



## Estudo sobre avaliação da eficiência de Biorreator de Membrana destinado à remoção de nitrogênio e fósforo em uma Estação de Tratamento de Efluentes

**Palavras-Chave:** Biorreator de Membrana; Tratamento de efluentes; Remoção de N e P.

**Autores(as):** Pedro da Silva Andrade Costa, FEQ – UNICAMP

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luana Mattos de Oliveira Cruz, FECFAU – UNICAMP

**Coorientadora:** Samara Luiza Alves Geraldo, FECFAU – UNICAMP

**Local de Execução:** Campinas.

### 1. Introdução

O descarte inadequado de efluentes em corpos d'água prejudica os recursos hídricos e ameaça a saúde pública. Para promover o saneamento básico e a preservação dos recursos hídricos, a instalação de Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) tem sido uma alternativa implementada.

As ETEs são unidades destinadas ao tratamento de efluentes, usando sistemas que removem nutrientes e matéria orgânica. Concentrações elevadas dessas substâncias nas águas residuais podem causar danos à saúde humana e à natureza, como a proliferação de doenças infecciosas e a degradação dos recursos hídricos. Por isso, a análise de parâmetros indicadores de qualidade das águas residuais que entram ou circulam nesses sistemas é essencial para monitorar a eficiência do tratamento.

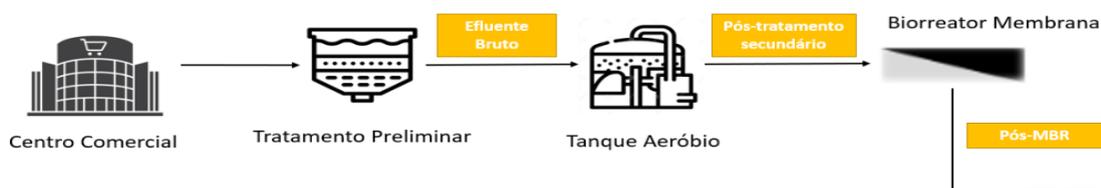
Os principais parâmetros utilizados para caracterizar efluentes são as concentrações de nitrogênio, fósforo e a demanda química de oxigênio. A proliferação de microrganismos em corpos hídricos depende desses nutrientes, podendo levar à poluição, como a eutrofização, que prejudica o equilíbrio dos ecossistemas e a disponibilidade de água para consumo humano.

Este trabalho busca analisar a eficiência de um biorreator de membrana (MBR) em uma ETE parceira da FECFAU/UNICAMP, durante as atividades de pesquisa realizadas a partir de 04/04/2023. Serão apresentados dados de análises realizadas em amostras dessa parceria, mantendo confidenciais a localidade e o nome da empresa parceira, conforme acordado contratualmente.

### 2. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento das análises experimentais, pretendeu-se coletar amostras do efluente bruto que alimenta a ETE parceira, do lodo presente no tanque aeróbio e do efluente do pós-MBR. Após as primeiras coletas, verificou-se a possibilidade de se acrescentar ao escopo das análises uma quarta amostra referente à alimentação do MBR via pós-tratamento secundário, uma vez que o efluente bruto sofre tratamento secundário em um tanque aeróbio que abastece o biorreator de membrana.

Figura 1 - Fluxograma do efluente bruto provenientes do Centro Comercial que alimentam a ETE parceira.



Desse modo, pode-se avaliar especificamente a eficiência da remoção de nitrogênio, fósforo e matéria orgânica relativa ao biorreator empregado, bem como em relação ao sistema de tratamento secundário empregado. Os parâmetros experimentais adotados nas análises laboratoriais desenvolvidas para a caracterização das amostras basearam-se em indicadores de poluição, tais como: análise das concentrações de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ) e de nitrogênio total (NTK), destinado ao cálculo da remoção de nitrogênio; análise das demandas química de oxigênio total (DQO total) e solúvel (DQO solúvel) para o cálculo das concentrações de matéria orgânica total e solúvel; análise da concentração de fósforo (P).

Outros parâmetros foram adotados para a caracterização das amostras de modo contribuir com as discussões dos resultados obtidos, tais como: turbidez; condutividade; pH; alcalinidade; e série de sólidos para a determinação da concentração de sólidos suspenso totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF) e sólidos suspensos voláteis (SSV).

O processo de armazenamento e condicionamento das amostras foi realizado em conjunto com o Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP (LABSAN/FECFAU), e contou com a colaboração dos profissionais responsáveis pelo laboratório. A metodologia empregada para a realização das análises tomou como base o guia “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, sendo tutorada pelos técnicos do LABSAN.

### 3. Resultados

Conforme mencionado, as concentrações de matéria orgânica e inorgânica estão relacionadas a indicadores de poluição. As tabelas 1 e 2 informam os parâmetros analisados para as amostras coletadas de efluente bruto da alimentação da ETE parceira durante o período de pesquisa. As tabelas 3 e 4 dizem respeito aos parâmetros analisados para as amostras referentes ao lodo contido no tanque aeróbio que antecede o processo de ultrafiltração efetuado pelo MBR. As tabelas 5 e 6 referem-se às análises desenvolvidas para as amostras que saem do pós-tratamento secundário realizado pelo tanque aeróbio e que são destinadas ao MBR. Já as tabelas 7 e 8 apresentam as análises realizadas para as amostras retiradas do pós-MBR.

Ensaio prévios realizados para a caracterização da Série de Sólidos para as amostras referentes ao efluente do pós-tratamento secundário e do pós-MBR demonstraram uma baixa concentração de sólidos suspensos em tais amostras, optando-se assim por não considerar este parâmetro relevante para as análises laboratoriais desenvolvidas.

Tabela 1 - Dados experimentais referentes às análises realizadas para a determinação das concentrações de materiais orgânicos e inorgânicos nas amostras fornecidas pela ETE parceira.

	<b>Efluente bruto</b>	<b>Tanque aeróbio</b>	<b>Efluente do pós-tratamento secundário</b>	<b>Efluente do pós-MBR</b>
<b>Nitrato</b> [mg N- $\text{NO}_3^-$ /L]	3,0 ± 6,4	2,3 ± 4,2	2,0 ± 3,9	6,2 ± 4,4
<b>Nitrito</b> [mg N- $\text{NO}_2^-$ /L]	0,1 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,0 ± 0,0	0,1 ± 0,1
<b>Amônia</b> [mg N- $\text{NH}_3$ /L]	32,0 ± 17,5	43,5 ± 32,2	61,3 ± 23,0	65,1 ± 22,0
<b>NTK</b> [mg N/L]	75,8 ± 7,4	1095,9 ± 1162,5	929,3 ± 608,9	63,1 ± 35,0
<b>Fósforo Total</b> [mg P- $\text{PO}_4^{3-}$ /L]	16 ± 21,1	50,8 ± 37,5	58,3 ± 9,9	4,0 ± 1,6
<b>DQO total</b> [mg $\text{O}_2$ /L]	830,3 ± 428,5	6606,3 ± 4855,8	4737,0 ± 4479,7	278,1 ± 273,0
<b>DQO solúvel</b> [mg $\text{O}_2$ /L]	538,4 ± 261,7	798,9 ± 912,8	249,0 ± 243,1	268,0 ± 231,4

Tabela 2 - Dados experimentais referentes às análises de outros parâmetros destinados à caracterização das amostras fornecidas pela ETE parceira.

	Efluente bruto	Lodo de tanque aeróbico	Efluente do pós-tratamento secundário	Efluente do pós-MBR
<b>Turbidez [NTU]</b>	87,9 ± 1149,7	3794,3 ± 2572,7	4286,0 ± 2141,2	0,6 ± 0,3
<b>Condutividade [µS/cm]</b>	1024,3 ± 373,4	1359,5 ± 120,0	1394,9 ± 179,6	1438,0 ± 393,4
<b>pH</b>	5,8 ± 1,2	6,9 ± 0,3	7,4 ± 0,2	7,1 ± 1,6
<b>Alcalinidade [mg CaCO<sub>3</sub>/L]</b>	205,7 ± 154,4	483,0 ± 221,3	600,4 ± 71,8	357,9 ± 142,5
<b>Sólidos Suspensos Totais [mg SST/L]</b>	597,9 ± 1170,0	7526,6 ± 4469,6	-	-
<b>Sólidos Suspensos Fixos [mg SSF/L]</b>	26,8 ± 49,3	1829,0 ± 4355,3	-	-
<b>Sólidos Suspensos Voláteis [mg SSV/L]</b>	571,0 ± 1129,5	5340,0 ± 3298,0	-	-

Conforme mencionado anteriormente, as análises realizadas para amostra de efluente proveniente do pós-tratamento secundário iniciaram-se somente a partir do dia 24/04/2023, uma vez que se investigou outros pontos de coleta após o início da pesquisa. Durante o período experimental as características das amostras mostraram-se variáveis, sendo necessário readequar os fatores de diluição e métodos analíticos empregados de modo a viabilizar as análises experimentais.

#### 4. Discussão

Os ensaios realizados nas amostras de alimentação da planta, do lodo presente no tanque aeróbio, do efluente proveniente do pós-tratamento secundário e do efluente do pós-MBR mostram baixas concentrações de nitrogênio provenientes de compostos com íons nitrato e nitrito, havendo preponderância de nitrogênio proveniente de derivados da amônia e de compostos orgânicos.

Analisando as concentrações de nitrogênio orgânico, nota-se um valor superior ao de nitrogênio inorgânico em praticamente todos os pontos, com exceção do efluente pós-MBR. Para o efluente bruto que abastece a estação, verificou-se um valor médio de  $[N_{\text{orgânico}}]$  igual a 43,0 mg  $N_{\text{orgânico}}/L$ . Em relação ao lodo, o valor médio obtido foi igual a 1234,0 mg  $N_{\text{orgânico}}/L$ , e em relação ao efluente do pós-tratamento secundário foi de 955,9 mg  $N_{\text{orgânico}}/L$ . Já para o efluente do pós-MBR, obteve-se uma média igual a 27,3 mg  $N_{\text{orgânico}}/L$ .

De acordo com as médias dos valores calculados, observam-se altas concentrações de compostos orgânicos nitrogenados nas amostras de lodo contidas no tanque aeróbio, e também, nas amostras de lodo referentes ao pós-tratamento secundário que são direcionados para o MBR. A concentração de nitrogênio orgânico mencionado em tais amostras possui correlação com as concentrações de materiais orgânicos presentes nos efluentes analisados.

Conforme mencionado, pode-se calcular as médias de matéria orgânica em termos de DQO total presentes no efluente bruto como sendo 738,0 mg  $O_2/L$ , no lodo como sendo 6606,3 mg  $O_2/L$ , no efluente do pós-tratamento secundário como sendo 4737,0 mg  $O_2/L$ , e no efluente do pós-MBR 194,7 mg  $O_2/L$ . Em relação às análises de DQO realizadas, observa-se uma retenção parcial da matéria orgânica presente no lodo em relação ao que alimenta o tanque aeróbio. A média de DQO total requerida para as amostras do efluente que abastecem o MBR (4737,0 mg  $O_2/L$ ) são menores do que aquelas requeridas pelo lodo (6606,3 mg  $O_2/L$ ), representando uma retenção de aproximadamente 28,3 % da matéria orgânica que é direcionada ao MBR pelo tratamento secundário.

Para os parâmetros associados a concentração total de nitrogênio (NTK) e de fósforo (P), podemos inferir a ocorrência de acúmulo de tais compostos no tanque aeróbio através da análise das amostras referentes ao esgoto bruto e ao efluente pós-tratado via tratamento secundário. Verifica-se como valor médio para a concentração de NTK que alimenta a planta como sendo de 75,8 mg N/L, sendo a saída do tanque aeróbio representado por 929,3 mg N/L. A concentração de NTK do lodo contido no tanque aeróbio fornece o acúmulo real referente a 1095,9 mg N/L. Analogamente, pode-se verificar que a concentração média da concentração de P que alimenta a planta é de 16,0 mgP-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L, sendo que a saída do tanque aeróbio equivale a 58,3 mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L. O valor real acumulado pode ser compreendido analisando o lodo, o qual fornece a concentração média de 50,8 mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L.

O MBR contribui para a remoção de matéria orgânica que circula na planta. A média de DQO total requerida para as amostras do efluente que abastece o MBR (4737,0 mg O<sub>2</sub>/L) são menores do que aquelas requeridas pelo efluente pós-MBR (194,7 mg O<sub>2</sub>/L), representando uma eficiência de remoção de aproximadamente 95,9 % da matéria orgânica. Analogamente, a eficiência do biorreator de membrana em relação à remoção de nitrogênio total (NTK) e fósforo (P) pode ser calculada tomando como referência os efluentes que abastecem e saem do MBR. A média da concentração de NTK da amostra do efluente que abastece o MBR é de 929,3 mg N/L e a média da concentração de NTK do efluente que sai do MBR é de 63,1 mg N/L, sendo a eficiência de remoção do NTK de aproximadamente 93,2%. Já a média da concentração de P da amostra do efluente que abastece o MBR é de 58,3 mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L e a média da concentração de P do efluente que sai do MBR é de 4,0 mg mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L, sendo a eficiência de remoção do P de aproximadamente 93,1%.

Além disso, avaliando-se as concentrações de sólidos suspensos voláteis nas amostras de esgoto bruto e de lodo, pode-se observar um acúmulo de matéria orgânica devido principalmente à massa endógena de microrganismos presentes no tanque de aeração. A turbidez também fornece parâmetros para compreender a carga de material orgânico presentes em tais amostras, sendo os valores médios obtidos iguais a 587,9 NTU e 3794,3 NTU, respectivamente. Parâmetros como condutividade e pH tiveram significativas flutuações em seus valores. Isto porque possivelmente após a degradação dos materiais sólidos orgânicos e inorgânicos presentes na água de entrada do reator, pode-se esperar uma maior concentração de íons dissolvidos no efluente. No caso observado, o pH variou de levemente ácido (pH 5,8 médio do efluente bruto) a levemente básico (pH 7,1 médio do efluente pós-MBR).

## 5. Conclusões

De acordo com os parâmetros experimentais adotados para a caracterização das amostras obtidas via acordo institucional com uma estação de tratamento de efluentes parceira da UNICAMP, observou-se uma eficiência associada à remoção de matéria orgânica do MBR igual a 95,9%, tomando como referência as análises de DQO total da alimentação e saída do biorreator. Além disso, em relação à remoção de nitrogênio (NTK) e fósforo (P), foi possível observar respectivamente eficiências de 93,2% e 91,1%, respectivamente, desempenhadas pelo MBR empregado na ETE parceira.

Através dos dados experimentais reportados pode-se verificar certa flutuação dos parâmetros analisados ao longo do período de pesquisas. Como principais causas pode-se apontar a ocorrência de feriados, eventos festivos e épocas de chuva durante a coleta, sendo fatores interferentes em relação às características das amostras obtidas do centro comercial tido como objeto de estudo. Em razão disso, conforme mencionado, foi necessário readequar a metodologia experimental elaborada a fim de viabilizar as análises dos parâmetros tomados como relevantes. Embora tenha havido dificuldades para reportar as concentrações de NTK e P em algumas datas, os resultados obtidos foram satisfatórios e dentro do esperado para o MBR da ETE parceira.

## **6. Referências**

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23. ed. [S. l.: s. n.], 2015.

VÁZQUEZ, Carlos M. López; MÉNDEZ, Germán Buitrón; GARCÍA, Héctor A.; CARRILLO, Francisco J. Cervantes. Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. [S. l.: s. n.], 2017.

## **7. Perspectivas de continuidade ou desdobramento do trabalho**

Como desdobramento da pesquisa realizou-se a submissão de proposta de pesquisa com tema Investigação da Autodepuração do Ribeirão das Pedras (Campinas – SP) para Compostos de Nitrogênio e Fósforo, no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) 2023/2024. Essa proposta tem por objetivo, investigar os impactos causados pelo despejo do efluente tratado, analisado na presente pesquisa, no corpo hídrico da região.

## **8. Agradecimentos**

Gostaria de agradecer os técnicos do LABSAN pelo apoio à pesquisa desenvolvida e pelos ensinamentos passados ao longo de todo o período de realização de análises experimentais. Gostaria de agradecer o programa PIBIC pela oportunidade que me foi concedida de poder fomentar a pesquisa na área de Saneamento Ambiental pela UNICAMP. Gostaria de agradecer a Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Luana Mattos por idealizar o projeto de pesquisa e me fornecer conhecimento e orientação ao longo de todos esses meses. E em especial, gostaria de agradecer minha Coorientadora Samara Luiza Alves que me acompanhou no laboratório durante toda essa jornada, e compartilhou todas as frustrações e felicidades que a dedicação à pesquisa pode nos proporcionar.