

EFICIÊNCIA DA MEMBRANA DE ULTRAFILTRAÇÃO NO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE DOMESTICO COM VISTAS AO REUSO

Camila de Almeida Porto (*), Elda Karoline Videres Ferraza, Elisângela Maria Rodrigues Rocha, Gilson Barbosa Athayde Junior

* Universidade Federal da Paraíba, camila.aporto@gmail.com

RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar a qualidade do permeado de planta piloto de membrana de ultrafiltração no pós-tratamento do efluente sanitário final da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mangabeira (João Pessoa – Brasil). A ETE Mangabeira, composta por sistema de lagoas de estabilização obteve remoções médias no período de agosto a novembro de 2017: 31% DE sólidos totais, 90% DBO₅, 72% DQO, 29% nitrogênio amoniacal e 99% coliformes termotolerantes. A membrana de ultrafiltração alcançou remoções médias de 27% de sólidos totais, 87% de DBO₅, 86% de DQO, 8% de nitrogênio amoniacal e 100% de coliformes termotolerantes. Apesar da boa qualidade do efluente, a planta operou com fluxos de filtração abaixo do recomendado, indicando a ocorrência de incrustação irreversível para fluxos maiores. Uma alternativa para melhorar a qualidade do afluente a membrana é a implantação de outro tratamento, como lagoa de maturação ou biofilme.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade do permeado, efluente sanitário, lagoa de estabilização, reuso industrial.

INTRODUÇÃO

Em 2016, 55% dos esgotos sanitários gerados não foram encaminhados para Estações de Tratamento no Brasil (BRASIL, 2018), sendo uma das principais fontes de contaminação dos recursos hídricos. Além disso, eventos de estiagem também comprometeram a disponibilidade hídrica do país no início desta década. Neste contexto, a prática de reuso apresenta-se como uma alternativa promissora, contribuindo para a conservação da qualidade e da quantidade dos recursos hídricos.

Tradicionalmente, os esgotos sanitários têm sido selecionados para o reuso (CHEN et al., 2003). Mas, em geral, os sistemas de tratamento convencional apenas atingem os limites de lançamento estabelecidos na legislação. Assim, faz-se necessária a adição de novas etapas de tratamento para possibilitar o reuso deste efluente. Dentre as alternativas, os processos de separação por membrana (PSM) tem um grande destaque.

Os PSM mais utilizados são microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa (OR) e diferenciam-se pelo tamanho do poro, pela pressão necessária e pelos contaminantes retidos (METCALF e EDDY, 2016). Esta tecnologia já é amplamente utilizada em escala real para o tratamento de água para abastecimento (FUENTES-BARGUES, 2014) e no tratamento de esgoto (ITOKAWA et al., 2014).

No que tange a aplicação para esgotos sanitários, o processo de ultrafiltração normalmente é avaliada para efluentes proveniente de lodos ativados (FALSANISI et al., 2009; FAN et al., 2008; ZHENG et al., 2012; FILLOUX et al., 2014). No entanto, as lagoas de estabilização são amplamente utilizadas no Brasil para o tratamento de esgoto sanitário em virtude da sua elevada eficiência e seu baixo custo.

OBJETIVOS

Desta forma, este trabalho tem o objetivo de avaliar a qualidade do permeado de ultrafiltração de efluente final da lagoa facultativa da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mangabeira para reuso não potável.

METODOLOGIA

Efluente sanitário

O efluente final da lagoa facultativa do módulo I da Estação de Tratamento de Efluente (ETE) Mangabeira em João Pessoa (Brasil) foi utilizado como afluente na unidade de ultrafiltração. A ETE Mangabeira consiste em um tratamento preliminar convencional com caixa de areia e gradeamento e um tratamento biológico composto por duas lagoas anaeróbias em paralelo seguida por uma lagoa facultativa (Figura 1). Previamente a membrana de ultrafiltração, o efluente final da lagoa facultativa era bombeado para um tanque de equalização, depois passava por três pré-tratamentos - filtro de areia, filtro de tela e facultativamente pela etapa de floculação.



Figura 1: Estação de Tratamento de Efluente Mangabeira em João Pessoa (Paraíba).

Unidade experimental

A Planta Piloto de Ultrafiltração (PPU) da companhia De.Encon foi utilizada nos experimentos. A PPU é composta basicamente por um filtro de tela, um tanque para o influente, um tanque para o permeado, dois módulos de membranas de ultrafiltração em paralelo, duas bombas de filtração, uma bomba de retrolavagem, bombas de dosagem para adição do floculante, das soluções de limpeza e de ácido para ajuste do pH e medidores de pressão, temperatura, pH e condutividade. Seu funcionamento é automatizado por meio de um controlador programável.

A representação esquemática do sistema de pós-tratamento da ETE Mangabeira é apresentada na Figura 2. Após o influente passar pelas membranas, o permeado era armazenado nos tanques de permeado (I e II) e o concentrado no tanque de rejeito. Todo o rejeito recebido foi bombeado para a lagoa anaeróbia do módulo I.

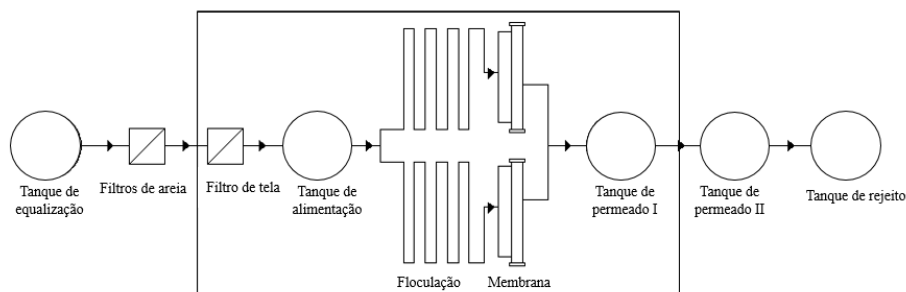


Figura 2: Esquema do sistema de pós-tratamento da ETE Mangabeira.
Retângulo: Delimitação da UPP.

Cada módulo é composto por múltiplas fibras cilíndricas ocas da *Inge Dizzer* (P 4040-4.0). As especificações e condições operacionais da membrana são apresentadas na Tabela 1. A UUP foi operada em diversas condições operacionais, variando-se o fluxo (25, 32,5 e 37,5 L. m⁻². h⁻¹) e a duração (600 e 900 s) da filtração, o fluxo (250 e 260 L/h) e a duração (40 e 60 s) da retrolavagem e a concentração (3, 5 e 6 mg/L) de floculante PAC (Policloreto de alumínio).

Tabela 1. Informações gerais e condições operacionais recomendadas para a membrana *Inge Dizzer* (P 4040-4.0)

Característica	Descrição
Área	4 m ²
Tamanho do poro	0,02 µm
Material	Polietersulfona
Modo de operação	Dentro para fora/ Fluxo perpendicular
Taxa de filtração	60 – 140 L. m ⁻² . h ⁻¹
Duração da filtração	30 – 120 min
Taxa de retrolavagem	> 230 L. m ⁻² . h ⁻¹

Duração da retrolavagem

30 – 60 s

Caracterização

Amostras do efluente bruto, do efluente da lagoa facultativa e do permeado da ultrafiltração foram coletadas semanalmente nos meses de agosto a novembro de 2017, totalizando 17 coletas. As análises de pH, condutividade, sólidos totais e coliformes termotolerantes foram realizadas no Laboratório de Análise e Monitoramento de Efluentes da Cagepa – unidade Mangabeira/PB. E as análises de DQO, DBO₅ e nitrogênio amoniacal foram realizadas no Laboratório de Tecnologia Química (LTQ) da Universidade Federal da Paraíba. Os métodos utilizados em cada análise são apresentados na Tabela 2 (APHA *et al.*, 2005).

Tabela 2: Métodos utilizados por análise.

Parâmetros	Método
Temperatura	Eletrométrico
pH	Eletrométrico
Condutividade	Eletrométrico
Sólidos totais	
Sólidos totais fixos	Gravimétrico
Sólidos totais voláteis	
DBO ₅ ¹	Respirométrico
DQO ²	Refluxo fechado e colorimétrico
Amônia ³	Nessler e colorimétrico
Coliformes termotolerantes	Membrana filtrante

RESULTADOS

ETE Mangabeira

Na Tabela 3 encontram-se as caracterizações do efluente bruto e o efluente final do sistema de lagoas de estabilização da ETE Mangabeira. É possível constatar a elevada eficiência na remoção de matéria orgânica (em termos de DBO₅, DQO e sólidos totais voláteis). O sistema de tratamento também apresenta remoção de amônia (29%) e de coliformes termotolerantes (99%). A condutividade se manteve e o incremento do pH é esperado em razão do elevado consumo de gás carbônico pelas algas na lagoa facultativa.

O efluente final encontra-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente (BRASIL, 2011; PARAÍBA, 1988), nos quais estabelecem um pH entre 5 e 9 e uma DBO₅ máxima de 90 mg. L⁻¹. O parâmetro nitrogênio amoniacal é limitado a 20 mg. L⁻¹ para lançamento de efluentes, mas não é exigível para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários.

Tabela 3: Caracterização dos esgoto doméstico e eficiência da ETE Mangabeira.

Parâmetros	Efluente Bruto			Efluente final			Eficiência média (%)
	n	Média	C. V. (%)	n	Média	C. V. (%)	
Temperatura	11	25,66	1,96	17	25,05	4,81	-
pH	11	7,25	12,19	17	7,67	3,01	-
Condutividade	11	819,91	4,23	17	801,00	11,21	2,31
Sólidos totais	11	615,78	27,51	17	427,38	9,98	30,60
Sólidos totais fixos	11	334,67	18,10	17	287,00	10,87	14,24
Sólidos totais voláteis	11	281,11	57,00	17	140,38	24,06	50,06
DBO ₅	11	401,55	32,45	17	38,35	31,74	90,45
DQO	11	661,36	46,75	17	187,71	26,07	71,62
Nitrogênio amoniacal	11	57,55	19,78	17	40,60	16,89	29,44
Coliformes termotolerantes	9	1,18E+07	19,87	12	7,52E+04	59,70	99,28

n: Número de amostras; C. V.: Coeficiente de variação.

Qualidade do permeado

Os resultados dos parâmetros físicos, químicos e microbiológico analisados, bem como a eficiência de remoção de cada um, são apresentados na Tabela 4. Observa-se elevada remoção de matéria orgânica em termos de DBO₅, DQO e sólidos totais voláteis. O pH, a condutividade e o nitrogênio amoniacal não apresentaram alterações significativas, fato já era esperado uma vez que os íons são permeáveis pela membrana (METCALF e EDDY, 2016).

Tabela 4: Caracterização do permeado e eficiência de remoção da unidade de ultrafiltração no pós-tratamento do esgoto doméstico.

Parâmetros	n	Média	C. V. (%)	Eficiência média (%)
Temperatura	34	25,21	4,65	-
pH	34	7,33	1,76	-
Condutividade	34	793,91	12,14	0,88
Sólidos totais	32	313,91	20,68	26,55
Sólidos totais fixos	32	259,56	14,70	9,56
Sólidos totais voláteis	32	54,34	98,21	61,29
DBO ₅	30	4,83	53,81	87,40
DQO	33	25,45	18,43	86,44
Nitrogênio amoniacal	34	37,32	15,53	8,09
Coliformes termotolerantes	22	0,00	0,00	100,00

n: Número de amostras; C. V.: Coeficiente de variação.

Fan *et al.* (2008), Falsinasi *et al.* (2009) e Zheng *et al.* (2012) constataram uma remoção de de 25% de matéria orgânica com e sem utilização de coagulante. Apesar das elevadas eficiências de remoção de matéria orgânica em comparação com a literatura citada anteriormente, a taxa e a duração de filtração são abaixo dos limites recomendados pelo fabricante (Tabela 1), indicando a formação de incrustações irreversíveis com fluxos mais altos. Os fluxos de alimentação são semelhantes aos aplicados por Bourgeois *et al.* (2001) para efluente sanitário de decantador primário.

Tal fato ocorre em razão da presença elevada de algas e sólidos suspensos no efluente da ETE Mangabeira. Consequentemente, a incrustação resultante reduz também a vida útil das membranas por requerer limpezas químicas mais frequentes. Para tanto, uma etapa de tratamento antes da ultrafiltração seria necessária para reduzir a quantidade de sólidos suspensos do efluente. Outro parâmetro a ser reduzido é o nitrogênio amoniacal. A construção de uma lagoa de maturação ou a instalação de biofilmes na lagoa facultativa podem auxiliar na viabilização desta combinação.

Considerações sobre o reuso

As lagoas de estabilização podem atingir os padrões de reuso agrícola, mas a cidade de João Pessoa possui uma pequena demanda para irrigação. Por outro lado, a cerca de 15 km da ETE Mangabeira fica o distrito industrial da cidade, o que favorece o reuso industrial. Uma alternativa para viabilizar o reuso industrial é a utilização de membranas filtrantes, como exemplo de reuso industrial brasileiro, a empresa Aquapolo instalada na cidade de São Paulo (SP), utiliza membranas de ultrafiltração para produzir uma vazão de 650 L. s⁻¹ para o polo petroquímico a 17 km.

No Brasil, a regulamentação do reuso ainda está em andamento. A resolução 54/2004 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos estabelece critério gerais para a prática de reuso direto não potável (Brasil, 2005). A nível nacional, a única norma referente a aplicação de reuso de água a nível nacional é a NBR 13.969/97 (Brasil, 1997) Esta norma estabeleceu critérios para a reutilização de esgoto doméstico para fins não potáveis, cujos parâmetros regulados são a turbidez, coliformes termotolerantes, sólidos totais dissolvidos, pH, cloro residual e oxigênio dissolvido. Contudo, esta norma está ultrapassada, uma vez que há limites maiores para a água de abastecimento humano. A nível estadual, tem-se a Resolução n° 02/2017 da Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) do Ceará que estabelece modalidades e parâmetros específicos (coliformes termotolerantes, ovos de geohelmintos, condutividade elétrica, pH e razão de adsorção de sódio) para o reuso externo de efluentes sanitários (Ceará, 2017). A ausência de um arcabouço legal sólido dificulta a disseminação da prática de reuso no país. Uma alternativa é a adoção de padrões internacionais.

Comparando-se os limites estabelecidos com normas e apenas os parâmetros analisados, o permeado da membrana de ultrafiltração poderia ser aplicado nas classes 3 e 4 da NBR 13.969/97 e em todas as modalidades da Resolução n° 02/2017. Entretanto, ressalta-se que o parâmetro nitrogênio amoniacal deve ser alvo de remoção ou de estudo para viabilidade destes reusos, uma vez que está realocando com o processo de eutrofização das águas.

CONCLUSÃO

A ETE mangabeira atende aos limites estabelecidos pela legislação vigente, em termos de pH e DBO₅. A qualidade do permeado da membrana de ultrafiltração apresenta baixas concentrações de matéria orgânica em termos de DQO e DBO₅ e ausência de coliformes termotolerantes, enquadrando-se em algumas classes para reúso. Ressalva-se que a remoção de nitrogênio amoniacal pode ser necessária.

A elevada carga orgânica e a presença de sólidos suspensos e algas prejudicam o funcionamento, impossibilitando o alcance das condições recomendadas pelo fabricante da membrana. Uma alternativa é a adição de uma etapa de tratamento antes da membrana, como uma lagoa de maturação ou biofilme.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Apha, Awwa, WEF. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19ª Edition, American Public Health Association. Washington, DC.
2. Brasil. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação.
3. Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2011). *Resolução n° 430 de 13 de maio de 2011*.
4. Brasil. Conselho Nacional do Recursos Hídricos. (2005). *Resolução n° 54, de 28 de novembro de 2005*.
5. Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. (2018). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2016*.
6. Bourgeus, K. N., Darby, L., Tchobanoglous, G. (2001). Ultrafiltration of wastewater: effects of Particles, mode of operation, and backwash effectiveness. *Water resources* 35 77-90. doi: 10.1016/S0043-1354(00)00225-6.
7. Ceará. Conselho Estadual de Meio Ambiente. (2017). *Resolução n° 02, de 02 de fevereiro de 2017*.
8. Chen, J. P., Kim, S. L., Ting, Y. P. Optimization of membrane physical and chemical cleaning by a statistically designed approach. *Journal of Membrane Science* 219 27-45. doi: 10.1016/S0376-7388(03)00174-1.
9. Falsanisi, D., Liberti, L., Notarnicola, M. (2009). Ultrafiltration (UF) pilot plant for municipal wastewater reuse in agriculture: impact of the operation mode on process performance. *Water* 1 872-885. doi: 10.3390/w2040872.
10. Fan, L., Nguyen, T., Roddick, F. A., Harris, J. L. (2008). Low-pressure membrane filtration of secondary effluent in water reuse: Pre-treatment for fouling reduction. *Journal of Membrane Science* 320 135-142. doi: 10.1016/j.memsci.2008.03.058.
11. Filloux, E., Teychene, B., Tazi-Pain, A., Croue, J. P. (2014). Ultrafiltration of biologically treated domestic wastewater: How membrane properties influence performance. *Separation and Purification Technology* 134 178-186. Doi: 10.1016/j.seppur.2014.07.043.
12. Fuentes-Barques, J. L. (2014). Analysis of the process of environmental impact assessment for seawater desalination plants in Spain. *Desalination* 347 166-174. Doi: 10.1016/j.desal.2014.05.032.
13. Itokama, H., Tsuji, K., Yamashita, K., Hashimoto, T. (2014). Design and operating experiences of full-scale municipal membrane bioreactors in Japan. *Water Science & Technology* 69 (5) 1088-1093. doi: 10.2166/wst.2014.020.
14. Metcalf, L., Eddy, H. P. (2016). Capítulo 11. *Processos para remoção de contaminantes residuais*. Em: *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. 5ª edição (Tradução: Ivanildo Hespanhol e José Carlos Mierzwa). Porto Alegre, AMGH. ISBN: 0073401188/97800073401188.
15. Paraíba. Superintendência de Administração do Meio Ambiente. (1988). *Norma Técnica n° 301, de 24 de fevereiro de 1988*.
16. Zheng, X., Plume, S., Ernst, M., Croué, J-P., Jekel, M. (2012). In-line coagulation prior to UF of treated domestic wastewater – foulants removal, fouling control and phosphorus removal. *Journal of Membrane Science* 403-404 129-139. doi:10.1016/j.memsci.2012.02.051.