

## II-036 - RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO E NITROGÊNIO COM MBR EM PLANTAS DE TRATAMENTO DE CENTROS COMERCIAIS

### **Samara Luiza Alves Geraldo**

Engenheira Civil pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP (FECFAU/UNICAMP). Mestranda em Saneamento e Ambiente na FECFAU/UNICAMP.

### **João Arthur Vieira Pereira de Camargo**

Graduando pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP (FECFAU/UNICAMP).

### **Luana Mattos de Oliveira Cruz<sup>(1)</sup>**

Professora doutora na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP (FECFAU/UNICAMP).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Saturnino de Brito, 224 - Cidade Universitária Zeferino Vaz - Campinas - SP - CEP: 13083-889 - Brasil - Tel: (19) 3521 2377- e-mail: [luanamoc@unicamp.br](mailto:luanamoc@unicamp.br)

### **RESUMO**

O lançamento de fósforo e nitrogênio provoca a eutrofização de corpos hídricos, o que vem tomando atenção para desenvolvimento de tecnologias alternativas para o tratamento de águas residuárias direcionadas ao tratamento de efluentes complexos e reúso de águas recuperadas (MARCELINO et al., 2013). Embora os problemas ambientais provenientes do lançamento, ambos elementos são essenciais para manutenção da vida, como formação de DNA e RNA, ao passo que o fósforo está relacionado à segurança alimentar por compor a produção de fertilizantes. Aliado a isso, os biorreatores com membranas (BRM) do inglês *membrane bioreactor* (MBR) que combina o processo de lodo biológico com um sistema de membrana de micro ou ultrafiltração (JUDD; JUDD, 2006).

Sendo assim, o presente trabalho verificou e comparou o desempenho na remoção de nitrogênio e fósforo em duas plantas de tratamento de efluentes em centros comerciais que operavam com reatores do tipo MBR. Com isso, obteve-se a remoção de nitrogênio e fósforo, na proporção de 85% e 93,8% respectivamente para planta A e 68% e 95,3% para planta B, respectivamente. O percentual de remoção da concentração de Sólidos Suspensos Totais para Planta A apresentou média de 99,5% e para Planta B de 99,6% ao passo que, para a matéria orgânica em termos de Demanda Química de Oxigênio a média de redução para A foi de 97,9% e B de 97,7%. Com isso, o estudo pode apresentar o potencial da tecnologia para emprego na remoção de N e P, ao passo que recomenda-se o encaminhamento para futuras pesquisas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Remoção, Recuperação, Reúso, Nutrientes, MBR

### **INTRODUÇÃO**

O saneamento básico é definido perante a legislação brasileira como a união dos serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais, referente aos serviços de abastecimento de água potável, esgoto sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Do ponto de vista do esgotamento sanitário, a lei vigente determina que esse é constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reúso ou seu lançamento de forma adequada no ambiente (BRASIL, 2007).

Além disso, é crescente a preocupação com a eutrofização de corpos hídricos em decorrência do lançamento de efluentes com concentrações de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) por isso, se faz necessário o desenvolvimento de tecnologias alternativas para o tratamento de águas residuárias direcionadas ao tratamento de efluentes complexos e reúso de águas recuperadas (MARCELINO et al., 2013). Entretanto, N e P são elementos cruciais

para manutenção da vida, por estarem presentes na formação de proteínas bem como, na formação do DNA e RNA, respectivamente.

Com a intervenção do homem nos ciclos naturais, diversos elementos assim como Nitrogênio e Fósforo, encontram-se no limiar da exploração. Nas últimas décadas cerca de meio bilhão de toneladas de fósforo foram extraídas de rochas, tendo como destino a hidrosfera. Assim há grande preocupação com a escassez de fósforo já que esse está estritamente relacionado à segurança alimentar global, uma vez que 90% da demanda mundial deste elemento é destinada para a produção de fertilizantes (PANTANO et al., 2016).

Dessa forma, o projeto visa estudar se há remoção desses elementos através do emprego de biorreatores com membranas (BRM), do inglês *membrane bioreactor* (MBR). Estes reatores operam na combinação do processo convencional de lodo biológico, um processo de tratamento de águas residuais caracterizado por um crescimento suspenso da biomassa, com um sistema de membrana de micro ou ultrafiltração (JUDD; JUDD, 2006). Ressalta-se que ainda não são dominados os processos pelos quais há remoção de N e P pelos BRM's com isso, há necessidade de desenvolvimento de estudos na temática para sugestão de otimização das atuais condições operacionais.

O presente estudo teve como objetivo estudar o desempenho na remoção de nitrogênio e fósforo em duas plantas de tratamento de efluentes em centros comerciais que operavam com reatores do tipo MBR. Comparou-se, também, a influência da cloração para remoção de nutrientes, em especial, o nitrogênio.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme os objetivos da pesquisa, bem como a importância do tema, para desenvolvimento da pesquisa foram coletadas amostras semanais (do dia 21 de março de 2022 ao dia 21 de junho de 2022) de duas plantas distintas para análise dos parâmetros: pH, turbidez, condutividade, alcalinidade, sólidos suspensos totais e voláteis, matéria orgânica em termos de demanda química de oxigênio total e solúvel (DQO), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrogênio amoniacal ( $\text{N-NH}_3^+$ ), nitrogênio total Kjeldahl (NTK – nitrogênio amoniacal somado ao orgânico) e fósforo total, de acordo com Rice et al. (2017).

Para fins de confidencialidade as duas plantas analisadas foram denominadas de A e B, ambas realizam tratamento de efluente doméstico e fazem o seu reúso, dentro da própria edificação, em vasos sanitários e para rega de jardins.

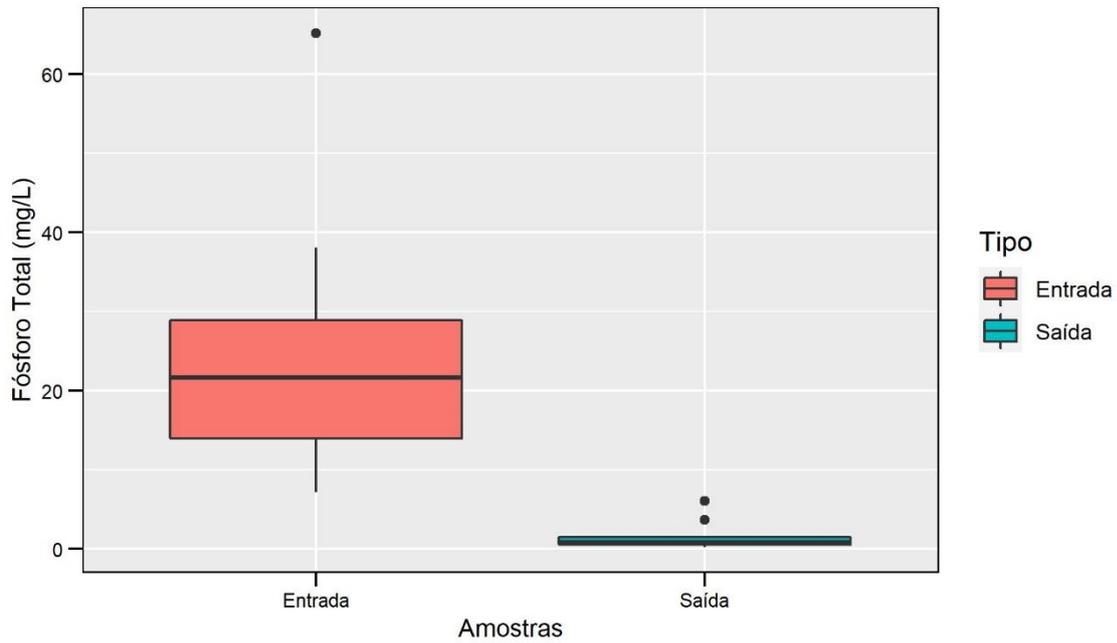
Para fins de contabilizar a remoção dos nutrientes abordados, as amostras foram coletadas na entrada do biorreator, após o tratamento preliminar. Entretanto, na saída as amostras diferem uma vez que na planta A foram coletadas após as membranas filtrantes, mas antes da cloração, ao passo que na planta B, as amostras foram coletadas após a cloração. Além das coletas semanais, duas coletas compostas foram realizadas, uma na planta A (dia 13 de junho de 2022 das 9:40 às 15:00) e outra na planta B (dia 06 de junho de 2022 das 9:20 às 14:55), para fins de obter uma ponderação da qualidade dos efluentes nas plantas, já que as coletas normais foram feitas em horários distintos, afetando a composição do efluente. Ademais, buscou-se referência bibliográfica para estimativa inicial da recuperação dos elementos citados (CHEN et al., 2022).

Por fim, destaca-se que os resultados obtidos foram compilados para análise das influências e na remoção de fósforo e nitrogênio. Além disso, buscou-se quantificar o quanto a remoção dos nutrientes foi efetiva. Ademais, sugestões para pesquisas futuras foram feitas, de forma a investigar os fenômenos encontrados na presente pesquisa.

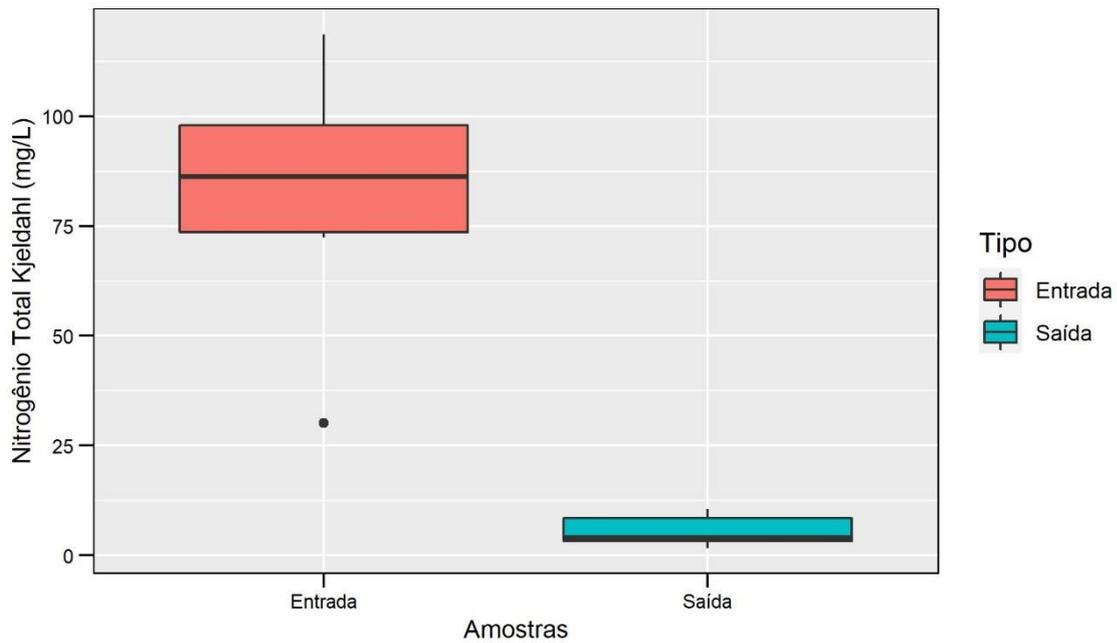
Os resultados serão descritos a seguir:

## RESULTADOS OBTIDOS

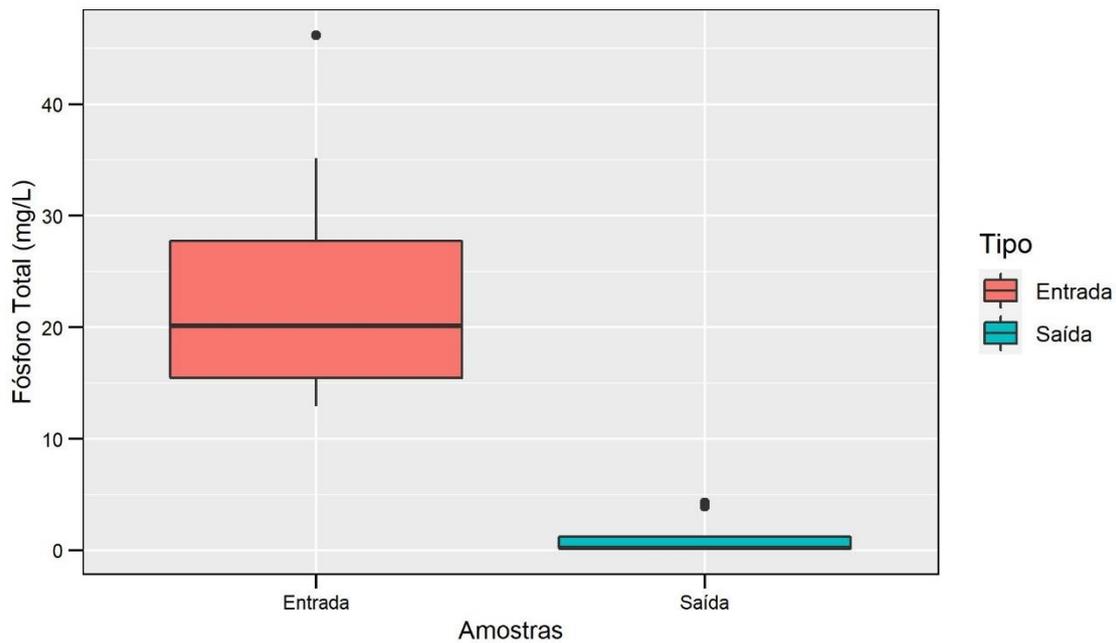
Para as plantas analisadas que serão denominadas de A e B, elaborou-se os gráficos presentes nas Figuras 1, 2, 3 e 4:



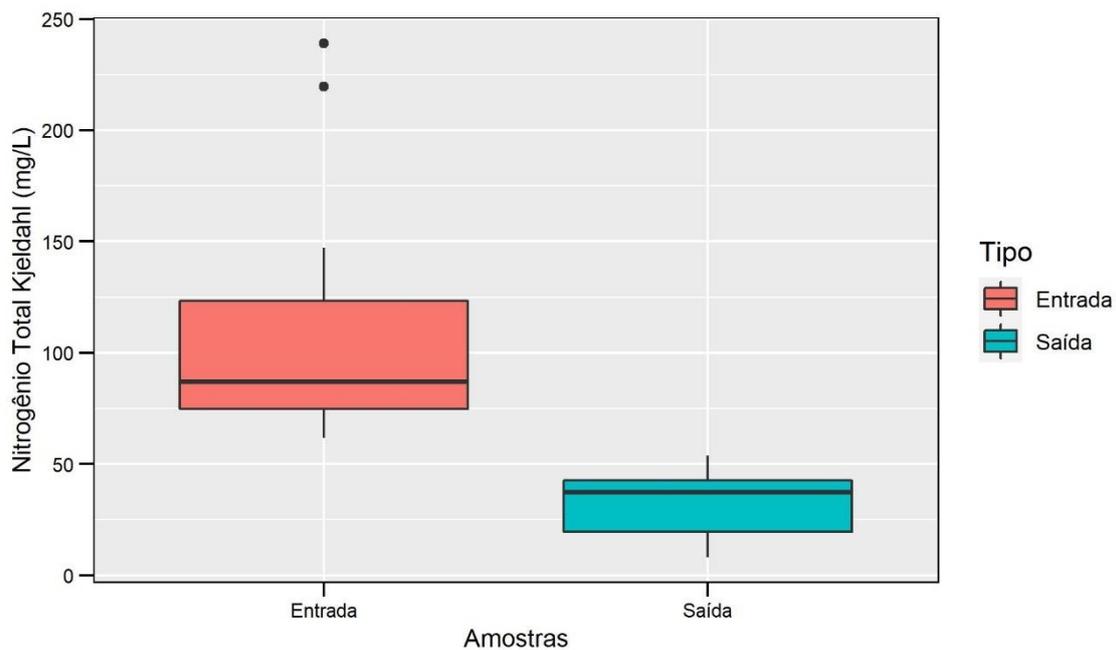
**Figura 1: Concentração de Fósforo Total, em mg/L, na entrada e saída dos reatores – Planta A**



**Figura 2: Concentração de Nitrogênio Total Kjeldahl, em mg/L, na entrada e saída dos reatores – Planta A**



**Figura 3: Concentração de Fósforo Total, em mg/L, na entrada e saída dos reatores – Planta B**



**Figura 4: Concentração de Nitrogênio Total Kjeldahl, em mg/L, na entrada e saída dos reatores – Planta B**

Além disso, como citado anteriormente procurou-se metodologia de cálculo para estimativa de recuperação dos elementos objetos de estudo. Dessa forma, seguindo Chen et al (2022) obteve-se as Figuras 5 e 6 que demonstram a comparação do delta de remoção esperada do Fósforo, consoante metodologia que adota o dimensionamento do estado estacionário, ou seja, caracteriza inicialmente a água residuária em termos DQO, nitrogênio, fósforo, sólidos inorgânicos e concentração de oxigênio, posteriormente seleciona uma configuração de tratamento, seguindo com cálculo da produção de biomassa e a capacidade de remoção de fósforo do sistema (CHEN et al., 2022), comparado com a remoção real expressa mediante experimentos.

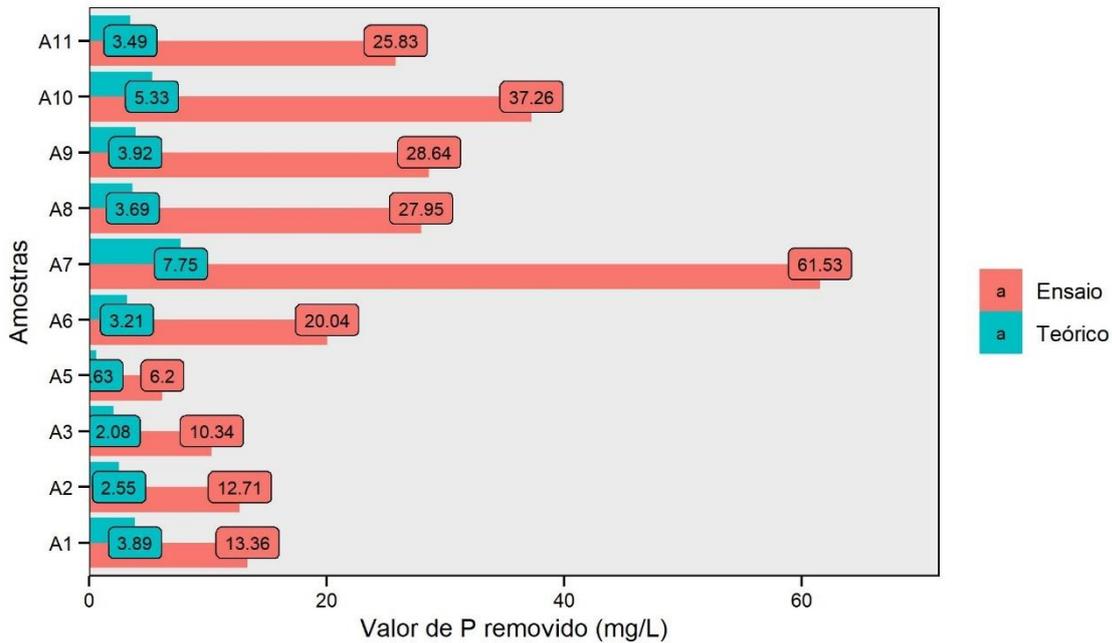


Figura 5: Delta Concentração de Fósforo removido seguindo o cálculo teórico e a análise em laboratório das amostras – Planta A

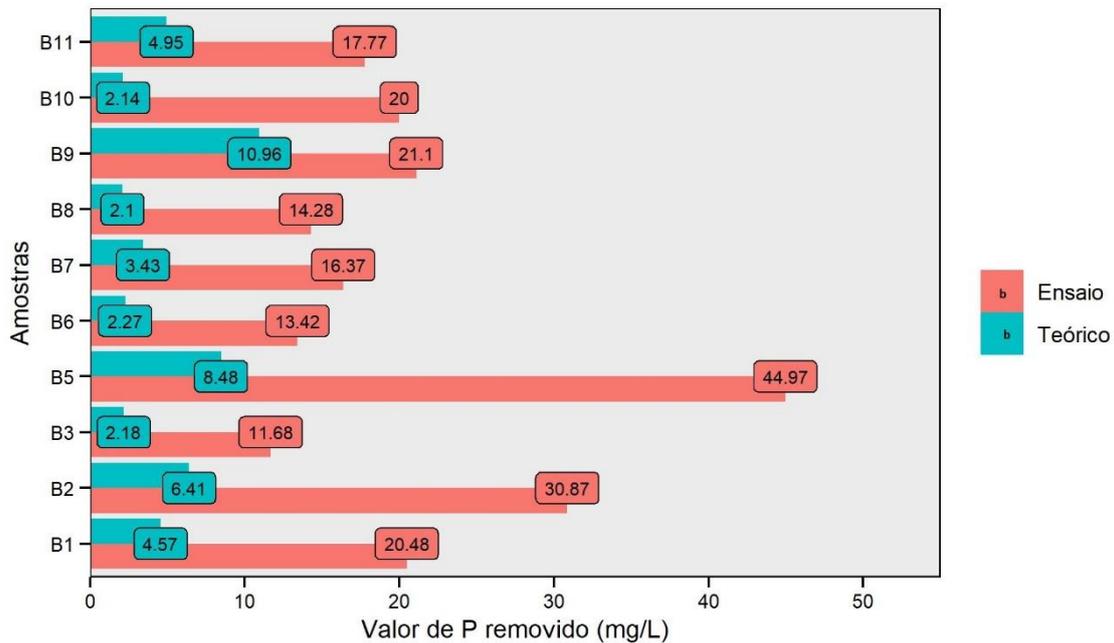


Figura 6: Delta Concentração de Fósforo removido seguindo o cálculo teórico e a análise em laboratório das amostras – Planta B

Por fim, a Tabela 1 apresenta os resultados para os demais parâmetros analisados que, complementam a análise dos efluentes das plantas de tratamento com MBR.

**Tabela 3: Resultados obtidos nas Plantas A e B.**

<b>PARÂMETROS DA PLANTA A</b>						
Parâmetro	Entrada			Saída		
	Composta	Média	Desvio Padrão	Composta	Média	Desvio Padrão
pH	9,7	6,3	1,2	7,8	7,5	0,3
Turbidez (NTU)	364	464	329	1,50	1,18	0,72
Condutividade (uS/cm)	2020	1603	268	1310	1285	245
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	647,1	230,0	146,8	133,5	112,0	42,7
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	362	387	186	2,5	2,0	1,3
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	0,0	4,8	-	0,00	0,0	-
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	362	382	187	2,5	1,9	1,3
Demanda Química de Oxigênio Total (mg O <sub>2</sub> /L)	2180	2249	1167	62	48	-
Demanda Química de Oxigênio Suspensos (mg O <sub>2</sub> /L)	1385	1115	-	14	9	-
Demanda Química de Oxigênio Solúvel (mg O <sub>2</sub> /L)	795	1134	507	48	39	-
<b>PARÂMETROS DA PLANTA B</b>						
pH	6,7	6,4	0,3	7,8	7,0	1,0
Turbidez (NTU)	360	561	448	0,90	1,92	1,28
Condutividade (uS/cm)	1325	1282	206	1109	1171	147
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	278,6	207,7	47,3	278,6	229,8	83,4
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1059	841	651	1,3	3,4	4,2
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	59	31	-	0,3	0,5	-
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1000	811	643	1,1	2,9	2,9
Demanda Química de Oxigênio Total (mg O <sub>2</sub> /L)	1134	2184	1125	48	51	-
Demanda Química de Oxigênio Suspensos (mg O <sub>2</sub> /L)	767	1450	-	0	5	-
Demanda Química de Oxigênio Solúvel (mg O <sub>2</sub> /L)	366	734	403	48	45	-

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dessa forma, tendo como base os objetivos, metodologia, resultados e análises conclui-se que para as plantas com MBR estudadas, há remoção de nitrogênio e fósforo, sendo 85% e 93,8%, respectivamente, para planta A e 68% e 95,3% para planta B, respectivamente. Com isso, mediante dados obtidos foi possível desprender que a remoção dos elementos ocorre nos reatores, entretanto, em especial para o fósforo, as proporções excedem o estimado por cálculos. Assim, cabe a futuras pesquisas analisar qual o mecanismo envolvido, ou seja, determinar se a remoção ocorre de forma físico-química ou biológica, sendo o último possível pesquisar qual a bactéria que estimula o processo.

Além disso, como citado anteriormente na planta B as amostras de saída foram coletadas após etapa de coloração ao passo que, realizando comparação da remoção de Nitrogênio, a planta A apresenta uma eficiência maior. Esses resultados despertam interesse científico para avaliação ampla dos processos envolvidos, sendo assim possível atentar-se para alguma alteração do processo já que com o início da cloração, o nitrogênio amoniacal consome o cloro na formação de cloraminas. O ponto máximo é atingido quando toda a amônia disponível se combinou com o cloro para a formação de cloraminas. Como são compostos quimicamente instáveis, quando a curva atinge o máximo, com a continuação da adição de cloro à água as cloraminas são oxidadas e destruídas, formando produtos inertes, como N<sub>2</sub> e HCl (MEYER, 1994).

Do ponto de vista da remoção de matéria orgânica, o percentual de remoção de Sólidos Suspensos Totais para Planta A apresentou média de 99,5% e para Planta B de 99,6% ao passo que, para matéria orgânica em termos de Demanda Química de Oxigênio a média de redução para A foi de 97,9% e B de 97,7%. Dessa forma, observa-se que ambas as plantas apresentam alta remoção para os dois parâmetros descritos, o que demonstra a eficiência do sistema adotado.

Por fim, tratando-se de duas plantas de estações de tratamento distintas é possível que algumas características como localidades, tempo de operação e recebimento influenciem na eficiência da ambas, ao passo que, possam corroborar com o processo de entendimento para uso dos biorreatores com membrana para aproveitamento de recursos.

## CONCLUSÕES

O estudo pode verificar o desempenho das plantas de tratamento de efluentes em centros comerciais para a remoção de fósforo e nitrogênio por meio de ensaios laboratoriais;

É possível estabelecer relações entre a etapa de cloração e remoção de nitrogênio (68% de remoção na planta com coloração comparado com 85% da planta sem acréscimo de cloro);

A remoção de matéria orgânica ocorre em altas taxas para ambas as plantas (apresentou média de 99,5% para Planta A e para Planta B de 99,6%);

Como recomendação, seria importante estudar qual ou quais processos estão envolvidos na remoção do fósforo (físico – químicos e/ou biológicos) bem como a realização da análise de PCR para determinação da comunidade biológica presente no lodo dos reatores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Lei no 11.445. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm)>. Acesso em: 15 ago. 2022.
2. CHEN, G.-H. et al. Portuguese translation of Biological Wastewater Treatment: 2nd Edition | IWA Publishing. Disponível em: <<https://www.iwapublishing.com/books/portuguese-translation-biological-wastewater-treatment-2nd-edition>>. Acesso em: 19 out. 2022.
3. JUDD, SIMON.; JUDD, CLAIRE. The MBR book : principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment. p. 325, 2006.
4. MARCELINO, R. B. P. et al. Tendências e desafios na aplicação de tecnologias avançadas para o tratamento de efluentes industriais não biodegradáveis. Revista da Universidade Federal de Minas Gerais, v. 20, n. 2, p. 358–383, 11 abr. 2013.
5. MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. Cadernos de Saúde Pública, v. 10, n. 1, p. 99–110, mar. 1994.
6. PANTANO, G. et al. SUSTENTABILIDADE NO USO DO FÓSFORO: UMA QUESTÃO DE SEGURANÇA HÍDRICA E ALIMENTAR. Química Nova, v. 39, n. 6, p. 732–740, 1 jul. 2016.
7. RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; EATON, A. D. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23. ed. [s.l.] American Water Works Association, 2017.