

761 - AVALIAÇÃO DE UM CONCENTRADO DE OSMOSE INVERSA PARA TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Waldyr Ramos Junior ⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental (UFF) e mestre em Engenharia Ambiental (UFRJ). Supervisor de Engenharia da AST Ambiente.

Carlos Eduardo Alves da Silva ⁽²⁾

Graduando em Engenheira Química (UFRJ).

Juacyara Carbonelli Campos ⁽³⁾

Doutora em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Professora Titular do Departamento de Processos Inorgânicos da Universidade Federal do Rio de Janeiro (DPI/EQ/UFRJ).

Endereço⁽¹⁾: Av. Athos da Silveira Ramos, 149 CT, Bloco D, 2º andar, Sala D 205 - Cidade Universitária Rio de Janeiro/RJ – CEP 21941-909 e-mail: waldyr.pea2022@poli.ufrj.br

RESUMO

Sistemas de separação por membranas como a osmose inversa (OI) têm a sua implementação destacada como uma das rotas tecnológicas mais eficientes para o tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Em contrapartida, a geração de um subproduto deste processo, o concentrado de osmose inversa (COI), caracteriza-se pelo surgimento de um novo desafio para os operadores de aterro sanitário. Uma vez que, este efluente líquido necessita de manejo correto, tratamento e disposição final. Diante disso, determinar a caracterização físico-química do COI é premente. Entretanto, ainda é escassa e incipiente informações na literatura sobre a determinação e caracterização da composição do COI. Dessa forma, realizou-se a caracterização do COI de um aterro sanitário de grande porte localizado no nordeste, em operação há mais de 4 anos. Foram realizadas 6 campanhas de coleta do concentrado produzido e analisados os seguintes parâmetros: cloreto, condutividade, COD, DQO, NAT e turbidez. Dentre os resultados encontrados destaca-se para as médias de condutividade (51,98 mS/cm), cloreto (11.939 mg/L), DQO (11.500 mg/L) e NAT (1.535 mg/L). A partir dos resultados, foi possível comparar e corroborar com os poucos dados disponíveis na literatura. Assim sendo, o presente estudo foi capaz de contribuir para formação de conteúdo sobre a caracterização do COI, efluente este ainda pouco estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário, lixiviado, osmose inversa, concentrado de osmose inversa.

INTRODUÇÃO

O lixiviado de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (RSU) é um efluente resultante da digestão anaeróbia da matéria orgânica dos RSUs aterrados promovida pelos microrganismos presentes no aterro somado ao volume infiltrado de precipitação. Assim este é um efluente complexo com grande variabilidade da sua composição, que sofre influência de diversos fatores como clima, tipo de resíduos aterrados e outros. Além disso, o lixiviado é caracterizado por ser um efluente com elevada carga orgânica e nitrogenada com a presença de metais pesados e poluentes emergentes.

A tratabilidade do lixiviado representa um importante desafio para os aterros sanitários devido à sua complexidade inerente (Toha; Sikder; Rahman, 2024). Entretanto, vale ressaltar que, o processo de osmose inversa (OI) aponta-se como um sistema promissor e mais eficaz para o tratamento do lixiviado (Renou et al., 2008). Estudos comprovaram a eficácia dos sistemas de OI, demonstrando que eles são capazes de atingir taxas de remoção superiores a 99% para a demanda química de oxigênio (DQO) e mais de 90% para vários metais pesados presentes no lixiviado (Soares et al., 2022; Oliveira, 2022; Silva, 2023).

A aplicação de sistemas de OI para tratamento de lixiviados gera duas correntes líquidas distintas, denominadas como lixiviado tratado ou permeado, e o rejeito conhecido como concentrado. Embora o permeado produzido possa ser lançado com segurança nos corpos hídricos, devido à sua conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental brasileira (Resolução CONAMA nº 430/2011), o concentrado, por outro lado, representa um risco ambiental significativo que requer tratamento e destinação final. Consequentemente, o gerenciamento eficaz do Concentrado de Osmose Inversa (COI) surge como um dos principais desafios enfrentados pelos aterros que incorporam esse tipo específico de sistema de tratamento (de Almeida; Campos, 2024). A abordagem majoritariamente adotada no manejo do COI envolve a infiltração estratégica dessa massa líquida nas células do aterro (Campos et al., 2021). No entanto, existem tecnologias alternativas e sistemas integrados para o tratamento do COI (Alves; de Almeida; Campos, 2024).

À luz da questão premente relacionada ao gerenciamento do COI em aterros sanitários, é de significativa importância o conhecimento da caracterização físico-química do COI para uma melhor e mais segura gestão. E determinação qual rota tecnológica ou destinação será aplicada a este efluente de características singulares.

OBJETIVOS

Considerando a escassez de pesquisas acadêmicas sobre o concentrado de osmose inversa o presente trabalho teve como objetivo avaliar as características físico-químicas do concentrado gerado como subproduto da operação de um sistema de tratamento de lixiviado de OI. Estes sistemas de tratamento de OI estão situados em um aterro sanitário de grande porte localizado na região nordeste do Brasil.

METODOLOGIA UTILIZADA

O aterro sanitário em estudo é de grande porte, instalado na região nordeste, em operação há mais de 4 anos e com sistema de osmose inversa projetados pela AST Ambiente.

Foram realizadas 6 coletas do concentrado, estas coletas ocorreram ao longo de um ano e analisado conforme os métodos descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Métodos analíticos.

Parâmetros	Métodos
Cloreto (mg/L)	4500-Cl B Argentometric Method. <i>Standard Methods for Examination of Water and Wastewater</i> , 2017, 23 ed
Condutividade Elétrica (mS/cm)	Method 2510 C. <i>Standard Methods for Examination of Water and Wastewater</i> , 2017, 23 ed.
COD* (mg/L)	Method 5310 B. <i>Standard Methods for Examination of Water and Wastewater</i> , 2017, 23 ed
DQO (mg/L)	5220 D Closed Reflux, Colorimetric Method. <i>Standard Methods for Examination of Water and Wastewater</i> , 2017, 23 ed
NAT (mg/L)	method 4500-NH3 D Ammonia- Selective Electrode Method. <i>Standard Methods for Examination of Water and Wastewater</i> , 2017, 23 ed.
pH	Method 2310 B. <i>Standard Methods for Examination of Water and Wastewater</i> , 2017, 23 ed.
Turbidez (NTU)	Method 2130 C. <i>Standard Methods for Examination of Water and Wastewater</i> , 2017, 23 ed.

COD: Carbono Orgânico Dissolvido

DQO: Demanda Química Orgânica

NAT: Nitrogênio Amoniacal Total

*As amostras foram filtradas com uma membrana de 0,7 µm de fibra de vidro para eliminação dos sólidos suspensos, devido às características da amostra de COI e as limitações do equipamento de análise de COT, sendo assim os resultados foram expressos em COD.

Os resultados foram organizados e analisados utilizando o software Microsoft Excel para fornecimento do mínimo, máximo, média aritmética e desvio padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados parciais das análises laboratoriais das coletas realizadas estão compilados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados das análises laboratoriais – n=6

Parâmetros	Unid.	Média	Mínimo	Máximo	DP
Cloreto	mg/L	11.939	5.257	20.072	5.930
Condutividade	mS/cm	51,98	41	63	8
COD	mg/L	2.835	1.065	3.952	1.104
DQO	mg/L	11.500	4.844	19.687	5.145
NAT	mg/L	1.535,33	599	4.687	1.565
Turbidez	NTU	162	86	244	54

Comparando os valores encontrados na Tabela 2 com as faixas indicadas por Alves, de Almeida e Campos (2024), que apresenta um compilado de cinco pesquisas de concentrado de nanofiltração e osmose inversa de diversos aterros (Tabela 3), temos que os valores de cloreto, condutividade, DQO e NAT estão dentro da faixa encontrada.

Tabela 3 – Características físico-químicas gerais de um COI

Parâmetro	Unid.	Faixa
Condutividade Elétrica	mS/cm	10,5–98,0
Chumbo	mg/L	0,05-0,54
Cloreto	mg/L	1.823–30.77
Cobre	mg/L	0,022-1,49
DBO ₅	mg/L	28,5-4.800
DBO ₅ /DQO	mg/L	0,01-0,55
DQO	mg/L	1.646-49.521
COT	mg/L	818–3.600
Níquel	mg/L	0,20–1,59
N-NH ₃	mg/L	62,9-8.300
Nitrogênio Total	mg/L	244,5-4.575
pH	mg/L	6,2-8,3
Potássio	mg/L	9.600
Sódio	mg/L	15.400
Sulfato	mg/L	20-4.030
Ácidos Fúlvicos	mg/L	441,7
Ácidos Húmicos	mg/L	94,9
Substâncias Húmicas	mg/L	1.838

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxigênio dia 5; DQO: Demanda Química de Oxigênio; N-NH₃: Nitrogênio amoniacal; COT: Carbono Orgânico Total;

Fonte: Alves; de Almeida; Campos (2024)

De acordo com os resultados encontrados por Porto et al. (2021), que também analisou um concentrado de um aterro sanitário brasileiro de porte e idade similar ao objeto deste estudo, o COI analisado teve um valor de condutividade médio próximo do encontrado próximo ao observado na Tabela 2.

O valor máximo da DQO encontrado no monitoramento realizado ficou acima da observado por Chen et al. (2020), de mesma maneira o valor médio de condutividade esteve acima do observado por Hendrych et al. (2019), ambos estudos que avaliaram características de concentrados de osmose inversa em aterros sanitários. Por outro lado, os valores médios de cloreto e nitrogênio amoniacal total ficaram próximos dos valores registrados por Hunce et al. (2012), apesar de DQO e condutividade terem ficado acima. Hunce et al. (2012) estudou o concentrado de um aterro na Turquia em operação há 4 anos de operação, o que pode justificar as similaridades com o aterro objeto desse estudo.

As diferença e similaridades supracitadas demonstram como a caracterização do COI ainda é um desafio tão grande como a caracterização e correlação das características de lixiviados em diferentes aterros.

As concentrações dos parâmetros analisados exemplificam o quanto complexo é esse efluente de elevada concentração orgânica e nitrogenada. O que dificulta a escolha de um tratamento biológico com rota tecnológica, assim sendo, restam outros tratamentos como incineração, solidificação, processos oxidativos avançados e a infiltração no maciço do aterro, o que é mais aplicado no Brasil e no mundo (de Almeida, 2022).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O Concentrado de Osmose Inversa é um subproduto do tratamento de lixiviado de sistemas de osmose inversa cuja informações ainda são escassas na literatura. Em contrates com o lixiviado que possui muitas informações e diversos estudos publicados. E mesmo a osmose inversa sendo uma rota tecnológica de uso cada vez mais crescente no Brasil e no mundo, ainda não há uma definição clara do tratamento mais adequado para o COI.

O presente estudo evidenciou a complexidade do COI com um efluente de elevada concentração orgânica e nitrogenada e que comparando com os poucos resultados na literatura atual, está dentro da média. Sendo assim, o COI do aterro brasileiro estudado possui características dentro da média dos resultados gerais disponíveis, apresentando poucas variações.

Mais estudos ainda precisam ser desenvolvidos para melhor compreender qual deve ser a rota tecnológica mais adequada para esse efluente, em especial, considerando a sustentabilidade do processo na vida dos aterros sanitários que possuem sistemas de OI.

A partir dos resultados encontrados, sugere-se como continuação desta pesquisa a comparação com COI de outros aterros brasileiros e avaliação da relação e influencia do COI na composição do lixiviado em aterros que praticam a infiltração como método de destinação do COI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, L. B.; DE ALMEIDA, R.; CAMPOS, J. C., A Review of Strategies for Managing Membrane Concentrate from Landfill Leachate Treatment Facilities. In: *Landfill Leachate Treatment Techniques*. Suiça: Editora Springer, 2024. p. 159175. DOI: 10.1007/978-3-031-63157-3_9.
- CAMPOS, J. C., DE ALMEIDA, R. D.; ANDRÉ, M.; HINOJOSA, G.; PORTO, R. F. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos e microbiológico dos lixiviados de células experimentais de resíduos domiciliares com infiltração do concentrado de osmose inversa. In: *Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 31., 2021, Curitiba. Anais [...] Rio de Janeiro: ABES, 2021. Trabalho III-765.
- CHEN, W.; GU, Z.; RAN, G.; LI, Q. Application of membrane separation technology in the treatment of leachate in China: A review, *Waste Management*, v. 121, p. 127–140, 24 dez. 2020. DOI: 10.1016/j.wasman.2020.12.002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.002>.
- COSTA, A. M.; DE SOUZA MAROTTA ALFAIA, R. G.; CAMPOS, J. C. Landfill leachate treatment in Brazil – An overview. *Journal of Environmental Management*, v. 232, p. 110–116, 21 nov. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.006>>.
- DE ALMEIDA, R.; CAMPOS, J. C., Membranes in landfill leachate treatment: evaluation of the generated concentrate. In: *Landfill Leachate Treatment Techniques*. Suiça: Editora Springer, 2024. p. 159–175. DOI: 10.1007/978-3-031-63157-3_8.
- DE ALMEIDA, R.; CAMPOS, J. C., Membranes in landfill leachate treatment: evaluation of the generated concentrate. In: *Landfill Leachate Treatment Techniques*. Suiça: Editora Springer, 2024. p. 159–175. DOI: 10.1007/978-3-031-63157-3_8.
- DE ALMEIDA, Ronei; PORTO, Raphael Ferreira; QUINTAES, Bianca Ramalho; BILA, Daniele Maia; LAVAGNOLO, Maria Cristina; CAMPOS, Juacyara Carbonelli. A review on membrane concentrate management from landfill leachate treatment plants: The relevance of resource recovery to close the leachate treatment loop. *Waste Management & Research the Journal for a Sustainable Circular Economy*, v. 41, n. 2, p. 264–284, 2022. DOI: 10.1177/0734242x221116212. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0734242x221116212>.
- HENDRYCH, Jiří; HEJRALOVÁ, Radka; KROUŽEK, Jiří; ŠPAČEK, Pavel; SOBEK, Jiří. Stabilisation/solidification of landfill leachate concentrate and its residue obtained by partial evaporation. *Waste Management*, v. 95, p. 560–568, 2019. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.06.046. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.046>.
- HUNCE, Selda Yigit; AKGUL, Deniz; DEMIR, Goksel; MERTOGLU, Bulent. Solidification/stabilization of landfill leachate concentrate using different aggregate materials. *Waste Management*, v. 32, n. 7, p. 1394–1400, 2012. DOI: 10.1016/j.wasman.2012.03.010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.010>.
- OLIVEIRA, J. L. S. *Avaliação de membranas de osmose inversa no tratamento de chorume do Centro*



de Tratamento de Resíduos Sólidos do município de Campos dos Goytacazes-RJ. 2022. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano. Rio Verde.

PORTO, Raphael Ferreira; ALMEIDA, Ronei de; CAMPOS, Juacyara Carbonelli. Caracterização Físico-Química do Concentrado Proveniente de Tratamento por Osmose Inversa de Lixiviado de Aterro Sanitário. In: *Anais da Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica, Tecnológica, Artística e Cultural*. 42. Anais [...] Rio de Janeiro (RJ) UFRJ, 2021. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/jgmictac/318706-CARACTERIZACAO-FISICO-QUIMICA-DO-CONCENTRADO-PROVENIENTE-DE-TRATAMENTO-POR-OSMOSE-INVERSA-DE-LIXIVIADO-DE-ATERRO->.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J. G.; POULAIN, S.; DIRASSOUIYAN, F.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, v. 150, n. 3, p. 468–493, 2008. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.077.

SILVA, F. G. L. *Situação atual do Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários do Estado do Rio de Janeiro com ênfase nos Aterros de Seropédica e Sapucaia*. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

SOARES, Ricardo; MAESTÁ, Beatriz César; DA MOTTA, Felipe Debize; NAEGELE, Rafaela; DA CUNHA, Carlos Eduardo Soares Canejo Pinheiro. Impact Assessment of 2020 COVID-19 Lockdown on Landfill Leachate Treatment in Rio de Janeiro. *Revista Virtual de Química*, v. 15, n. 1, p. 131–143, 2022. DOI: 10.21577/1984-6835.20220066.

SOARES, Ricardo; SOARES, Agatha Cristinne Prudêncio; MAESTÁ, Beatriz César; LIPPI, Marcelo; DA CUNHA, Carlos Eduardo Soares Canejo Pinheiro. Evaluation of the Efficiency of Reverse Osmosis in the Treatment of Sanitary Landfill Leachate in the Metropolitan Region of the Rio de Janeiro. *Revista Virtual de Química*, v. 14, n. 6, p. 1047–1057, 2022. b. DOI: 10.21577/1984-6835.20220059.

TOHA, M.; SIKDER, S.; RAHMAN, M. M., An overview of existing municipal landfill leachate Treatment techniques: opportunities and challenges. In: *Landfill Leachate Treatment Techniques*. Suiça: Editora Springer, 2024. p. 21–48. DOI: 10.1007/978-3-031-63157-3_2.