

## **II-342 – PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE SANITÁRIO COM MEMBRANA DE ULTRAFILTRAÇÃO VISANDO REÚSO URBANO NÃO POTÁVEL**

**Layane Priscila de Azevedo Silva<sup>(1)</sup>**

Bióloga e Mestra em Engenharia Sanitária pela UFRN. Analista em Saneamento da A&E Equipamentos e Serviços Ltda.

**Hélio Rodrigues dos Santos**

Engenheiro Civil pela UFRN. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP. Pós-doutorado pela University of Leeds. Professor Associado da UFRN.

**Marcos André Capitulino de Barros Filho**

Engenheiro Ambiental e Mestre em Engenharia Sanitária pela UFRN. Professor da Universidade Potiguar, Campus Natal.

**Francisco Rafael Sousa Freitas**

Tecnólogo em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Faculdade de Tecnologia - CENTEC. Engenheiro Ambiental e Mestre em Engenharia Sanitária pela UFRN. Professor efetivo do IFCE, Campus Sobral.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Eng. João H. A. Rocha, 820 – Bl 10 Apto 306 – Planalto – Natal – RN – CEP: 59073-070 – Brasil – Tel: (84) 3227-3768 – e-mail: [layane\\_azevedo@hotmail.com](mailto:layane_azevedo@hotmail.com)

### **RESUMO**

O Brasil é um país em crescente urbanização. É no meio urbano que os conflitos pelo uso da água se tornam mais intensos, e onde as ações antrópicas são mais severas, resultando no comprometimento da qualidade das águas. Nesse contexto, o reúso urbano não-potável é uma potencial fonte de recursos hídricos, pois sua utilização proporciona a redução de captação de água dos mananciais superficiais e subterrâneos, e apresenta-se como uma alternativa de abastecimento para inúmeras atividades, inclusive já regulamentadas, em alguns estados. Geralmente, as estações de tratamento de esgotos a nível secundário, sozinhas, não atendem aos padrões exigidos para essa modalidade de reúso, sobretudo na condição de acesso irrestrito. Desta forma, os processos de filtração em membranas, principalmente de baixa pressão, mostram-se como uma tecnologia com maior capacidade para adequar os efluentes dessas estações a tal uso. A membrana ultrafiltração é capaz de obstruir a passagem de macromoléculas orgânicas e microrganismos, com elevada eficiência, constância na qualidade da água produzida, baixa utilização de produtos químicos, pouco espaço necessário para as instalações e a facilidade de automação e operação do sistema. Diante disso, este trabalho avaliou a aplicabilidade dessa membrana para o reúso urbano não potável, quando utilizada no pós-tratamento de efluentes sanitários tratados em nível secundário. Para isso foram realizados ensaios de filtração, sendo a membrana alimentada com o efluente desse sistema. O filtrado foi analisado em laboratório, a fim de comparar a sua qualidade com a exigida pelas legislações ambientais abordadas. Dentre os parâmetros analisados, os resultados se mostraram satisfatórios para retenção de DBO, sólidos suspensos, turbidez e coliformes termotolerantes, mas pouco representativo para aqueles relacionados a íons dissolvidos. Esse comportamento testificou a capacidade da ultrafiltração na remoção de matéria orgânica, materiais flutuantes e microrganismos patogênicos, requisito essencial para o tipo de reúso proposto. Sendo assim, o permeado da UF se mostrou adequado para o reúso não potável no meio urbano, nas modalidades restrita e irrestrita, atendendo regulamentações tanto a nível nacional quanto internacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esgoto sanitário, Reúso não potável, Reúso urbano, Ultrafiltração.

### **INTRODUÇÃO**

A crescente urbanização impõe grandes desafios à sociedade. À medida que as populações aumentam, as necessidades, em termos de recursos hídricos e saneamento, também crescem. De acordo com o último censo demográfico, 84,4% da população brasileira vive no meio urbano (BRASIL, 2010).

Segundo Pereira e Paula Júnior (2014), é no meio urbano que os conflitos pelo uso da água se tornam mais intensos, e onde as ações antrópicas são mais severas, resultando no comprometimento da qualidade das águas, principalmente devido ao uso e ocupação do solo no entorno das bacias, muitas vezes de forma desordenada. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), 55% dos municípios brasileiros podem sofrer com a falta d'água até 2035 (BRASIL, 2017).

Nesse contexto, o reúso controlado do esgoto tratado para usos não-potáveis é uma potencial fonte de recursos hídricos, que pode se tornar importante no futuro próximo. Essa prática proporciona a redução de captação de água dos mananciais superficiais e subterrâneos e apresenta-se como uma fonte alternativa de água para inúmeras atividades, já regulamentadas, como as aplicadas no meio urbano.

No Brasil, a resolução Nº 54, do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos (CNRH), estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água (Brasil, 2005), mas não especifica qualquer parâmetro de qualidade ou tecnologia mínima de tratamento. Embora ainda não exista uma lei federal nesse sentido, já houve avanços, por exemplo, no estado de São Paulo, onde foram aprovadas resoluções que determinam as concentrações máximas dos indicadores no esgoto tratado para o reúso urbano não potável, como a resolução conjunta SVDS/SMS (Secretaria Verde Desenvolvimento Sustentável/Secretaria Municipal de Saúde) Nº 09/2014, do município de Campinas (Campinas, 2014), e a resolução conjunta SES/SMA/SSRH (Secretaria Estadual de Saúde/Secretaria de Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos) Nº 01/2017, em âmbito estadual (SÃO PAULO, 2017).

Internacionalmente, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos da América (EUA) apresenta importantes contribuições sobre a temática do reúso, reunindo regulamentações de vários estados dos EUA, para diversos tipos de atividades, em um manual específico sobre reúso. Para o meio urbano, são apontadas as seguintes modalidades: acesso irrestrito, que inclui 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; e acesso restrito, que compreende 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. (EPA, 2012).

Para atender aos padrões para reúso urbano não potável, as tecnologias de tratamento necessitam apresentar uma eficiência que atenda tais exigências. As estações de tratamento em nível secundário, sozinhas, geralmente não atendem aos padrões exigidos para reúso urbano não potável, principalmente na condição de acesso irrestrito. Desta forma, os processos de filtração em membranas de baixa pressão mostram-se como uma das alternativas com maior capacidade para adequar os efluentes dessas estações para tal uso, devido, principalmente, à grande eficácia na retenção de sólidos em suspensão e microrganismos.

A ultrafiltração (UF) é uma membrana de baixa pressão, capaz de obstruir a passagem de macromoléculas orgânicas e microrganismos (WINTGENS et al., 2005). Entre outras vantagens, estão: elevada eficiência, constância na qualidade da água produzida, baixa utilização de produtos químicos, pouco espaço necessário para as instalações e a facilidade de automação e operação do sistema (XIA et al., 2005). Além disso, a UF possui um menor consumo energético e custo de aquisição, quando comparada às membranas de alta pressão, como a nanofiltração ou a osmose reversa. Apesar da microfiltração também se caracterizar como um processo de baixa pressão, ela possui um desempenho inferior, pois não consegue reter completamente os microrganismos do esgoto, diferentemente da UF, que é capaz de desinfetar o efluente, removendo inclusive os vírus (TEIXEIRA, 2001).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicabilidade da membrana de UF para o reúso urbano não potável, quando utilizada no pós-tratamento de efluentes sanitários tratados em nível secundário.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para atingir o objetivo desta pesquisa foram realizados, inicialmente, ensaios de filtração em uma unidade piloto UF, com o efluente de um sistema de tratamento de esgoto em nível secundário. Os principais parâmetros operacionais adotadas estão apresentados na tabela 1.

Os experimentos foram realizados em batelada, com testes em triplicata, sendo mantidos os parâmetros operacionais em cada um deles. Ao fim de cada batelada de filtração, o filtrado (permeado) era analisado em laboratório, a fim de comparar a sua qualidade com a exigida pela legislação ambiental, para o reúso urbano não potável.

**Tabela 1: Principais parâmetros operacionais.**

Número de ensaios	3
Volume de esgoto por batelada	40 litros
Pressão de operação	0,8 bar
Fluxo de permeado	50,4 L/m <sup>2</sup> .h

A unidade de UF foi alimentada com o efluente de uma ETE piloto, com tratamento em nível secundário. A unidade, instalada no campus central da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), era composta por: um decanto-digestor acoplado a um filtro anaeróbio de fluxo ascendente com enchimento de brita, seguido por dois filtros anaeróbios em paralelo e dois filtros aerados submersos em série, sendo o primeiro de fluxo ascendente e o segundo descendente, ambos tendo conduítes corrugados cortados como material suporte. O esgoto afluente à ETE tinha características similares às do esgoto doméstico, e era proveniente das residências universitárias, do departamento de educação física, e do restaurante universitário do referido campus. O efluente final dela alimentou a membrana de UF.

O módulo de UF consistia em: estruturas para suporte da membrana; tanques de alimentação e armazenamento, conjunto de tubulações e conexões, bomba centrífuga, painel elétrico e hidráulico. Ele foi instalado no laboratório da unidade experimental, e tinha capacidade para cinquenta litros de alimentação por batelada. A configuração da membrana de UF era de fibras ocas, com material de fabricação em poliéter sulfona.

Os ensaios de UF eram iniciados a partir da limpeza química da membrana, para assim garantir a uniformidade em todos os ensaios, sem interferência de algum volume morto da batelada anterior. Para isso eram preparados quarenta litros de solução de hipoclorito de sódio, com concentração de 300 mg/L. Essa solução era inserida no tanque de alimentação da membrana, e circulava pelo módulo por uma hora. Após esse procedimento, eram realizadas três filtrações sequenciais com água potável, proveniente do sistema de abastecimento da UFRN, com duração de vinte e cinco minutos, cada.

No segundo dia após a limpeza química era feita a filtração da amostra, o efluente secundário, que era inserido no módulo de membrana por bombeamento. O concentrado recirculava para o tanque de alimentação, enquanto o permeado seguia para o tanque de armazenamento. Quando atingindo o nível mínimo no tanque de alimentação, por meio da boia existente, encerrava-se o processo e o sistema era desligado automaticamente. Após isso, o permeado era encaminhado para análises laboratoriais.

Os parâmetros avaliados neste trabalho foram: cloretos, condutividade, RAS, DBO, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrato, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, turbidez e coliformes termotolerantes (APHA et. al., 2005).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os resultados médios obtidos nas análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, monitorados no efluente secundário da ETE experimental (afluente UF) e permeados da UF.

**Tabela 2: Valores médios dos resultados.**

Parâmetros	Unidade	Afluente UF	Permeado UF	Redução
Cloretos	mg/L	8,5	8,1	4,7%
Condutividade	μS/cm	763,9	690,7	9,6%
Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> /L	18,0	16,0	11%
Bicarbonatos	mg/L	22,0	19,5	11,3%
RAS°	mmol/L	3,5	3,4	2,8%
DBO	mg/L	43,9	4,2	90,4%
pH	-	6,7	6,5	-
Fósforo total	mg/L	11,9	9,0	24,4%
Nitrogênio amoniacal	mg/L	13,9	11,2	19,4%
Nitrato	mg/L	23,0	22,7	1,3%
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	616,7	452,0	26,7%
Sólidos suspensos totais	mg/L	2,4	0,7	70,8%
Turbidez	NTU	1,2	0,16	86,7%
Coliformes termotolerantes	UFC/100 mL	4,0E+03	0	100%

Conforme esperado, não houve redução significativa de cloretos, condutividade, alcalinidade, bicarbonatos, RAS°, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrato e sólidos dissolvidos totais, uma vez que compostos iônicos não fazem parte da faixa de retenção dessa membrana.

De acordo com alguns autores (XING et al, 2000; BRIÃO e TAVARES, 2007; JU QUIN et al, 2004), a UF é excelente na remoção de sólidos em suspensão e turbidez. Porém, nesta pesquisa, as eficiências não parecem tão elevadas por que o afluente à membrana apresentava baixos valores desses constituintes.

A UF mostrou um desempenho notável na remoção de DBO. Quando se trata de reuso urbano não potável são requeridas concentrações inferiores a 30 mg/L (tabelas 3 e 4).

A UF também é recomendada para eliminação total de microrganismos, pois os tamanhos dos poros nessas membranas são menores que o dos protozoários, bactérias e até mesmo vírus (HABERT et al., 2006). Embora não tenha sido possível fazer a análise dos demais patógenos, pode-se observar na tabela 2 que todos os coliformes termotolerantes do esgoto foram retidos, sendo um indicativo de desinfecção.

Os parâmetros que fornecem indicativos dos aspectos estéticos da água, como turbidez e sólidos em suspensão, são cada vez mais aceitos como variáveis físico-químicas para o monitoramento da qualidade da água de reuso. Além da clarificação do efluente, a remoção de matéria orgânica e a presença de microrganismos patogênicos representam a ameaça mais comum à reutilização de esgotos sanitários. Em função disso, esses indicadores são geralmente requisitados nas regulamentações para o reuso urbano não potável, a exemplo das apresentadas nas tabelas 3 e 4.

**Tabela 3: Padrão de qualidade para reúso urbano não potável segundo a resolução SES/SMA/SSRH N° 01/2017.**

PADRÕES DE QUALIDADE		CATEGORIAS DE REÚSO	
Parâmetro	Unidade	Restrição de acesso moderada	Restrição de acesso severa
pH	-	6 - 9	6 - 9
DBO	mg/L	≤10	≤30
Turbidez	UNT	≤2	-
SST	mg/L	1	<30
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	Não detectável	<200
Ovos de helmintos	Ovo/L	<1	1
Cloro residual	mg/L	<1	<1
Condutividade elétrica	dS/m	<0,7	<3,0
RAS	-	<3	3 - 9
SDT	mg/L	<450	<2000
Cloreto	mg/L	<106	<350
Boro	mg/L	<0,7	<2,0
Distância de precaução	m	70 (para poço de captação de água potável)	
Tipo de tratamento		Tratamento secundário, filtração e desinfecção	Tratamento secundário, filtração e desinfecção

Comparando a qualidade do permeado de UF (tabela 2) com uma legislação nacional (tabela 3), verifica-se que todos os parâmetros analisados neste trabalho foram atendidos, sendo que não foram abrangidos neste trabalho o boro e os ovos de helmintos. No entanto, o boro apresenta-se em concentrações baixíssimas nos esgotos tipicamente domésticos, segundo Feigin et al (1991) a concentração desse micronutriente nos efluentes domésticos secundários situa-se entre 0 e 1 mg/L. Quanto aos ovos de helmintos, eles certamente são removidos na membrana de UF, já que ela é capaz de reter vírus, que são milhares de vezes menores que os ovos de helmintos de menor diâmetro, que possuem em torno de 30 µm (DE CARLI, 2001).

Em relação aos parâmetros que não estão dentro da faixa de retenção da UF, como condutividade elétrica, cloretos, RAS e sólidos dissolvidos totais, as concentrações deles no efluente secundário da ETE experimental já se encontravam em conformidade com o requisitado na tabela 3, pelo menos na modalidade de restrição de acesso severa.

**Tabela 4: Padrões de qualidade de água para reúso urbano não potável irrestrito estabelecido pelos estados da Virgínia e da Flórida - EUA.**

Parâmetros	Unidade	Valores limite	
		Virgínia	Flórida
DBO5	mg/L	10	20
Sólidos suspensos totais	mg/L	Não especificado	5
Turbidez	NTU	2	2
Coliformes fecais	UFC/100 mL	11	25

Confrontando a qualidade do permeado, desta vez com duas legislações internacionais (tabela 4), observa-se que o filtrado da UF enquadra-se em ambas as regulamentações.

Desta forma, o permeado de UF, aplicado no pós-tratamento de efluente sanitário, atendeu aos padrões de qualidade requisitados, no tocante aos parâmetros estudados, tanto pela regulamentação nacional quanto para a internacional.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A membrana de UF é eficiente na remoção de sólidos suspensos, matéria orgânica e microrganismos, nos efluentes sanitários pré-tratados em sistemas biológicos de nível secundário.

O permeado da UF, obtido no pós-tratamento de efluente sanitário, é adequado para reúso não potável no meio urbano, nas modalidades restrita e irrestrita, atendendo regulamentações tanto a nível nacional quanto internacional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21º ed. Washington, D.C, USA. 2005.
2. BRASIL. Agência Nacional de Águas – ANA. Atlas Esgotos: Despoluição das Bacias Hidrográficas, 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 16/11/2017.
3. BRASIL. Conselho Nacional dos Recursos Hídricos. Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2054.pdf>. Acesso em: 15 out de 2018.
4. BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo Demográfico, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em 03 de out. 2018.
5. BRIÃO, V. B.; TAVARES, C. R. G. Ultrafiltração como processo de tratamento para o reúso de efluentes de laticínios. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, Nº 2, p. 134-138, abr/jun, 2007.
6. CAMPINAS. Resolução conjunta SVDS/SMS Nº 09, de 04 de agosto de 2014. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para o reúso não potável de água, provenientes de Estações de Tratamento de Esgotos (ETES) de sistemas públicos para fins de usos múltiplos no município de Campinas. Disponível em: <http://campinas.sp.gov.br/governo/meio-ambiente/resolucao-09-2014.pdf>. Acesso em: 15 out de 2018.
7. DE CARLI, G. A. Parasitologia Clínica: Seleção de Métodos e técnicas de laboratório para diagnóstico das parasitoses humanas. Ed. Atheneu, São Paulo, 2001.
8. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Guidelines for water reuse. United States Environmental Protection Agency, U.S Agency for International Development: Washington, D.C, 2012.
9. FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Ed. Springer-Verlag, Berlin, 1991.
10. HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Processos de separação por membranas. Rio de Janeiro: E-papers, 2006.
11. JU QUIN, J. et al. Dead-end ultrafiltration for pretreatment of RO in reclamation of municipal wastewater effluent. Journal membrane of science, v. 243, p. 107-113, nov, 2004.
12. PEREIRA, M. C. B.; PAULA JÚNIOR, A. C. de. Segurança hídrica nas águas do meio urbano. Águas do Brasil, Ed. 11, p. 39-41, dez. 2014.
13. SÃO PAULO. Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01, de 28 de junho de 2017. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. Disponível em: <http://www2.ambiente.sp.gov.br/legislacao/resolucoes-sma/resolucao-conjunta-ses-sma-ssrh-01-2017/>. Acesso em: 06 out de 2018.
14. TEIXEIRA, M. M. C. G. R. Ultrafiltração no tratamento de águas para consume humano. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Engenharia da Universidade de Nova Lisboa. Lisboa, 2001.
15. XIA, S. et al. Pilot study of drinking water production with ultrafiltration of water from the Songhuajiang river (China). Desalination, v. 179, p. 369-374, jul. 2005.
16. XING, C. H. et al. Ultrafiltration membrane bioreactor for urban wastewater reclamation. Journal of membrane science, v. 177, p. 73-82, ago, 2000.
17. WINTGENS, T. et al. The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse. Desalination, v. 178, p.1-11, jul. 2005.