



III-881 - ESTUDO DE VIABILIDADE DA INCORPORAÇÃO DO CHORUME A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO UTILIZANDO PRÉ-TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO E BIOLÓGICO

Jessica Rodrigues Pires da Silva⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Mestre em Tecnologias Ambientais e Sustentabilidade pela New York Institute of Technology. Doutora em Engenharia Química pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE/UFRJ). Especialista de Processos de Tratamento da Rio+Saneamento.

Isabela Schneider Bezerra de Menezes⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Estagiária de Processos de Tratamento da Rio+Saneamento.

Larissa Loureiro Salgueiro Silva⁽¹⁾

Química Industrial pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela UFRJ. Doutora em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela UFRJ. Coordenadora de Qualidade da Rio+Saneamento.

Felipe Siqueira Baida⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Especialista em Engenharia Ambiental pela UNICAMP. Gerente de QSMA da Rio+ Saneamento.

Nelson Ricardo da Silva Carvalho⁽¹⁾

Engenheiro de produção e Administrador de Empresas pela Universidade Estácio de Sá (UNESA), Engenheiro de segurança do trabalho pela Universidade Católica de Petrópolis (UCP), com MBA - Qualidade, Segurança, Saúde, Meio Ambiente e Responsabilidade Social pela FUNCEFET, MBA - Desenvolvimento Sustentável e Economia Circular pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC – RS). Superintendente de Sustentabilidade na Rio+Saneamento.

Endereço⁽¹⁾: Rua Victor Civita, 66 - Jacarepaguá – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22775-044 - Brasil - Tel: (21) 997285-8242 - e-mail: jessica.psilva@riomaisaneamento.com.br

RESUMO

O estudo abordou a problemática do tratamento de chorume de aterros sanitários, devido às altas concentrações de DBO₅, DQO e nitrogênio amoniacal. O tratamento mais comum de chorume no Brasil é a osmose reversa, que gera um concentrado com alta carga contaminante. Como alternativa, foram investigados tratamentos biológicos, visando integrar chorume em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) sem prejudicar seu desempenho.

A pesquisa, realizada em laboratório, avaliou uma rota de pré-tratamento do chorume com stripping de amônia, o qual reduziu significativamente o nitrogênio amoniacal. Em seguida, o chorume tratado foi misturado a esgoto doméstico para tratamento por lodos ativados, mas o tratamento biológico não alcançou a eficiência esperada para remoção de DQO, nitrogênio amoniacal e fósforo.

Os resultados mostraram que o stripping, apesar de eficaz para remoção de nitrogênio amoniacal, é economicamente inviável devido ao alto custo de soda cáustica e energia. Além disso, o tratamento biológico aplicado à mistura de chorume pós-stripping com esgoto apresentou remoções insatisfatórias de contaminantes, mesmo sob condições experimentais favoráveis, indicando que em escala real a eficiência seria ainda menor.

Concluiu-se que os processos estudados não são viáveis economicamente nem eficientes. Recomenda-se explorar alternativas como bioreatores com membrana, capazes de operar com altas concentrações de sólidos, ou processos oxidativos avançados, que, apesar do custo elevado, podem ser mais eficientes. Futuros estudos devem focar na viabilidade econômica e na eficácia de remoção de contaminantes para determinar a melhor abordagem para o pré-tratamento de chorume em ETEs convencionais.

PALAVRAS-CHAVE: Chorume, Tratamento, Stripping, Tratamento Esgoto.



INTRODUÇÃO

O aterro sanitário é um dos mais comuns destinos para o descarte de resíduos sólidos urbanos (Ahmed e Lan, 2012). Dentro desses aterros, os resíduos sólidos experimentam uma série de transformações físico-químicas e biológicas, gerando a formação de um líquido altamente contaminado conhecido como chorume, devido à degradação da fração orgânica combinada com a infiltração da água da chuva no local (Guo *et al.*, 2010).

O chorume apresenta elevadas concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e nitrogênio amoniacal (N-NH₃) (Azzouz *et al.*, 2018). A disposição desse chorume sem tratamento prévio acarreta impactos ambientais negativos severos, devido à toxicidade para a biota terrestre e aquática afetada (Brasil *et al.*, 2021).

Segundo Costa *et al.* (2019), um dos processos de tratamento para chorume mais utilizados no Brasil e no mundo é a osmose reversa, que utiliza membranas. O principal problema relacionado a esse tipo de tratamento é a produção de concentrado ao final do processo, o qual possui praticamente toda a carga de contaminantes presentes no chorume bruto, uma vez que a osmose reversa, como todo processo de separação por membrana, é processo de separação e não de eliminação (como o são, por exemplo, os processos oxidativos). Atualmente, no Brasil, o mais usual é a reinjeção do concentrado da osmose reversa nos aterros.

Como uma alternativa mais sustentável aos tratamentos de osmose reversa, tratamentos biológicos têm sido amplamente estudados para o tratamento de lixiviados. De acordo com Costa *et al.* (2019), o tratamento de chorume combinado com esgoto doméstico é considerado promissor. Contudo, para possibilitar o recebimento do chorume em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) projetadas para receber somente esgoto sanitário doméstico, sem impactar no desempenho da ETE, a literatura de referência recomenda manter o volume tratado de chorume em aproximadamente 1% do volume total afluente à ETE (Metcald e Eddy, 2016).

Este estudo foi desenvolvido a partir de uma demanda de aterro sanitário para tratar seu chorume em uma ETE convencional de tratamento de esgoto doméstico. Considerando-se que o volume de chorume que se deseja tratar na ETE excedia muito esse limite recomendado de 1%, optou-se por investigar alternativas de tratamento de chorume combinando etapas físico-química (stripping de amônia) e biológica para permitir recebimento desse chorume em ETE convencional.

OBJETIVOS

O objetivo do estudo foi investigar experimentalmente, em escala de bancada de laboratório, uma rota de processo para o pré-tratamento de chorume bruto de aterro sanitário. Essa rota de processo deveria ter eficiência na redução de DQO, DBO₅ e nitrogênio amoniacal presentes no chorume, de tal forma que uma ETE projetada para tratamento de esgoto doméstico pudesse receber vazões maiores de chorume pré-tratado do que o preconizado na literatura de referência, e isso sem prejudicar o desempenho da ETE.

Após consultas a especialistas, definiu-se que o melhor processo para iniciar o tratamento seria o stripping de amônia. Esse processo tinha como objetivo reduzir drasticamente a concentração de nitrogênio amoniacal do chorume, cuja concentração estava em níveis tão altos que se tornava tóxica a qualquer tratamento biológico posterior.

O processo subsequente de tratamento foi definido como lodos ativados convencional. Esse processo tinha como objetivo reduzir drasticamente a concentração de matéria orgânica biodegradável no chorume (medida como DBO). Dessa forma, elevadas vazões do chorume após esse pré-tratamento poderiam ser enviadas à ETE sem comprometer seu desempenho, pois o aporte de carga orgânica à ETE seria muito reduzido em relação ao que seria obtido com a adição de chorume bruto.

Considerando os resultados experimentais obtidos na investigação, o processo de stripping de amônia foi mantido, porém adaptou-se a abordagem subsequente. O chorume pós-stripping passou a ser misturado diretamente com esgoto doméstico, na proporção 2% chorume-98% esgoto. Essa mistura foi então encaminhada para o tratamento por lodos ativados convencional. O lodo ativado, portanto, passou a



representar o tratamento principal da ETE, e o efluente (chorume+esgoto) tratado seria lançado em corpo hídrico receptor.

METODOLOGIA UTILIZADA

Em julho de 2023 foi realizada a coleta de chorume bruto do aterro sanitário interessado em tratar seu chorume em uma ETE. Amostras de lodo e esgoto bruto foram coletadas em uma ETE já existente, que operava com tecnologia de lodos ativados. Foram feitas análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total, pH e teor de sólidos suspensos totais, sempre seguindo os métodos de referência (APHA, 1998)

Concepção do estudo

Etapa 1: execução do estudo experimental do stripping de amônia para tratar chorume bruto.

2500 mL de chorume bruto foram misturados com $60,0 \pm 5,0$ mL de soda cáustica comercial a 50% para elevar o pH até 10,5. Essa mistura foi homogeneizada e aquecida a aproximadamente 50°C. Uma torre de stripping foi então inserida no béquer, conectada a uma bomba de recirculação e um soprador de ar. O processo de stripping teve duração de 2h30min. Foram feitas análises Nitrogênio Amoniacal e pH nas amostras no início e fim do experimento.

Etapa 2: execução do estudo experimental de lodos ativados para tratar chorume após o stripping.

Para essa etapa, inicialmente, realizou-se uma aclimação, ao longo de 7 dias, do chorume pós-stripping ao lodo previamente coletado na ETE. No dia 1, uma mistura contendo 400 mL de lodo, 500 mL de água destilada e 100 mL de chorume foi submetida à aeração e agitação por 24 horas. Diariamente, a mistura foi deixada em repouso para permitir a sedimentação do lodo, seguida pela remoção do sobrenadante e adição de água destilada e chorume. Progressivamente aumentou-se o volume de chorume, até que no dia 7 havia 600mL de chorume, 400mL de lodo e nada de água. Esse licor misto foi então acompanhado por 5 dias com análises diárias de DQO, nitrogênio amoniacal e fósforo total, sem adição de novo chorume nesse período nem nenhuma remoção de lodo.

Etapa 3: execução do estudo experimental de lodos ativados para tratar chorume pós-stripping+esgoto doméstico.

Foi feita uma mistura de 2% de chorume pós-stripping e 98% de esgoto bruto, totalizando um volume de 1430 mL. A esse volume adicionou-se 270 mL de lodo, mantidos sob aeração por 24 horas, sem aclimação prévia. Após a sedimentação, o sobrenadante foi removido e substituído pela mistura na mesma proporção. Esse processo foi repetido ao longo de 15 dias, monitorando-se diariamente a DQO e em alguns dias o nitrogênio amoniacal e fósforo total, sem remoção de lodo em todo o período.

RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

O processo de stripping de amônia (etapa 1) foi muito efetivo para redução do nitrogênio amoniacal do esgoto bruto (Figura 1).

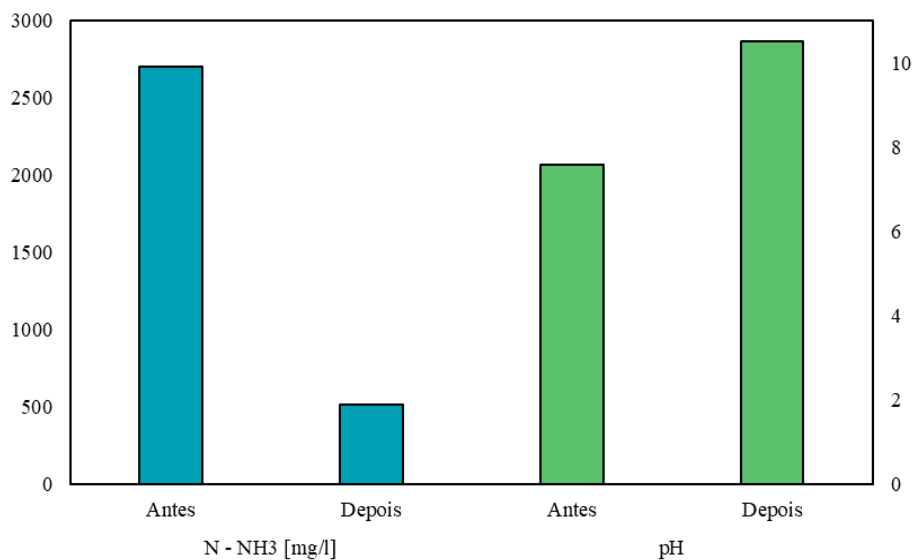


Figura 1: Parâmetros antes e depois do processo de stripping de amônia.

Já o processo de lodos ativados para o tratamento de chorume após o stripping (etapa 2) não foi eficiente (Figuras 2 e 3).

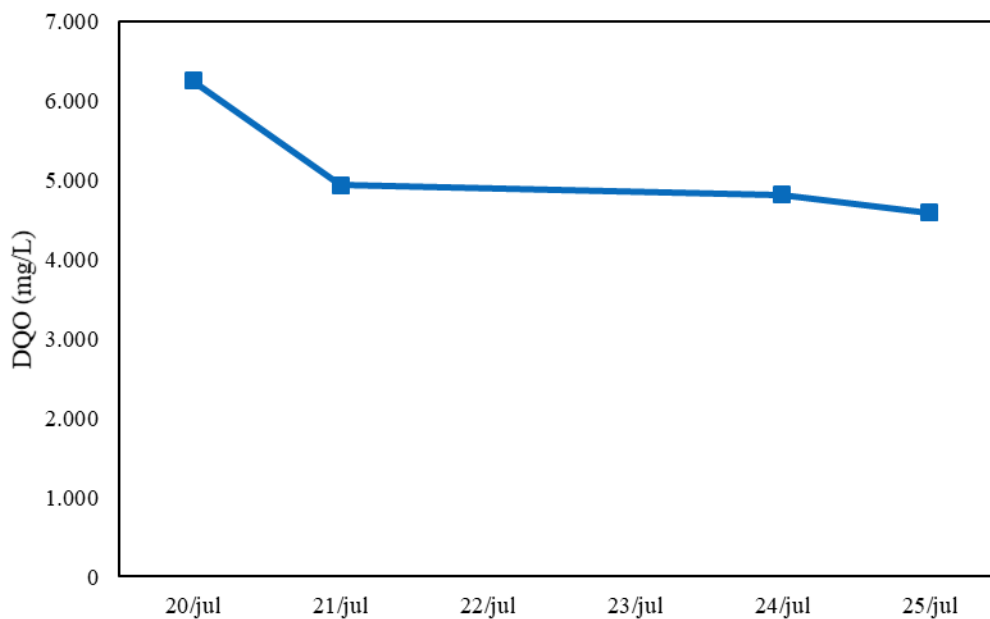


Figura 2: Decaimento da DQO durante o acompanhamento analítico da Etapa 2.

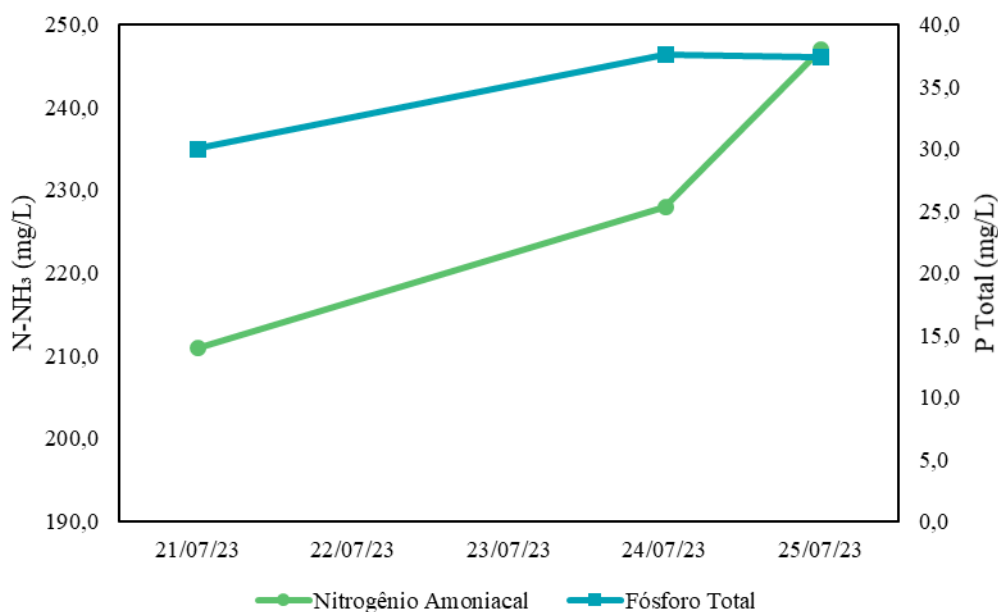


Figura 3: Comportamento dos parâmetros Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total durante o acompanhamento analítico da Etapa 2.

Observou-se uma leve redução nos valores de DQO durante o período de acompanhamento, mas o valor mínimo atingido foi 4589,0 mg/L, resultando em uma remoção de somente 26% mesmo após 5 dias de operação. Além disso, não foram registradas reduções significativas nos níveis de Nitrogênio Amoniacal e Fósforo.

O teste com proporção de adição de 2% de chorume pós-stripping e 98% de esgoto doméstico (etapa 3) tampouco apresentou resultados totalmente satisfatórios. Ao longo dos 15 dias de teste, uma média de 63% de remoção de DQO foi observada (Figura 4), o que é abaixo do esperado pela literatura para lodos ativados convencionais, que é de pelo menos 85% (Metcalf e Eddy, 2016). Além disso, como observado na Figura 5, apesar da remoção de Fósforo Total, as concentrações de Nitrogênio Total permaneceram estáveis durante todo o experimento. Uma comparação dos parâmetros analisados no efluente final tratado com os valores máximos permitidos pela legislação de referência do estado onde o estudo foi conduzido mostra que a maioria dos parâmetros estava acima do máximo permitido (Tabela 1).

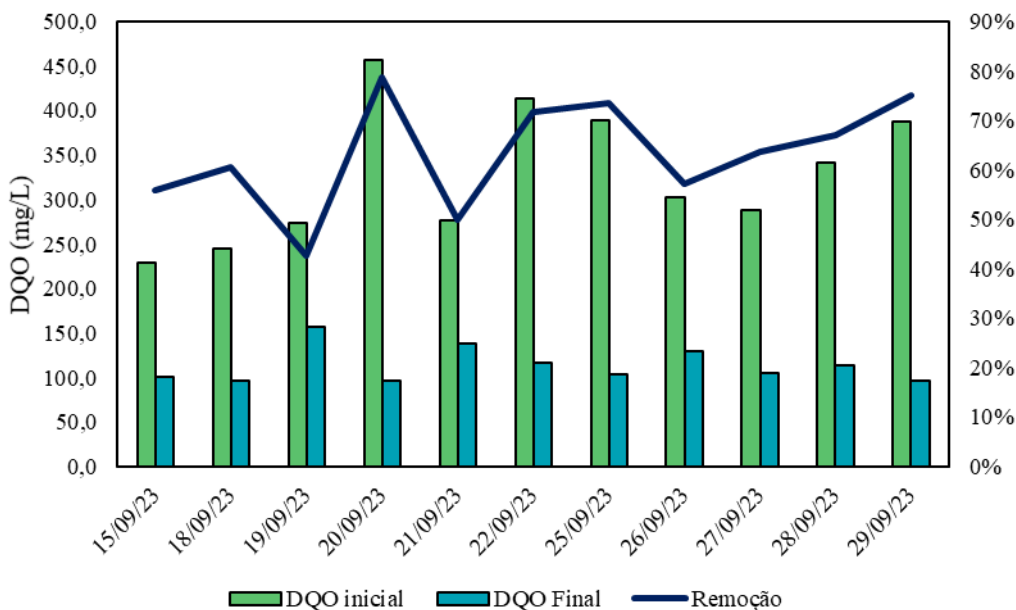


Figura 4: DQO de entrada e saída e eficiência de remoção durante o acompanhamento analítico da Etapa 3.

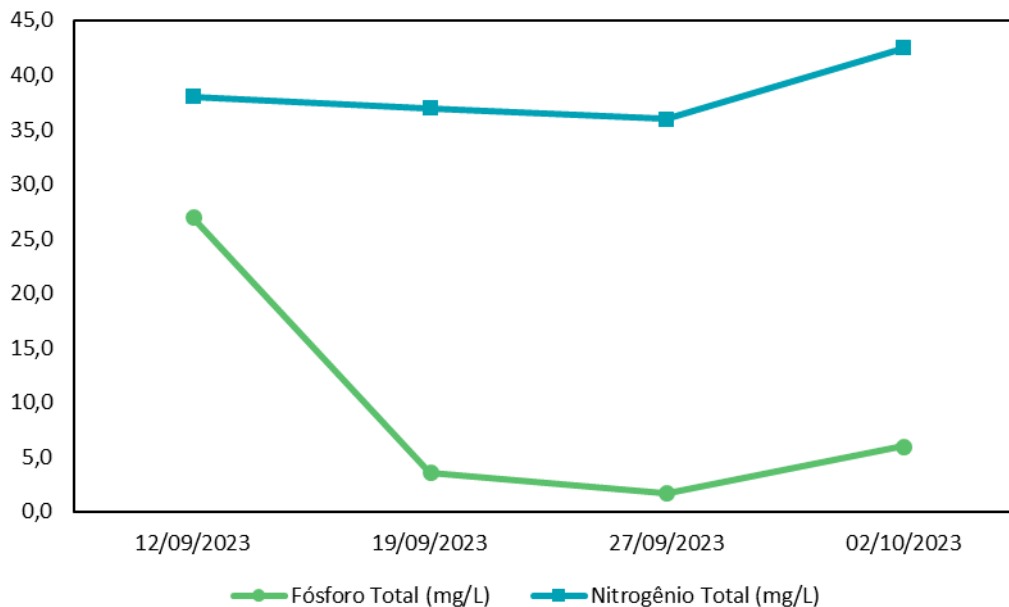


Figura 5: Comportamento dos parâmetros Nitrogênio Total e Fósforo Total durante o acompanhamento analítico da Etapa 3.

Tabela 1: Resultados do chorume+esgoto tratado após Etapa 3..

	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	N Total (mg/L)	P Total (mg/L)	SST (mg/L)
Efluente final tratado	157	46	42,5	6	1400
Valores máximos permitidos na legislação estadual de referência	180	40	20	4	40



ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao término do período de avaliação, constatou-se que as formas de tratamento estudadas não são alternativas viáveis, devido aos elevados custos (no caso do stripping) e à baixa eficiência (no caso do tratamento biológico). Para a realização do stripping de amônia, por exemplo, foi necessário elevar o pH para 10,5 e a temperatura para 50°C com um gasto de 24mL soda/L chorume. Em escala real essa abordagem seria inviável, devido ao gasto significativo com soda cáustica comercial. Considerando um preço de R\$ 2,85/kg soda comercial 50% (baseado em cotação recente com fornecedor), e uma massa específica de soda de 1,5 kg/L, chega-se a um custo de R\$ 102/m³ de chorume tratado só nesta etapa. Há que se considerar, ainda, o elevado consumo de energia elétrica necessário para atingir os 50°C utilizados no stripping.

Nas fases 2 do estudo, por sua vez, a eficiência do tratamento foi avaliada em condição não realista, devido ao emprego de tempo de detenção hidráulica de 120 horas (5 dias sem adição de nova alimentação) e idade de lodo teórica infinita (12 dias, sendo 7 de aclimatação e 5 de acompanhamento, durante as quais não foi feita remoção de lodo). Essas condições são comuns para a operacionalização de experimentos biológicos em escala de bancada e tendem a favorecer o processo de tratamento (Silva et al 2021). Entretanto, mesmo considerando essas condições favoráveis, o tratamento mostrou-se insatisfatório, com baixas taxas de remoção de DQO – 26% e 14%, respectivamente – assim como de Nitrogênio Amoniacal e Fósforo. Em contraste, as ETEs convencionais alcançam remoções de DQO superiores a 90%, e normalmente operam com TDH de 8 a 12 horas e idade de lodo de 8 a 12 dias (Metcalf e Eddy, 2016).

Por fim, na fase 3 também foram empregadas condições não realistas de operação, com tempo de detenção hidráulica de 24h e idade do lodo infinita (15 dias sem remoção de lodo) e mesmo assim a remoção de DQO ficou aquém do esperado em um processo de lodos ativados (média de 63% de remoção). Esses resultados indicam que a presença do chorume, mesmo após uma primeira etapa de tratamento por stripping para redução de nitrogênio amoniacal, comprometeu seriamente o tratamento biológico a ponto de inviabilizá-lo.

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

A investigação realizada para o pré-tratamento do chorume em uma ETE convencional revelou resultados que indicam desafios em termos de viabilidade econômica e eficiência para os processos de tratamento estudados. O processo de stripping de amônia mostrou-se oneroso, sendo necessários elevado consumo de soda cáustica e energia elétrica para obter reduções altas da concentração de nitrogênio amoniacal. Isso limita sua aplicação em escala real. Além disso, as etapas de tratamento biológico não apresentaram resultados satisfatórios, com baixas taxas de remoção de DQO, nitrogênio amoniacal e fósforo.

As condições experimentais empregadas no tratamento biológico, com tempos de detenção hidráulica e idade de lodo muito superiores aos normalmente empregados em ETEs convencionais, tendem a favorecer o tratamento. Mesmo assim, não foram suficientes para que o tratamento tenha sido eficaz neste estudo. Portanto, considerando a adaptação desses parâmetros às condições típicas das ETEs convencionais, é improvável que o processo de lodo ativado estudado atinja níveis aceitáveis de remoção de DBO/DQO.

Diante disso, torna-se evidente a necessidade de explorar outras alternativas para o pré-tratamento do chorume, visando sua possível incorporação a ETEs convencionais em proporções superiores a 1% da vazão de esgoto afluente. Sugestões de futuras investigações incluem bioreatores com membrana, que têm capacidade de operar com altas concentrações de sólidos no reator (acima de 12.000 mg/L), ou abandonar a ideia de tratamento biológico e optar por tratamentos oxidativos químicos. Neste contexto, processos oxidativos avançados possuem um bom potencial, porém, deverão ser estudados desde o início com foco na viabilidade econômica, uma vez que tais processos tendem a ser muito mais onerosos que tratamentos de oxidação por via biológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ahmend, F.N.; Lan, C.Q. Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: A review. *Desalination*. v. 287, p. 41-54, 2012.



2. APHA, Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed. Washington, 1998.
3. Azzouz, L.; Boudjema, N.; Aouichat, Fares; Kherat, M.; Mameri, N. Membrane bioreactor performance in treating Algiers' landfill leachate from using indigenous bacteria and inoculating with activated sludge. *Waste Management*, v. 75, p. 384-390, 2018.
4. Brasil, Y.L.; Silva, A.F.R.; Gomes, R.F.; Amaral, M.C.S. Technical and economic evaluation of the integration of membrane bioreactor and air-stripping/absorption processes in the treatment of landfill leachate. *Waste Management*, v. 134, p. 110-119, 2021.
5. Costa, A.M.C.; Alfaia, R.G.S.M.; Campos, J.C. Landfill leachate treatment in Brazil – An overview. *Journal of Environmental Management*, v. 232, p. 110-116, 2019.
6. Guo, J.S.; Abbas, A.A.; Chen, Y.P.; Liu, Z.P.; Fang, F.; Chen, P. Treatment of landfill leachate using a combined stripping, Fenton, SBR, and coagulation process. *Journal of Hazardous Materials*, v. 178, n. 1–3, p. 699-705, 2010.
7. INEA – Instituto Estadual do Ambiente. NOP-INEA-45 – Estabelece critérios e padrões de lançamento de esgoto sanitário, 2021. 15 p.
8. Magalhães, N.C. Remoção e recuperação de amônia de lixiviado de aterro sanitário utilizando membranas contactoras e comparação com processos convencionais. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2014.
9. Metcalf, L.; Eddy, H. P. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016
10. Silva, J.R.P.; Monteiro, M.A., Ochs, S.M., Moura, C.S., Fonseca, F.V., Borges, C.P. Study of effects of pharmaceuticals on the activated sludge process combining advanced oxidation using ultraviolet/hydrogen peroxide to increase their removal and mineralization of wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 9, Issue 1, February 2021, 104576.
11. Talalaj, I.A.; Biedka, P. Impact of concentrated leachate recirculation on effectiveness of leachate treatment by reverse osmosis. *Ecological Engineering*, v. 85, p. 185, 192, 2015.