

SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS EM PÓS TRATAMENTO DE ESGOTOS PARA PRODUIR ÁGUA DE REÚSO PARA INDÚSTRIA E MEIO URBANO

Layane Priscila de Azevedo Silva¹; Cícero Onofre de Andrade Neto²; Weliton Freire Bezerra Filho³; Dayana Melo Torres⁴

Resumo – Neste trabalho avalia-se o desempenho de membranas de microfiltração e osmose reversa na remoção de componentes de esgoto efluente de reatores biológicos, nas formas suspensa e dissolvida, com o objetivo de utilizar os permeados gerados como água de reúso, no meio urbano e na indústria. Foram realizados três ensaios, em três semanas de experimentos, em dois módulos de membranas, em escala piloto e com capacidade de 50 litros de alimentação por batelada. As membranas apresentaram alta taxa de recuperação de permeado: 88% na microfiltração e 80% na osmose reversa. A membrana de microfiltração removeu satisfatoriamente turbidez e coliformes termotolerantes do esgoto efluente de biofiltros aerados, sendo capaz de atender aos padrões de qualidade para reúso urbano não potável restrito e irrestrito. Já a osmose reversa reteve quase toda a concentração de sais do efluente da microfiltração, se mostrando eficiente para produzir água de reúso para processos industriais, que demandam água desmineralizada. A utilização da osmose reversa no pós-tratamento de águas residuárias também é importante para diminuir os efeitos da eutrofização e salinização de corpos hídricos, já que retém poluentes na forma de sais dissolvidos.

Palavras-Chave – microfiltração, osmose reversa e reúso.

SEPARATION MEMBRANES BY POST IN SEWAGE TREATMENT TO PRODUCE WATER REUSE FOR INDUSTRY AND URBAN AREAS

Abstract – In this paper we evaluate the performance of microfiltration membranes and reverse osmosis in removing components sewage effluent biological reactors, suspended and dissolved forms, with the goal of using permeated generated as water reuse in urban and industrial. Assays were conducted at three weeks of experiments, two membrane modules, pilot scale and able to supply 50 liters per batch. The membranes showed high permeate recovery rate: 88% in microfiltration and reverse osmosis 80%. The microfiltration membrane removed satisfactorily turbidity and fecal coliforms from sewage effluent aerated biofilters, being able to meet the standards for non-potable urban reuse restricted and unrestricted. Already a reverse osmosis retained almost all the salt concentration of the effluent microfiltration, is demonstrating effectiveness in producing reclaimed water for industrial processes that require demineralized water. The use of reverse osmosis in the post-treatment of wastewater is also important to reduce the effects of eutrophication and salinization of water bodies, since it retains pollutants in the form of dissolved salts.

Keywords – microfiltration, reverse osmosis, reuse.

¹ Bióloga, Mestranda em Engenharia Sanitária na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. E-mail: layane_azevedo@hotmail.com.

² Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Sanitária, Doutor em Recursos Naturais. Professor Associado da UFRN.

³ Estatístico. Mestre em Engenharia Sanitária. Doutorando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal do Ceará.

⁴ Bióloga, Tecnóloga em Gestão Ambiental, Mestre em Engenharia Sanitária, Doutoranda em Engenharia Ambiental (UEPB). Professora do Instituto Federal em Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas.

INTRODUÇÃO

O reúso controlado de água é um importante instrumento da gestão de recursos hídricos. A reutilização de água residuárias é tendência mundial, em virtude do presente quadro de escassez e má distribuição de água, em algumas regiões. Com isso é preciso buscar fontes alternativas de água, para atender a demanda industrial, agrícola e urbana.

Segundo a UNESCO (2009), toda a água utilizada no mundo provém dos seguintes recursos: 73,42% dos recursos hídricos superficiais, 19,02% das fontes subterrâneas, 4,82% do reaproveitamento de águas de drenagem, 2,41% do reúso de águas residuárias e 0,34% dos processos de dessalinização. Como demonstram os dados, ainda é bastante discreta a porcentagem de reutilização dos esgotos, apesar de haver tecnologia apropriada e inúmeros estudos comprovando a viabilidade e confiabilidade da prática de reúso.

Os usos propostos para água de reúso (geralmente esgoto tratado) devem ser definidos em função da qualidade de água disponível, assim como a água reutilizada deve obedecer a parâmetros estabelecidos para cada uso previsto. A forma mais difundida de reutilização de águas residuárias é a irrigação agrícola, que além da economia de água potável, ainda tem como vantagem o aporte de nutrientes ao cultivo. Porém, há várias outras modalidades de uso (reúso) para o esgoto tratado. A agência de proteção ambiental dos EUA, USEPA (2012), cita, entre outras modalidades, o reúso urbano não potável, restrito e irrestrito, e o industrial. No reúso urbano não potável irrestrito é possível a irrigação de áreas recreacionais (campos de golfe, tênis, playground e outros), descarga de toaletes, sistema de proteção contra incêndio, limpeza de veículos e ruas, sistemas de ar condicionado e uso em valorização ambiental, como lagos e fontes urbanas (OKUN, 2000). Já para a modalidade restrita, onde não pode haver contato primário entre a água de reúso e pessoas, os usos previstos são: irrigação de parques e canteiros de rodovias; usos ornamentais e paisagísticos, em áreas com acesso controlado ou restrito ao público; e usos na construção civil, como controle de poeira, compactação do solo, preparo de argamassa e concreto etc. Na indústria, o esgoto tratado tem sido utilizado para fins que vão desde água de processo, água de alimentação de caldeiras e refrigeração, descargas em sanitários e irrigação de áreas verdes (USEPA, 2012).

A tecnologia de filtração em membranas possibilita a aplicação de esgoto tratado (água de reúso) em muitas finalidades, pois são capazes de remover grande variedade de componentes presentes nos esgotos, desde sólidos em suspensão até pequenos compostos orgânicos e íons.

Os tipos de membranas mais empregados são a de Microfiltração (MF), de Ultrafiltração (UF), de Nanofiltração (NF) e de Osmose Reversa (OR). Os principais fatores para classificação de cada tipo de membrana são: características da própria membrana (tamanho do poro), tamanho e carga das partículas, moléculas retidas e a pressão exercida sobre a membrana (VAN DER BRUGGEN *et al.*, 2003). Nesse trabalho foram utilizadas as membranas de MF e OR. Como regra geral, a microfiltração é adequada para remoção de sólidos em suspensão, incluindo microorganismos maiores, como protozoários e bactérias; a osmose reversa é apropriada para remoção de todas as espécies dissolvidas (WINTENGS *et al.*, 2005).

O processo de separação seletiva dos componentes se dá pela passagem de uma solução através da membrana, sob o efeito de uma força motriz, que proporcione o transporte de matéria. Nesse processo há separação de um permeado e um concentrado. A qualidade do permeado depende da qualidade da água de alimentação, do método de pré-tratamento e dos procedimentos de limpeza utilizados (GONZÁLEZ *et al.*, 2012).

Para Wintengs *et al.* (2005), o permeado de membranas atende aos mais elevados padrões de qualidade de água para fins de reúso. Tipicamente, estas aplicações incluem recarga do aquífero, reúso urbano não potável, residências com duplo sistema de água (descargas sanitárias, lavagem de

pisos e calçadas) e água para processos industriais (refrigeração e outros). MF é empregada para retenção microbiana e pré-tratamento para OR.

Justifica-se o emprego das membranas no tratamento de esgoto em função da economia de água gerada, ao utilizar o permeado de membranas nos meios urbano e industrial, e também pela diminuição da poluição hídrica, através da retenção de nutrientes eutrofizantes e outros sais em membranas de alta pressão. Aliado a isso tem se observado, nos últimos anos, uma diminuição no custo de aquisição desses equipamentos.

Pelos mesmos motivos justifica-se o objetivo deste trabalho, que é avaliar o permeado de membranas de MF e OR, utilizadas no pós-tratamento de esgoto doméstico, para fins de uso (reúso) no meio urbano e na indústria.

No Brasil, é insipiente o conteúdo legislativo para fixar princípios e critérios sobre reúso de água, por isso as pesquisas sobre essa temática são orientadas pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e agências de proteção ambiental de outras nações. Em nosso país, o PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico avançou muito com as pesquisas sobre reúso de água durante mais de 10 anos e em treze estados brasileiros. A discussão e os resultados de todo esse trabalho estão registrados em vários livros e artigos desenvolvidos pelos colaboradores do programa.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas membranas de Microfiltração (MF) e de Osmose Reversa (OR), como pós-tratamento de esgoto previamente tratado em reatores biológicos. Esses reatores fazem parte de uma ETE experimental, instalada no campus central da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, composta por decanto digestor seguido de filtro anaeróbio e dois filtros aerados submersos, com eletrodutos corrugados cortados como material de enchimento. O esgoto afluente à ETE é essencialmente doméstico, proveniente das residências universitárias, do departamento de educação física, do restaurante universitário e do pousou universitário do referido campus.

As membranas foram instaladas no laboratório da unidade experimental. O efluente final da ETE alimentou a membrana de MF, enquanto o permeado dessa membrana serviu como afluente da OR. Os permeados dessas duas membranas foram avaliados a fim de verificar os usos possíveis dessa água no meio urbano e na indústria.

Foram utilizados dois módulos de membrana, um de MF e outro de OR, ambos em escala piloto, com capacidade de cinquenta litros de alimentação por batelada. A membrana de MF é de fibra oca e a de OR possui configuração espiral.

Os módulos consistem em: estruturas para suporte das membranas; tanques de alimentação e armazenamento, conjunto de tubulações e conexões, bomba centrífuga, painel elétrico e painel hidráulico.

Os ensaios de filtração aconteceram em batelada, com testes em triplicata, totalizando três semanas de experimentos. Cada batelada era realizada com quarenta litros de volume de alimentação. Durante a filtração, o líquido que alimentou a membrana recirculava pelo módulo, gerando um concentrado; já o filtrado (permeado) era direcionado para o tanque de permeado. Quando era atingindo o nível mínimo no tanque de alimentação, que corresponde ao concentrado, o sistema era desligado automaticamente. Após isso eram recolhidas alíquotas do permeado e do concentrado para análise em laboratório.

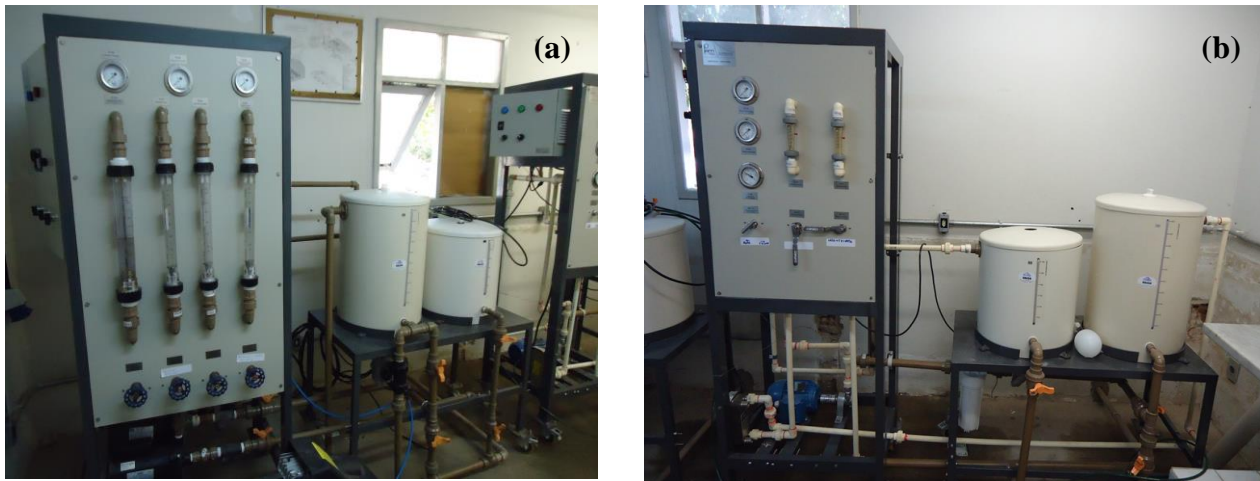


Figura 1 – Módulo de microfiltração (a) e módulo de osmose reversa (b).

Tabela 1: Principais características das membranas de MF e OR.

Membrana	Configuração	Material de fabricação	Pressão de alimentação (bar)	Retenção*	Taxa de recuperação de permeado
MF	Fibras ocas	Poliéter sulfona	0,5	99,9% de retenção para microorganismos e sólidos suspensos.	88%
OR	Espiral	Poliimida	6,0	> 97% para sais.	80%

*Informado pelo fabricante



Figura 2 – Membrana de microfiltração (a) e membrana de osmose reversa (b).

A coleta de amostras era realizada sempre na primeira batelada. Foi necessário realizar uma segunda batelada em MF, com apenas vinte litros, com o objetivo de gerar os quarenta litros de permeado para alimentar a OR, padronizando assim os experimentos. Os ensaios de filtração, bem como a limpeza química das membranas, eram realizados semanalmente. Para limpeza de MF foi utilizado hipoclorito de sódio (300 mg/L) e a membrana de OR foi limpa com hidróxido de sódio

1N (pH 10). Após uma hora desse procedimento eram realizadas diversas filtrações com água limpa, para retirar o excesso de produto químico que tenha ficado retido no módulo.

Os parâmetros avaliados nesse trabalho são alcalinidade, bicarbonatos, pH, cálcio, magnésio, cloretos, condutividade, fósforo total, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, nitrogênio amoniacal, nitrato, turbidez e coliformes: (APHA *et. al.*, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vários parâmetros foram medidos durante os experimentos com o sistema piloto de membranas, a fim de identificar a qualidade dos permeados. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros monitorados no esgoto tratado da ETE experimental e permeados das membranas de MF e OR.

Tabela 2: Medianas dos resultados.

Parâmetros	Unidade	Afluente MF	Permeado MF	Remoção	Afluente OR	Permeado OR	Remoção
Alcalinidade	mg/L CaCO ₃	50	45	10%	45	6	86,7%
Bicarbonatos	mg/L	61	54,9	10%	54,9	7,3	86,7%
pH	-	6,7	6,5	-	6,5	5,4	-
Cálcio	mg/L	6,5	6,3	3%	6,3	0	100%
Magnésio	mg/L	17,8	15,4	13,5%	15,4	0,5	96,8%
Condutividade	(µS/cm)	707,6	690,7	2,4	690,7	30,7	95,6%
Cloretos	mg/L	8,5	8,5	0%	8,5	0	100%
Fósforo total	mg/L	11,8	10	15,3%	10	0	100%
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	740,8	493,2	33,4%	493,2	198,6	59,7%
Sólidos suspensos totais	mg/L	1,1	0,8	27,3%	0,8	0	100%
Nitrogênio amoniacal	mg/L	13,7	13,7	0%	13,7	0,5	96,4%
Nitrato	mg/L	22,8	19,5	14,5%	19,5	1,8	90,8%
Turbidez	NTU	1,2	0,2	83,3%	0,2	0	100%
Coliformes termotolerantes	UFC/100 mL	11,4E+03	13,0E+00	99,9%	13,0E+00	0	100%

A maioria dos resultados obtidos está compatível com o percentual de retenção informado pelo fabricante.

A membrana de MF foi eficiente na desinfecção do efluente, bem como na remoção da turbidez. Esse tipo de membrana também é apropriado para retenção de sólidos suspensos, o que não foi evidenciado nesses experimentos, uma vez que o esgoto tratado na ETE experimental já apresenta baixíssima concentração de sólidos suspensos e turbidez. Segundo Araújo *et al.* (2009), atribui-se esses bons resultados às características dos filtros aerados submersos, que possuem uma elevada idade de lodo, e a não ocorrência de cisalhamento no meio filtrante.

O permeado de OR apresentou retenção acima de 90% para quase todos os resultados, com exceção da alcalinidade, bicarbonatos e sólidos dissolvidos. Madaeni e Eslamifard (2010), tendo como alimentação efluente sanitário e utilizando filtro de cartucho como pré-tratamento à OR, obtiveram remoção superior a 98% para esses parâmetros.

Tabela 3: Padrões de qualidade de água para reúso urbano não potável irrestrito estabelecido pelos estados da Virgínia e da Flórida - EUA.

Parâmetros	Valores limite	
	Virgínia	Flórida
DBO ₅ (mg/L)	10	20
Sólidos suspensos totais (mg/L)	Não especificado	5
Turbidez (NTU)	2	2
Coliformes fecais (UFC/100 mL)	11	25

Fonte: Adaptado de USEPA (2012).

No reúso urbano não potável irrestrito é provável a exposição à água reutilizada, requerendo, assim, um elevado grau de tratamento. Em geral, todas as especificações sobre o processo de tratamento requerem um mínimo de tratamento secundário e desinfecção, antes de reúso urbano irrestrito. No entanto, a maioria dos estados norte-americanos exige níveis adicionais de tratamento, que pode incluir a oxidação, coagulação e filtração (USEPA, 2012).

O permeado da membrana de MF atende satisfatoriamente às exigências estabelecidas, de acordo com a Tabela 3. Porém é preciso verificar a eficiência de remoção de DBO em MF, o que não foi possível nessa pesquisa. Barbosa (2009) submeteu efluente sanitário de uma ETE de lodos ativados à microfiltração e obteve uma remoção de 60% de DBO. Ahn e Song (2000) investigaram a aplicação da MF no tratamento de água residuárias para reutilização num resort. Com a análise do permeado, os autores concluíram que a água recuperada seria adequada para aplicações secundárias, como descargas sanitárias dos banheiros.

O permeado da OR, por sua vez, apresentou qualidade bem superior à exigida pelos padrões internacionais para reúso urbano não potável irrestrito.

Em relação ao reúso urbano restrito, quase todos os estados dos EUA que possuem regulamentação consideram os mesmos requisitos do reúso urbano não potável irrestrito (USEPA, 2012).

Tabela 4: Qualidade da água recomendada para torres de resfriamento.

Parâmetro	Unidade	Sem recirculação	Com recirculação
		Água doce	Água doce
Cálcio	mg/L	200	50
Magnésio	mg/L	*	*
Nitrogênio amoniacal	mg/L	*	*
Bicarbonatos	mg/L	600	24
Cloretos	mg/L	600	500
Sólidos dissolvidos	mg/L	1000	500
Dureza	mg/L	850	650
Alcalinidade	mg/L	500	350
pH		5,0 a 8,3	*
Oxigênio dissolvido	mg/L	Presente	*
Temperatura	°C	*	*
Sólidos suspensos	mg/L	5000	100

*Aceito como recebido, desde que atendidos os outros valores limites.

Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy (2003).

Tabela 5: Qualidade da água recomendada para caldeiras.

Parâmetro	Unidade	Baixa pressão	Pressão intermediária	Alta pressão
Cálcio	mg/L	*	0,4	0,01
Magnésio	mg/L	*	0,25	0,01
Nitrogênio amoniacal	mg/L	0,1	0,1	0,1
Bicarbonatos	mg/L	170	120	48

Cloretos	mg/L	*	*	*
Sólidos dissolvidos	mg/L	700	500	200
Dureza	mg/L	350	1	0,07
Alcalinidade	mg/L	350	100	40
pH		7 a 10	8,2 a 10	8,2 a 9
Oxigênio dissolvido	mg/L	2,5	0,007	0,007
Temperatura	°C	*	*	*
Sólidos suspensos	mg/L	10	5	0,5

*Aceito como recebido, desde que atendidos os outros valores limites.

Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy (2003).

O elevado grau de pureza do permeado das membranas de OR possibilita a aplicação dessa água na indústria, inclusive dentro do próprio processo industrial.

Conforme o padrão de qualidade de água para torres de resfriamento (Tabela 4), o permeado de OR utilizada no pós-tratamento de efluente doméstico pré-tratado em reatores biológico é amplamente viável. Para a alimentação de caldeiras apenas o nitrogênio amoniacal não se enquadrou no proposto por Metcalf e Eddy (2003), porém a diferença de concentração do permeado foi muito pequena, em relação à concentração indicada (0,4 mg/L), numa situação como essa poderia tentar melhorar a eficiência do tratamento ou rever o padrão de qualidade, para adequar o uso.

Madaeni e Eslamifard (2010) submeteram o efluente sanitário de um pólo petroquímico a um pré-tratamento com filtro de cartucho e depois passaram pela OR. Os autores concluíram que o permeado dessa membrana era viável para reúso dentro do próprio pólo, para aplicação em torres de resfriamento e também em outros processos da indústria petroquímica que demandam água desmineralizada, como a alimentação de caldeiras.

CONCLUSÕES

O sistema de microfiltração é suficientemente eficiente na retenção de sólidos suspensos e turbidez. O permeado dessa membrana, utilizada no pós-tratamento de efluente sanitário, é adequado para uso como água de reúso não potável no meio urbano, nas modalidades restrito e irrestrito.

A osmose reversa é adequada para retenção de sais e demais formas dissolvidas, de modo que seu permeado pode ser aproveitado tanto no meio urbano quanto em processos industriais.

A utilização de membrana de osmose reversa para pós-tratamento de esgotos sanitários também é importante para diminuir os efeitos da eutrofização e salinização de corpos hídricos, já que retém poluentes na forma de sais dissolvidos.

A taxa de recuperação de permeado nos processos de separação em membranas é elevada, acima de 80%. Quanto maior a taxa de recuperação, maior será o volume disponível para reúso.

REFERÊNCIAS

- a) AHN, K. H.; SONG, K. G. (2000). Application of microfiltration with a novel fouling control method for reuse of wastewater from a large-scale resort complex. *Desalination*, v. 129, p.207-216.
- b) AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF.

- (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20ed. Washington DC.
- c) ARAÚJO, R. F. de.; ANDRADE NETO, C. O. de; DELGADO, T. C.; SILVA, H. N. da; MEDEIROS, I. B. de A. (2009). Uso de filtros aerados rudimentares para oxidação de nitrogênio amoniacal contido em efluentes de reatores anaeróbios. In *Anais do 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Recife, Set. 2009.
- d) BARBOSA, I. L.(2009). *Avaliação de processos de separação por membranas para geração de águas de reúso em um centro comercial*. Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- e) GONZÁLEZ, A. P. et al. (2012). State of the art and review on the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates. *Water Research*, v. 46, p.267-283.
- f) MADAENI, S. S.; ESLAMIFARD, M. R. (2010). Recycle unit wastewater treatment in petrochemical complex using reverse osmosis process. *Journal of Hazardous Materials* v. 174, p.404-409.
- g) METCALF & EDDY (2003). *Wastewater engineering, treatment and reuse*. McGraw-Hill Companies: New York.
- h) OKUN, D. A. (2000). Water reclamation and unrestricted nonpotable reuse: a new tool in urban water management. *Public Health*, [s.l], v. 21, p 223-245.
- i) UNESCO. *The United Nations World Water Development Report 3. Water In Changing World*. 2009.
- j) USEPA. U.S. Environmental Protection Agency. *Guidelines for Water Reuse*. EPA/600/R-12/618. September 2012.
- k) VAN DER BRUGGEN, B. *et al.* (2003). A Review of Pressure-Driven Membrane Processes in Wastewater Treatment and Drinking Water Production. *Environmental Progress* v. 22, p.46-56.
- l) WINTGENS, T. *et al.* (2005). The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse. *Desalination*, Aachen, v. 178, p.1-11.