativo do índice de germinação nas diluições 1:50 (57,43%) e 1:100 (58,41%), embora ainda abaixo do controle. A dose de 150 mg O₃/L apresentou maior eficiência, especialmente na diluição 1:50, alcançando 87,62% de germinação, evidenciando sua capacidade superior de degradar compostos tóxicos sem gerar subprodutos relevantes.

No entanto, durante a ozonização, a formação de radicais pode originar subprodutos tóxicos, o que reforça a importância dos testes de toxicidade ao longo do tratamento (CAMPOS, 2024). Esse efeito foi observado na dose de 300 mg O₃/L, em que os índices de germinação foram inferiores, sendo o melhor desempenho registrado na diluição 1:100 (61,01%), sugerindo que concentrações mais elevadas de ozônio podem ter favorecido a geração de intermediários tóxicos.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos evidenciam que o processo de ozonização contribuiu de maneira significativa para a redução da fitotoxicidade do lixiviado de aterro sanitário, destacando-se a dose aplicada de 150 mg O₃/L na diluição 1:50, que apresentou o maior índice de germinação. Esse desempenho sugere que, nessa condição ocorreu degradação eficaz de compostos tóxicos sem a formação expressiva de subprodutos e que a escolha da dose de ozônio e diluição adequada favorece a atenuação da toxicidade do lixiviado, evidenciando o potencial da ozonização como alternativa viável no contexto do tratamento de efluentes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PULICHARLA, R., PROULX, F., BEHMEL, S., SÉRODES, J., & RODRÍGUEZ, M. (2020). Tendências em Subprodutos da Desinfecção por Ozonização - Ocorrência, Análise e Toxicidade de Ácidos Carboxílicos. *Água*. <https://doi.org/10.3390/w12030756>.

YOUCAI, Z., & ZIYANG, L. (2017). Estrutura geral do aterro sanitário., 1-10. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811867-2.00001-7>.

MEEGODA, J., HETTIARACHCHI, H., & HETTIARATCHI, P. (2016). *Landfill Design and Operation.*, 577-604. <https://doi.org/10.1061/9780784414101.CH18>.

SCANDELA, A. P. J.; MARTINS, D. C. C.; DE SYLLOS, R. S.; TAVARES, C. R. G. *Ozonation as a landfill leachate treatment: a review. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 3404–3417, 2021. DOI: 10.34188/bjaerv4n3-048. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/33493>. Acesso em: 27 jun. 2025.

KAWAHIGASHI, Flávia et al. Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário com carvão ativado. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 19, n. 3, p. 235-244, 2014.

BARBOSA, N. M.; ROCHA, E. N. da. Efeito do chorume originário mediante o processo de compostagem na cultura de *Phaseolus vulgaris*. **Brazilian Journal of Science**, v. 2, n. 11, p. 51-59, 2023.

NATH, A., AND DEBNATH, A. (2022). *A short review on landfill leachate treatment technologies. Mater. Today Proc.* 67, 1290–1297. doi:10.1016/j.matpr.2022.09.109.

ABDELFAHATTAH, I., AND EL-SHAMY, A. M. (2024). *Review on the escalating imperative of zero liquid discharge (ZLD) technology for sustainable water management and environmental resilience. J. Environ. Manag.* 351, 119614. doi:10.1016/j.jenvman.2023.119614.

TRIPATHI, S., E HUSSAIN, T. (2022). “Capítulo 7 - tratamento de água e águas residuais por meio de tecnologias baseadas em ozônio”, em *Desenvolvimento em pesquisa e processos de tratamento de águas residuais*. Editores M. Shah, S. Rodriguez-Couto e J. Biswas. **Elsevier**, 139–172.

YANG, C., FU, T., WANG, H., CHEN, R., WANG, B., HE, T., ET AL. (2021). Remoção de poluentes orgânicos por sistema de pântanos construídos de recirculação de efluentes tratando chorume de aterro. **Environ. Technol. and Innovation** 24, 101843. doi:10.1016/j.eti.2021.101843

WANG, J., E CHEN, H. (2020). Ozonização catalítica para tratamento de água e esgoto: avanços recentes e perspectivas. **Sci. Total Environ.** 704, 135249. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135249.

MENDES, P. M. et al. *Phytotoxicity as an indicator of stability of broiler production residues. Journal of Environmental Management*, v. 167, p. 156-159, 2016.

KOPLIKU, D. (2015). Potencial atividade mutagênica do chorume de um aterro de resíduos sólidos municipais em duas plantas superiores.

CAMPOS, Victor Hugo Patrocinio. Uso da ozonização para tratamento de chorume e avaliação da ecotoxicidade. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.