

EFICIÊNCIA DA NANOFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERRO SANITÁRIO: UM ESTUDO NA UVS MINAS DO LEÃO

JÚLIA AMARAL GUIDO¹; MAICON OLIVEIRA LUIZ²; THAÍS MILENA FREITAS DE ALMEIDA³; ÉRICO KUNDE CORRÊA⁴; FERNANDO MACHADO MACHADO⁵; RUBIA FLORES ROMANI⁶

¹*Universidade Federal de Pelotas – juliaguidodesign@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – maicon.oliveiraaluiz@gmail.com*

³*Companhia Rio Grandense de valorização de resíduos – talmeida@crvr.com.br*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – fernando.machado@ufpel.edu.br*

⁵*Universidade Federal de Pelotas – fernando.machado@ufpel.edu.br*

⁶*Universidade Federal de Pelotas – fgrubia@yahoo.com.br*

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o aumento na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) são um dos maiores desafios socioambientais atuais (LEBRON, 2021). Segundo o Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, em 2023, o país produziu cerca de 81 milhões de toneladas de RSU, sendo só metade destinada a aterros sanitários (ABREMA, 2023). Embora os aterros sejam uma técnica normatizada pela NBR 8419/1996 (ABNT, 1996), que busca reduzir riscos à saúde e impactos ambientais, a disposição de resíduos desencadeia processos bioquímicos que geram biogás e, sobretudo, lixiviado (BRASIL, 2018). Este líquido, proveniente da decomposição da matéria orgânica e da infiltração de águas pluviais, tem elevada carga poluidora e representa risco significativo ao solo e aos recursos hídricos (ARAÚJO, 2020).

O lixiviado possui composição complexa e variável, contendo matéria orgânica dissolvida, sólidos suspensos, macrocomponentes inorgânicos, metais pesados e compostos orgânicos recalcitrantes, como substâncias húmicas (TURAN, 2023). Essa variabilidade depende de fatores como idade do aterro, tipo de resíduos, clima e métodos de manejo, como recirculação e compactação. Devido a essas características, o tratamento do lixiviado é um desafio técnico e econômico, pois métodos convencionais têm eficiência limitada, não atendendo à legislação ambiental, que inclui a NBR 13896/1997 e CONAMA nº 430/2011 (ALMEIDA, 2020). Nesse contexto, tecnologias avançadas de tratamento por membranas, como a nanofiltração (NF), surgem como alternativas promissoras com alta rejeição de matéria orgânica. Poros de 0,5 a 1,5 nm, têm bom desempenho, mas enfrentam problemas de incrustação, vida útil limitada e geração de concentrado poluente. Esses fatores, dentre outros, comprometem a viabilidade operacional e econômica (CHEN, 2020). Por isso, é essencial avaliar o desempenho dessa tecnologia em escala real. A Unidade de Valorização Sustentável (UVS) de Minas do Leão, operada pela Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos (CRVR), é um caso de referência. Sua Estação de Tratamento de Lixiviados (ETL) composta por 9 etapas trata cerca de 1080 m³/dia. Assim, este trabalho analisa a etapa de NF no tratamento de lixiviados da UVS de Minas do Leão. Para isso, aplicaram-se técnicas de estatística descritiva a resultados de rotinas de monitoramento, realizados pela unidade. O estudo busca compreender o desempenho do processo em termos de eficiência,

contribuindo com evidências para o monitoramento, gestão e o melhoramento operacional da UVS.

2. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido a partir de análise de dados secundários, utilizando registros operacionais da UVS de Minas do Leão. A metodologia foi estruturada em sistematização de parâmetros monitorados durante a operação do aterro e análise estatística descritiva para avaliar a eficiência do processo de NF. O parâmetro selecionado neste estudo foi a Demanda Química de Oxigênio (DQO). Os resultados fornecidos, no período de 2021 a 2024, passaram por pré-tratamento estatístico, incluindo verificação de consistência, remoção de *outliers* e cálculo de estatísticas descritivas (média, desvio padrão, valores mínimos e máximos). A eficiência de remoção foi determinada pela relação entre concentrações antes e depois da nanofiltração (equação 1). Paralelamente, dados de precipitação e vazão de lixiviado (disponibilizados pela empresa) foram correlacionados à eficiência do processo, visando identificar possíveis variações sazonais decorrentes de períodos de maior aporte hídrico.

$$\square = \frac{(\square\square\square - \square\square\square)}{\square\square\square} * 100 \quad \text{Equação 1}$$

Sendo: EAN - antes da nanofiltração; EDN - depois da nanofiltração; e - % de remoção de DQO.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico (imagem 1) exibe a análise descritiva do parâmetro de DQO mensal do período analisado. A linha superior representa os valores medidos antes do tratamento, enquanto a inferior, após o tratamento. Para cada mês, os valores são representados em: preto para o desvio padrão; azul mínimo; cinza a média e em vermelho o valor máximo. Uma linha vertical verde marca o limite de 260 mg/L, estabelecido pela Resolução CONSEMA nº 355/2017, que estabelece a concentração máxima permitida de determinados parâmetros para lançamento de efluentes em corpos hídricos, conforme faixa de vazão de lançamento da licença ambiental da empresa. Importante destacar que a UVS de Minas do Leão não descarta o efluente, após tratamento por nanofiltração, no corpo receptor.

Observa-se (Imagem 1) tendência de que a estação de tratamento de lixiviado foi melhor performada no decorrer dos anos, com as concentrações de entrada de DQO diminuindo. Os resultados mostram elevada eficiência da NF para o parâmetro avaliado, com todos os valores (mínimo, média, desvio padrão e máximo) do último semestre enquadrados no preconizado legalmente (CONSEMA 355/2017). Se observarmos as médias (cor cinza), os segundos semestres de 2023 e 2024 estão dentro do preconizado, indicando uma tendência. Por isso, foram avaliadas outras duas variáveis, volume de lixiviado gerado e pluviometria (Imagem 2).

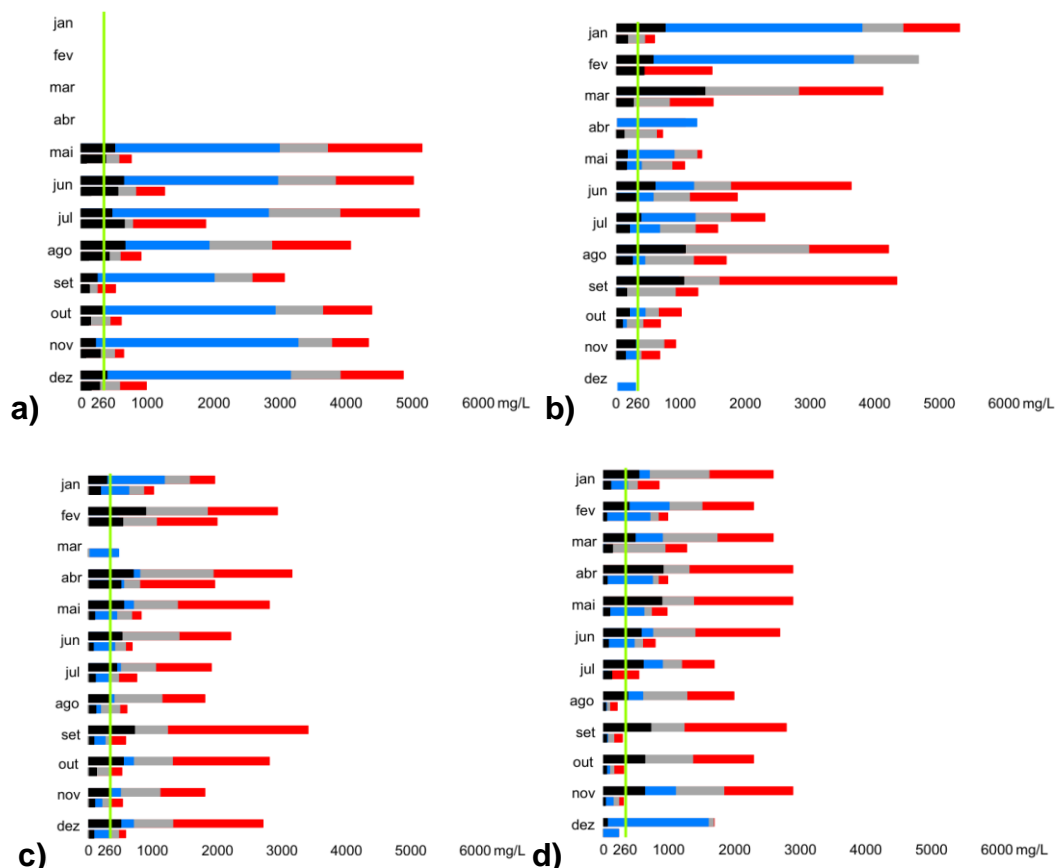


Imagem 1: Gráfico da análise descritiva: preto o desvio padrão; azul o mínimo; cinza a média e em vermelho o valor máximo. a)2021; b)2022; c)2023; d) 2024.

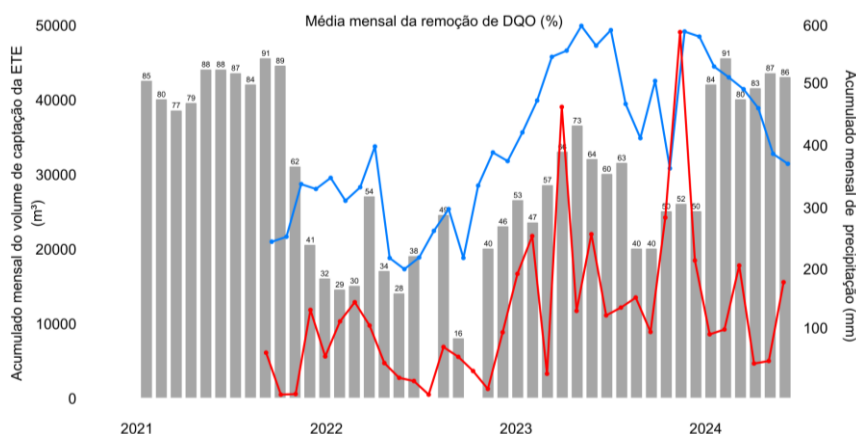


Imagem 2: Gráfico do percentual de remoção de DQO, volume de lixiviado e precipitação. Azul volume acumulado de lixiviado, vermelho precipitação acumulada, colunas porcentagem de remoção de DQO.

Observa-se (Imagem 2) que o desempenho da nanofiltração tem dois picos que indicam maior remoção de DQO. Na primeira com uma lacuna de dados de precipitação e volume de lixiviado, não podendo ser avaliada. O segundo, no segundo semestre de 2024, com resultados superiores a 80%. Observa-se que neste período a precipitação diminuiu, mas o volume de lixiviado foi elevado. Por outro lado, aos dois picos de precipitação, respectivamente em setembro de 2023 e maio de 2024, os volumes de lixiviado foram elevados, mas a porcentagem de remoção não apresentou tendência de queda. Ressalta-se que ainda que a

empresa empregue nanofiltração, — um processo de tratamento avançado, caracterizado por sua robustez, elevada eficiência e custo —, esta não constitui a etapa final para descarte.

4. CONCLUSÕES

A análise operacional da UVS Minas do Leão demonstrou que a nanofiltração (NF) é eficaz na remoção de DQO de lixiviados, no entanto as variáveis analisadas não foram suficientes para explicarem as tendências variações do processo. Conclui-se que a NF possui alto potencial, mas exige uma investigação mais aprofundada de sua eficiência. A correlação entre esses parâmetros e outras variáveis monitoradas configura-se como um dos principais objetivos para estudos futuros.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREMA. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil em 2023. 2023. Acessado em 25 ago 2025. Online. Disponível em: https://www.abrema.org.br/wp-content/uploads/dlm_uploads/2024/03/Panorama_2023_P1.pdf

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1996.

ALMEIDA, R.; MORAES COSTA, A.; DE ALMEIDA OROSKI, F.; CAMPOS, J. C. Nanofiltration applied to the landfill leachate treatment and preliminary cost estimation. *Journal of Hazardous Materials*. 2020.

ARAÚJO, L. G. S. de; NORBERTO, A. de S.; FERREIRA, R. P. de S.; MARIANO, M. O. H.; CALLADO, N. H. Evaluation of the efficiency of leachate treatment in a landfill. *Research, Society and Development*, [S.l.], v. 9, n. 7, p. e564974466, 2020.

BRASIL, Y.L. *Análise multiobjetivo aplicada ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado.* 2018. Monografia - Graduação em engenharia ambiental e sanitária, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

CHEN, W.; GU, Z.; RAN, G.; LI, Q. Application of membrane separation technology in the treatment of landfill leachate in China: A review. *Waste Management*, v. 121, p. 127-140, 2021.

LEBRON, Y. A. R.; MOREIRA, V. R.; BRASIL, Y. L.; SILVA, A. F. R.; SANTOS, L. V. S.; LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S. A survey on experiences in leachate treatment: Common practices, differences worldwide and future perspectives. *Journal of Environmental Management*, v. 288, p. 112475, 2021.

TURAN, A.; KOBAYASHI, M.; İSKURT, C.; KHATAEE, A. A techno-economical assessment of treatment by coagulation-flocculation with aluminum and iron-based coagulants of landfill leachate membrane concentrates. *Chemosphere*, v. 314, p. 137750, 2023.