

## **MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO CONCENTRADO DA NANOFILTRAÇÃO APLICADA AO PÓS-TRATAMENTO DE LIXIVIADOS**

*Victor Micael Gomes de Omena 1; Paulo Matheus Matos do Bomfim Santos 2; Elder de Oliveira Santana<sup>3</sup>; Daysy Lira Oliveira Cavalcanti 4; Nadjane Teles Leite 5 & Nélia Henriques Callado 6*

**RESUMO** – Este trabalho analisou a corrente de concentrado gerada por um sistema de nanofiltração, utilizado como estágio complementar ao tratamento de lixiviado proveniente de um aterro sanitário objetivando caracterizar os principais parâmetros físico-químicos, avaliar sua conformidade em relação à legislação ambiental vigente; e identificar lacunas e possíveis alternativas tecnológicas para disposição ou reuso. Os resultados apontaram elevados teores de condutividade (25–30 mS/cm) e sólidos fixos (5.500–15.000 mg/L), indicando alta concentração de sais inorgânicos como cloretos e sulfatos. A presença de sólidos voláteis (1.200–2.800 mg/L), fósforo total (0,3–0,7 mg/L), nitrogênio amoniacal e ferro evidencia retenção significativa de compostos orgânicos, nutrientes e metais. As concentrações dos condutivos e inorgânicos estão acima da média, enquanto os teores orgânicos se situam em faixas compatíveis com estudos internacionais. A análise à luz da CONAMA 430/2011 mostrou que o rejeito excede os limites legais para lançamento em corpos hídricos — especialmente em turbidez, cloretos, fósforo, nitrogênio e ferro — evidenciando que não está apto ao descarte. Assim, verificou-se que o concentrado da nanofiltração é altamente contaminante e requer tratamento complementar antes de qualquer disposição ambiental ou reuso.

**Palavras-Chave** – Filtração em membranas, chorume, concentrado de nanofiltração.

**ABSTRACT**– This study analyzed the concentrate stream generated by a nanofiltration system used as a complementary stage in the treatment of leachate from a landfill, with the aim of characterizing the main physicochemical parameters, assessing its compliance with current environmental regulations, and identifying gaps and possible technological alternatives for disposal or reuse. The results showed high levels of conductivity (25–30 mS/cm) and total solids (5,500–15,000 mg/L), indicating a high concentration of inorganic salts such as chlorides and sulfates. The presence of volatile solids (1,200–2,800 mg/L), total phosphorus (0.3–0.7 mg/L), ammonia nitrogen, and iron indicates significant retention of organic compounds, nutrients, and metals. Concentrations of conductive and inorganic substances are above average, while organic levels fall within ranges consistent with international studies. Analysis in light of CONAMA 430/2011 showed that the effluent exceeds legal limits for discharge into water bodies—especially for turbidity, chlorides, phosphorus, nitrogen, and iron—indicating that it is not suitable for disposal. Thus, it was found that the nanofiltration concentrate is highly contaminated and requires additional treatment before any environmental disposal or reuse.

**Key-words** – membrane filtration, leachate, nanofiltration concentrate.

1) Graduando pela Universidade Federal de Alagoas, (82) 988513966, victor.omena@ctec.ufal.br

2) Graduando pela Universidade Federal de Alagoas, (82) 999017211, paulo.bonfim@ctec.ufal.br

3) Mestrando pela Universidade Federal de Alagoas, (82) 988880363, elder.santana@ctec.ufal.br

4) Profa. Adjunta da Universidade Federal de Alagoas, (82) 99905363, daysy.oliveira@ctec.ufal.br

5) Técnica da Universidade Federal de Alagoas, (82) 999341456, nadane.santos@ctec.ufal.br

6) Profa. Titular da Universidade Federal de Alagoas, (82) 999928087, ncallado@ctec.ufal.br

## INTRODUÇÃO

Um dos problemas dos aterros sanitários é a geração de lixiviado, uma fração líquida formada da água de constituição existente na matéria orgânica do lixo, dos compostos resultantes da decomposição da matéria orgânica por ação microbiológica e da água de infiltração pluvial, juntamente com os materiais dissolvidos e/ou suspensos, incluindo os de natureza inorgânica como sais, que foram extraídos do resíduo. A composição do lixiviado é um fator que sofre alteração em função de influências externas como origem do resíduo, clima local, sazonalidade e características inerentes ao próprio aterro sanitário, isto é, sua idade.

O lixiviado gerado em aterros sanitários possui propriedades altamente contaminantes, apresentando coloração escura, odor forte e elevados teores de substâncias orgânicas e inorgânicas. Devido a essas características, seu despejo direto em corpos d'água, sem o devido tratamento, pode ocasionar sérios impactos ambientais, como a poluição de aquíferos e a eutrofização de ambientes aquáticos, como rios e lagoas. (SANTOS, 2022). A Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece os padrões e condições para o lançamento de efluentes em corpos hídricos, complementando a Resolução nº 357/2005 (BRASIL, 2011).

Com a legislação ambiental que trata da qualidade da água sendo constantemente revisada e as restrições aumentadas, o uso de tecnologias mais sofisticadas se mostrou necessário para que a eficiência do tratamento dos lixiviados fosse intensificada. O desenvolvimento de melhores e mais seletivos materiais para a produção de membranas filtrantes foi a solução, tornando a tecnologia mais sustentável e economicamente viável. Atualmente existem várias tecnologias de filtração por membrana, que são definidas e classificadas de acordo com o tamanho das partículas que elas são capazes de remover de uma corrente fluida. Entre os métodos presentes no mercado hoje, destacam-se a microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e a osmose reversa (OR) (OLIVEIRA, 2022).

O princípio fundamental da filtração por membranas consiste no fluxo de solução por uma membrana semipermeável, levando a uma corrente de permeado e uma de concentrado ou rejeito. Um dos princípios que rege a filtração é a exclusão por tamanho, que ocorre através de um meio poroso e seletivo sobre ação de uma força motriz, que pode ser gradiente de pressão, de potencial químico ou de concentração de soluto. O processo resulta na passagem de água praticamente pura através da membrana, enquanto sólidos dissolvidos, contaminantes biológicos e outras pequenas partículas são retidos, não conseguindo atravessar a barreira semipermeável e sendo eliminados em uma corrente paralela de concentrado (BEZERRA, 2018).

Apesar da alta eficiência da filtração por membranas na remoção de poluentes presentes em efluentes complexos, o processo apresenta uma problemática importante: a geração de uma corrente de concentrado, ou rejeito, altamente carregada de contaminantes. Essa fração, que contém os poluentes retidos pelas membranas — incluindo sais, metais pesados, matéria orgânica e compostos tóxicos —, representa um desafio significativo para o gerenciamento ambiental, pois ainda não existem técnicas consolidadas e amplamente aplicadas para seu tratamento ou disposição final. Em muitos casos, o concentrado precisa ser recirculado, diluído ou encaminhado para tratamentos complementares caros e complexos, como evaporação, oxidação avançada ou sistemas híbridos (ALMEIDA et al., 2022). Quanto a recirculação, essa alternava como insustentável a longo prazo, pois provocam elevação do volume de efluente, maior acúmulo de nitrogênio amoniacal, salinidade e substâncias recalcitrantes. Essa limitação compromete a sustentabilidade plena do processo de filtração por membranas, evidenciando a necessidade de novas pesquisas e desenvolvimento tecnológico voltado ao manejo seguro e eficiente dessa corrente residual.

No município de Maceió, estado de Alagoas, os resíduos sólidos urbanos (RSU) são recolhidos por empresas contratadas e direcionados ao Aterro Sanitário da central de tratamento resíduos, denominado de Ecoparque, que funciona desde abril de 2010 e recebe, em média, cerca de 1.500 toneladas por dia. No interior da área do aterro, encontra-se uma Estação de Tratamento de Lixiviados (ETL), responsável pelo tratamento do lixiviado originado nas células de disposição de resíduos classificados como Classe II (ARAÚJO, 2019).

A ETL do Ecoparque possui duas etapas de tratamento. A primeira é o pré-tratamento biológico, que se baseia em sistemas de lagoas, compostos por uma lagoa anaeróbia, uma lagoa de pré-aeração e uma lagoa facultativa aerada. A segunda etapa consiste no pós-tratamento físico-químico, aplicado após a estabilização biológica, e tem como objetivo remover sólidos em suspensão remanescentes, bem como substâncias coloidais e parte dos compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos. Esse processo se dá por meio da coagulação, floculação e decantação. E o efluente clarificado segue para a etapa de polimento final que faz uso de sistemas de nanofiltração. O efluente tratado é descartado no corpo de água receptor, e o concentrado (rejeito) é recirculado para a etapa de pré-tratamento biológico por lagoas, configurando um circuito fechado, que ao longo do tempo pode comprometer tanto o pré quanto o pós-tratamento, tornando a gestão desse rejeito um desafio a ser vencido na ETL. Neste contexto o objetivo deste trabalho foi caracterizar a corrente do concentrado das membranas de nanofiltração, da ETL do Ecoparque.

## METODOLOGIA

A área de estudo do trabalho foi o sistema de nanofiltração da Estação de Tratamento de Lixiviados (ETL) do Ecoparque Maceió, Maceió/AL, localizado na parte alta da cidade, no bairro Benedito Bentes nas coordenadas 9°33'44.14'' de latitude Sul e 35°41'36.21'' de longitude Oeste (Figura 1), responsável pelo polimento final do lixiviado após o tratamento físico-químico, produz o concentrado que será avaliado no presente trabalho (Figura 2).



**Figura 2:** Ecoparque de Maceió e Sistema de filtração por membranas de nanofiltração.

Fonte: Autor, 2026.

## Caracterização da corrente de concentrado (rejeito)

Para a caracterização da corrente de concentrado estão sendo coletadas amostras na tubulação de saída do rejeito da nanofiltração que deságua na lagoa anaeróbia ou aeróbia de tratamento biológico. As coletas foram realizadas a partir de 26 de fevereiro de 2025, em intervalos quinzenais, até dezembro de 2025 (Figura 3a). Na Figura 3b é possível visualizar o aspecto da corrente de concentrado do lixiviado em contraste com a corrente de permeado (efluente tratado).



**Figura 3:** a) coleta da amostra de concentrado do sistema de nanofiltração na ETE do Ecoparque Maceió; b) imagem do painel do sistema de nanofiltração com as correntes de permeado e concentrado.

Fonte: Autor, 2026.

As amostras de rejeito foram caracterizadas por meio de análise físico-química, cujos parâmetros monitorados estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros analisados em laboratório.

| tipo     | Parâmetro                  | Unidade                 | Método              |
|----------|----------------------------|-------------------------|---------------------|
| Físicos  | Turbidez                   | NTU                     | Espectrofotométrico |
|          | Cor aparente               | uH                      | Espectrofotométrico |
|          | Sólidos fixos              | mg/L                    | Gravimétrico        |
|          | Sólidos voláteis           | mg/L                    | Gravimétrico        |
|          | Sólidos Totais             | mg/L                    | Gravimétrico        |
|          | Sólidos dissolvidos totais | mg/L                    | Potenciométrico     |
|          | Condutividade              | mS/cm                   | Potenciométrico     |
| Químicos | Cloretos                   | mg/L                    | Titulométrico       |
|          | Sulfato                    | mg/L                    | Espectrofotométrico |
|          | pH                         | -                       | Potenciométrico     |
|          | Alcalinidade total         | mg CaCO <sub>3</sub> /L | Titulométrico       |
|          | DQO                        | mg O <sub>2</sub> /L    | Espectrofotométrico |
|          | Ácidos voláteis            | mg/L                    | Titulométrico       |
|          | Nitrogênio amoniacal       | mg N/L                  | Espectrofotométrico |
|          | Fósforo total              | mg/L                    | Espectrofotométrico |
|          | Ferro                      | mg/L                    | Espectrofotométrico |

Fonte: Autor, 2026.

As medições de pH, temperatura, sólidos totais dissolvidos, turbidez, condutividade e OD foram realizadas no próprio ponto de coleta, por meio de equipamentos de medição portáteis levados ao campo. Para as demais análises, foram coletados 2L de rejeito, e levado ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) do CTEC/UFAL para realização de análises físico-químicas seguindo a metodologia proposta do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* - SMEWW, publicação da American Public Health Association – APHA (2017).

## Tratamento dos dados

Os resultados dos parâmetros analisados foram agrupados e organizados em um banco de dados de planilhas do software Excel e foram submetidos a tratamento estatístico e produção de gráficos para melhor compreensão dos dados, onde foram calculados os valores médios, medianas, desvio padrão e feita uma análise de variabilidade, considerando os critérios da Tabela 2, e comparados com os padrões estabelecidos nas resoluções CONAMA 430/2011 e CONAMA 357/2005.

Tabela 2: Classificação da análise de variabilidade.

| Coefficiente de variação | Análise de variabilidade |
|--------------------------|--------------------------|
| < 10%                    | Baixa                    |
| ≤ 20%                    | Moderada                 |
| > 20%                    | Alta                     |

Fonte: Autor, 2026.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos dados expressos na Tabela 3, estão descritos os dados estatísticos calculados para cada parâmetro, que refletem o comportamento da corrente de concentrado de nanofiltração.

**Tabela 3:** Dados estatísticos resultantes da caracterização da corrente de concentrado de nanofiltração.

| Parâmetro                  | Valor médio | Desvio padrão | Mediana  | Coefficiente de variação | Variabilidade |
|----------------------------|-------------|---------------|----------|--------------------------|---------------|
| Turbidez                   | 160,6       | 100,38        | 124,50   | 62,51%                   | Alta          |
| Cor aparente               | 285800      | 1312,62       | 3030,00  | 45,93%                   | Alta          |
| Sólidos fixos              | 10982,7     | 2986,70       | 11192,00 | 27,19%                   | Alta          |
| Sólidos voláteis           | 2034,7      | 673,08        | 2271,00  | 33,08%                   | Alta          |
| Sólidos Totais             | 13017,3     | 3378,01       | 13695,00 | 25,95%                   | Alta          |
| Sólidos dissolvidos totais | 12641,0     | 3844,50       | 14100,00 | 30,41%                   | Alta          |
| Condutividade              | 24,85       | 7,57          | 28,26    | 30,45%                   | Alta          |
| Cloretos                   | 4759,95     | 1250,53       | 5374,96  | 26,27%                   | Alta          |
| Sulfato                    | 297,49      | 155,79        | 267,78   | 52,37%                   | Alta          |
| pH                         | 7,65        | 0,19          | 7,68     | 2,51%                    | Baixa         |
| Alcalinidade total         | 4055,06     | 1302,85       | 4523,30  | 32,13%                   | Alta          |
| DQO                        | 2226,67     | 746,69        | 2422,67  | 33,53%                   | Alta          |
| Ácidos voláteis            | 287,26      | 180,53        | 217,00   | 62,85%                   | Alta          |
| Nitrogênio amoniacal       | 550,48      | 227,35        | 558,77   | 41,30%                   | Alta          |
| Fósforo total              | 3,79        | 0,87          | 3,37     | 23,07%                   | Alta          |
| Ferro                      | 7,84        | 8,10          | 6,95     | 103,33%                  | Alta          |

Fonte: Autor, 2026.

### Cor aparente e turbidez

A cor aparente da corrente de concentrado apresentou valores elevados e variabilidade considerável, entre aproximadamente 730 e 4270 uC — com média de 2.858 uC, desvio padrão de 1.312,62 uC e coeficiente de variação de 45,93% (alta variabilidade). Os maiores picos foram sincronizados com episódios de alta turbidez, indicando forte relação entre ambos, visto que partículas em suspensão contribuem para a coloração da amostra.

A turbidez é baixa, mas apresentou flutuações significativas e alta variabilidade dos dados de 62,51%, variando de 59,9 a 289,0 NTU, valor médio de 160,6 NTU e desvio padrão de 100,48 NTU. A presença de turbidez indica o arraste de sólidos suspensos para o sistema de nanofiltração e pode causar obstrução das membranas e queda de eficiência. A resolução CONAMA 430/2011 não apresenta padrões de turbidez, mas a CONAMA 357/2011 estabelece que a turbidez não deve ultrapassar 100 NTU em corpos hídricos de água doce classe 3 (uso múltiplo).

### Sólidos totais, fixos, voláteis e dissolvidos

O teor de sólidos na corrente de concentrado revelou uma predominância significativa de sólidos fixos (SF) em relação aos sólidos voláteis (SV), com os sólidos totais (ST) variando entre 6.570 a 16.650 mg/l, com média 13.017,3 mg/l e desvio padrão 3.378,0 mg/l, configurando uma alta

variabilidade dos dados de 25,95%. Observa-se que as concentrações de sólidos totais são da mesma ordem dos sólidos totais dissolvidos que variaram de 5.815,0 e 15.040,0 mg/l, com valor médio de 12.641,0 mg/l e desvio padrão de 3844,5 mg/l, ou seja, alta variabilidade de 30,41%, indicando que os sólidos estão predominantemente dissolvidos na corrente de rejeito, o que justifica a baixa turbidez.

Os sólidos voláteis, apresentam valores baixos entre 870 e 2.790 mg/L, em relação aos sólidos fixos, com relação média SV/ST de 0,156, com valor médio de 2.034,7 mg/l, desvio padrão de 673,1 mg/l, e alta variabilidade (33,1%) apontando a presença de matéria orgânica retida na membrana.

Já os sólidos fixos predominam com relação SF/ST de 0,844, apresentam valores entre 5700 e 14.980 mg/l, com valor médio de 10.983 mg/l e desvio padrão de 2.987 mg/l, ou seja, apresenta uma alta variabilidade de 27,19% e acompanha diretamente a tendência de crescimento da condutividade elétrica observada no período, indicando acúmulo de sais dissolvidos no rejeito. Tal comportamento é esperado, visto que a nanofiltração apresenta alta rejeição para íons multivalentes e razoável retenção para íons monovalentes, como o cloreto.

### **Condutividade**

A condutividade elétrica foi alta, variou entre 11,63 e 30,06 mS/cm, valor médio de 24,85 mS/cm, desvio padrão de 7,57 mS/cm, expressando uma alta variabilidade dos dados de 30,45%, porém com tendência de aumento ao longo do tempo. Esses valores são condizentes aos relatados em estudos sobre concentrado de nanofiltração de lixiviado em aterros sanitários. Almeida et al. (2022) encontrou dados de condutividade elétrica entre 16,13 e 79,4 mS/cm. Tal comportamento indica alta carga salina, corroborada pelo elevado teor de sólidos fixos (~5.500–15.000 mg/L) e afeta a eficiência do processo, pois favorece incrustações (fouling) e exige limpezas mais frequentes das membranas. A resolução CONAMA 430/2011 não apresenta restrições quanto a condutividade elétrica.

### **Cloretos e sulfatos**

O monitoramento mostrou que a concentração de cloretos e sulfatos dissolvidos no concentrado da nanofiltração mostrou uma relação média CL/SF de 0,433. No caso dos cloretos, os valores variaram entre 2979,4 e 5675,2 mg/L ao longo das campanhas de monitoramento, com valor médio de 4759,95 mg/l e desvio padrão de 1250,53 mg/l o que define uma alta variabilidade de 26,27%. De acordo com Almeida et al. (2022), o concentrado de nanofiltração no tratamento de lixiviados apresentou valores de cloretos que variam entre 1280 e 10000 mg/l. Os dados observados nesse trabalho também estão condizentes. A resolução CONAMA 357/2005 define um limite aplicável a lançamentos em água doce classe 3 de 250mg/l de cloretos.

Em relação ao sulfato total, os resultados apresentaram valores entre 13,97 e 196,67 mg/l, com valor médio de 125,92 mg/l e um desvio padrão de 98,07 mg/l o que corresponde a uma alta variabilidade de 52,37%. Segundo Almeida et al. (2022) a carga de sulfatos no concentrado de nanofiltração pode apresentar ampla variação (53-5252 mg/l) e depende diretamente da presença significativa de íons divalentes, no caso dos sulfatos, na carga de alimentação que são mais eficientemente retidos pela nanofiltração e, por isso, aparecem em maior concentração no rejeito. A resolução CONAMA 357/2005 estabelece um limite de 250 mg/L para sulfato total ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) em águas doces de Classe 1, 2 e 3, ou seja, o concentrado de nanofiltração se enquadra nos parâmetros exigidos.

### **pH e alcalinidade**

O pH apresentou variações relativamente discretas, mantendo-se entre 7,31 e 7,82 ao longo das coletas, com um valor médio de 7,65 e um desvio padrão de 0,19, apresentando assim uma baixa variabilidade de apenas 2,51%. Segundo o trabalho de Almeida et al. (2022), esses valores de pH são bastante comuns para concentrado de nanofiltração que já encontrou outros resultados entre 6,6 e 9,0.

No entanto, o aumento concomitante da alcalinidade (provavelmente via acúmulo de bicarbonato) pode ter evitado que o pH caísse drasticamente, mantendo o sistema tamponado. A estabilidade do pH também sugere que o sistema está operando sob condições relativamente constantes. A resolução CONAMA 430/2011 apresenta valores de pH de lixiviado para descarte em corpo hídrico entre 5 e 9, estando assim, dentro do que a norma permite.

Observa-se que a alcalinidade variou de 2.135,59 e 5.507,06 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  com valor médio de 4055,06 mg/l e o desvio padrão 1302,85 mg/l, configurando uma alta variabilidade de 32,13%. Esse parâmetro é fundamental no controle do pH e neutralização de ácidos gerados durante a decomposição orgânica. A elevada alcalinidade no concentrado indica que a membrana está atuando como uma barreira efetiva para íons, o que é esperado para sistemas de nanofiltração.

### **DQO e ácidos voláteis**

A DQO é um indicador da quantidade de matéria orgânica, e o resultado indica a quantidade de oxigênio necessária para oxidar essa matéria orgânica. Quanto maior a DQO, maior a quantidade de matéria orgânica presente e, portanto, maior o potencial de poluição. A DQO variou entre 981,27 e 2.997,0 mg/l, apresentando um valor médio de 2.226,7 mg/l e desvio padrão de 746,7 mg/l e uma variabilidade alta de 33,53%, enquanto a concentração de ácidos voláteis, que representa uma parcela da DQO que incluem principalmente ácidos graxos de cadeia curta produzidos durante a decomposição da matéria orgânica apresentaram valores entre 135,00 e 586,25 mg/l, valor médio de 287,26 mg/l e desvio padrão de 180,53 mg/l cuja alta variabilidade dos dados é perceptível. De acordo

com Araújo (2022), a intensa atividade anaeróbia durante o tratamento biológico do lixiviado colabora para a formação de ácidos voláteis. Além disso, Almeida et al. (2022) reforça em seu trabalho valores de DQO para concentrados de nanofiltração com valores entre 1281 e 9500 mg/l, ou seja, os valores encontrados estão dentro da normalidade de um material dessa natureza.

### **Nitrogênio e fósforo**

O nitrogênio e o fósforo são os principais nutrientes que contribuem para a eutrofização dos corpos de água. Referente ao nitrogênio amoniacal, foram observados valores crescentes durante o período de coleta de dados (323,36 e 841,29 mg/l), com um valor médio de 550,5 mg/l e desvio padrão de 227,4 mg/l o que expressa uma alta variabilidade de 41,30%. Segundo Almeida et al. (2022), esse tipo de efluente pode apresentar concentrações de nitrogênio amoniacal entre 15 e 3.276 mg/l a depender da origem do lixiviado, já Top et al. (2010), encontrou valores entre 30-200 mg/l.

Já o fósforo total apresentou concentrações elevadas em todas as coletas, com valores entre 3,21 e 4,80 mg/l, cuja média foi de 3,79 mg/l e o desvio padrão de 0,87 mg/l, o que expressa uma alta variabilidade de 23,07%. Top et al. (2010) na caracterização do concentrado de nanofiltração em lixiviados, estimou uma concentração de fósforo total bastante inferior, entre 0,299 e 0,650 mg/l.

A Resolução CONAMA 430/2011 define um limite de 20 mg/l de nitrogênio amoniacal para descarte em corpos hídricos, ou seja, o concentrado de nanofiltração estudado não apresenta os padrões necessários para descarte. O teor elevado de fósforo está em desacordo com os padrões do CONAMA 357/2005, e não deve ultrapassar 0,1 mg/l no corpo receptor, visto que o fosforo é um nutriente capaz de promover a eutrofização, caso atinja corpos d'água em altas concentrações.

### **Metais pesados**

O metal pesado estudado foi o ferro. Os resultados apresentaram valores entre 2,998 e 22,862 mg/l, com média de 9,58 mg/l e desvio padrão de 7,70 mg/l o que implica em uma alta variabilidade de 103,33%. O pico observado em março (~22,00 mg/L) demonstra uma variação pontual na corrente de concentrado. A exceção desse pico, os demais resultados se mantiveram inferiores a 10mg/l, o que segundo a CONAMA 430/2011 está abaixo do valor máximo exigido para lançamento (15mg/l).

### **CONCLUSÕES**

Esse resíduo apresenta elevada carga inorgânica, com sólidos fixos entre 5.700 e 15.000 mg/l e condutividade superior a 25 mS/cm, evidenciando acúmulo concentrado de sais como cloretos, assim como também de ferro. A presença de sólidos voláteis, fósforo total, nitrogênio amoniacal indicam concentração significativa de nutrientes, matéria orgânica com potencial de eutrofização se forem lançados em corpos de água.

Os níveis de condutividade e sólidos inorgânicos registrados estão entre os maiores descritos em estudos sobre concentrados de nanofiltração, superando faixas comuns (5–15 mS/cm). Por outro lado, os teores de turbidez e nutrientes estão alinhados com valores encontrados em sistemas reais, conforme trabalhos como Top et al. (2010) e Almeida et al. (2022). Isso indica que, embora a carga salina seja particularmente elevada, o perfil de concentração orgânica e de nutrientes segue os padrões observados globalmente.

Essas características reforçam o perfil esperado de rejeito, expresso na retenção de componentes poluentes pela membrana, e evidenciam a natureza tóxica e poluente do concentrado, apontando para necessidade de um melhor gerenciamento desse efluente, diferente da reinjeção em aterros.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R; PORTO, R. F; QUINTAES, B. R; BILA, D. M; LAVAGNOLO, M. C; CAMPOS, J. C. 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*. 2022; 41(2): 264-284.
- APHA (American Public Health Association) (2017) American Water Works Association and Water Environment Federation. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23th ed. Washington DC: Apha.
- ARAÚJO, L. G. S. Avaliação do lixiviado de aterro sanitário: geração e tecnologias de tratamento. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Caruaru – PE, 2019.
- BEZERRA, A. G. Estudo da tecnologia de filtração por osmose reversa na purificação de água. Monografia: Universidade Federal Rural do Semi-árido/CT, Caraúbas - RN, 2018;
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 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, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, n. 53, Seção 1, p. 58-63, 18 março 2005. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?id=450&option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&utm\\_source=chatgpt.com](https://conama.mma.gov.br/?id=450&option=com_sisconama&task=arquivo.download&utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 22 de junho de 2025.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, n. 92, Seção 1, p. 89, 16 maio 2011. Disponível em: [https://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/CONAMA\\_n.430.2011.pdf](https://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/CONAMA_n.430.2011.pdf). Acesso em: 14/06/2025.
- OLIVEIRA, J. L. AVALIAÇÃO DE MEMBRANAS DE OSMOSE INVERSA NO TRATAMENTO DE CHORUME DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ. Monografia: Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2022;
- SANTOS, K. F. L. Relatório Final de Iniciação Científica: Pré-tratamento biológico de lixiviado de aterro sanitário por lagoa anaeróbia e lagoas aeradas. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2022. 7 p.
- TOP, S; SEKMEN, E; HOŞVER, S; BILGILI, M. S. Characterization and electrocoagulative treatment of nanofiltration concentrate of a full-scale landfill leachate treatment plant. *Desalination*, v. 268, p. 158-162, 2011. DOI: 10.1016/j.desal.2010.10.012.