

O MAIOR
EVENTO DE
SANEAMENTO
DA AMÉRICA
LATINA



18 A 20
SETEMBRO 2018
EXPO CENTER
NORTE
SÃO PAULO - SP

**9459 - TESTES DE BANCADA E PILOTO NO TRATAMENTO DE
ÁGUAS USANDO MEMBRANAS DE ULTRAFILTRAÇÃO
RECICLADAS A PARTIR DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS NÃO
POROSAS**

**Eduardo Coutinho de Paula
Poliana V. Martins, Júlia C. L. Gomes, Míriam C. S. Amaral
Universidade Federal de Minas Gerais (ecoutinho@desa.ufmg.br)**

Introdução

- O uso de membranas poliméricas não porosas tem aumentado significativamente em todo o mundo, inclusive no Brasil.
- As tecnologias de osmose inversa e de nanofiltração possibilitam múltiplas aplicações.
- No entanto, os módulos espirais das membranas têm uma vida útil de aproximadamente 5 a 7 anos.

Surgiram iniciativas de reciclagem de membranas.



Objetivo

- Avaliar o desempenho de membranas recicladas obtidas a partir de membranas descartadas de osmose inversa e de nanofiltração para o tratamento de águas superficiais em testes de bancada e piloto.

Metodologia



- **Membranas** de módulos espirais descartados: BW30 e NF90,
- **Limpeza química** prévia das membranas,
- **Reumedecimento** com mistura etanol-água,
- **Ensaios de permeabilidade com água,**

- **Processo de reciclagem por oxidação:** envolve a imersão da membrana em NaClO comercial (10-12%) durante 2,7 h, equivalente a uma intensidade de contato de ~ 300.000 ppm·h.
- **Reprodutibilidade:** procedimento completo de reciclagem repetido para membranas descartadas de três origens e aplicações diferentes e ensaios realizados em triplicata.

Recycling of end-of-life reverse osmosis membranes by oxidative treatment: a technical evaluation

Eduardo Coutinho de Paula, Júlia Célia Lima Gomes and Míriam Cristina Santos Amaral

ABSTRACT

The adverse impacts caused by the disposal of thousands of tonnes per membranes modules have grown dramatically around the world. The objective was to evaluate the technical feasibility of recycling by chemical oxidation of end-of-life applications in other separation processes with specifications less rigorous. The procedure consisted in to cause a membrane exposition with oxidant solutions in order to remove the polyamide layer and subsequent conversion to a porous membrane. This was then evaluated by water permeability and salt rejection tests before and after treatment. The membranes' chemical cleaning and pretreatment procedures were assessed. The oxidizing agent, its concentration and pH, associated with the oxidative treatment, had an important influence on the oxidation of the membranes. Results showed

Journal of Cleaner Production 194 (2018) 85–93

Contents lists available at ScienceDirect



ELSEVIER

Journal of Cleaner Production

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro

Environmental and economic evaluation of end-of-life reverse osmosis membranes recycling by means of chemical conversion

Eduardo Coutinho de Paula^{*}, Míriam Cristina Santos Amaral

Department of Sanitary and Environmental Engineering, Federal University of Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, no. 6627, Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 December 2017

Received in revised form

5 May 2018

Accepted 12 May 2018

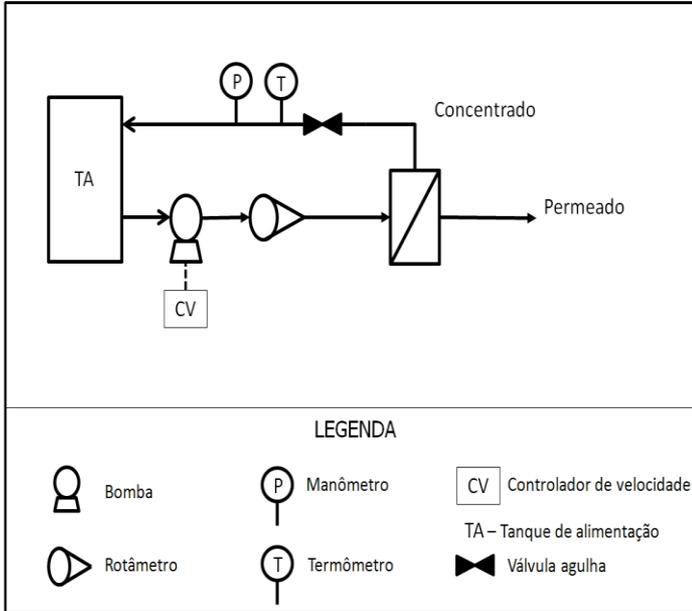
Available online 14 May 2018

ABSTRACT

The use of reverse osmosis (RO) membranes has been significantly increasing over time, making it a great option for the production of clean water for both domestic and industrial use, especially under stress conditions and scarce clean water resources. The main solid waste from RO membranes are elements, which are often disposed of in landfills, and the large amount of waste generated is not managed. The objective of this study was to evaluate the environmental and economic



Metodologia



(a)



(b)

Fig. 1: Unidade de separação por membranas, sendo: representação esquemática (a); vista lateral (b)

Metodologia

- Avaliação de desempenho das membranas recicladas
 - **Testes de bancada:** tratamento de amostras de águas de três origens de Minas Gerais: Rio Doce, Paraopeba e das Velhas.
 - **Teste piloto:** validação com água do Rio Doce.
 - águas coletadas no ponto de captação para abastecimento nas respectivas Estações de Tratamento de Água.
 - nenhum pré-tratamento das águas foi adotado para alimentação das membranas.

Resultados e discussão

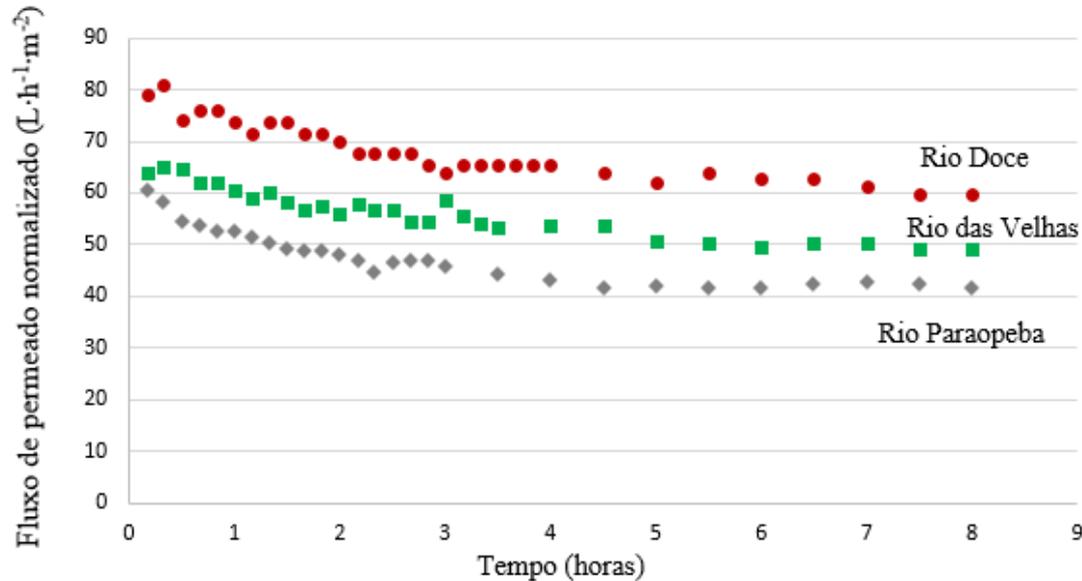


Fig. 2: Resultados experimentais de fluxo de permeado normalizado a 25 °C ($L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$) em função do tempo (8 h de permeação contínua) de amostras de águas superficiais pH ~ 7 testes bancada (Membrana reciclada com NaClO, vazão $2,4 L \cdot min^{-1}$, pressão 0,5 bar).

Resultados e discussão

Tabela 1: Comparação entre resultados dos parâmetros analisados da amostra de água bruta do **Rio Doce** e água tratada

Parâmetro	Unidade	Água bruta	Permeado	Remoção (%)
pH	-	6,76	7,09	-
Condutividade elétrica	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	161	157,6	-
Cor aparente	uH	196	3,92	98,0
Turbidez	UNT	56,5	0,105	99,8
UV ₂₅₄	cm^{-1}	0,56956	0,41395	27,3
COT	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	2,53	1,86	26,5
DQO	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	42	N.D.*	-
Nitrogênio total	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	1,758	< 1	-
Alcalinidade	$\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$	19,1	18,5	-
Coliformes totais	$\text{NMP}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$	10,9	< 1	100
<i>Escherichia coli</i>	$\text{NMP}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$	< 1	< 1	- 0 -
Bactérias heterotróficas	$\text{UFC}\cdot\text{mL}^{-1}$	> 5.700	< 1	100

Notas:

NMP = Número Mais Provável em 100 mL.

UFC = Unidade Formadora de Colônia por mililitro.

* Não determinado (abaixo do limite de detecção).

Resultados e discussão

Tabela 2: Comparação entre resultados dos parâmetros analisados da amostra de água bruta do **Rio Paraopeba** e água tratada

Parâmetro	Unidade	Água bruta	Permeado	Remoção (%)
pH	-	7,26	7,29	-
Condutividade elétrica	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	176,3	175,8	-
Cor aparente	uH	442,7	3,40	99,2
Turbidez	UNT	58,8	0,103	99,8
UV ₂₅₄	cm^{-1}	0,55804	0,40974	26,6
COT	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	< 1	< 1	-
DQO	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	N.D.*	N.D.*	-
Nitrogênio total	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	< 1	< 1	-
Alcalinidade	$\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$	19,5	18	-
Coliformes totais	$\text{NMP}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$	$201,4\cdot 10^2$	< 1	100
<i>Escherichia coli</i>	$\text{NMP}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$	$12,1\cdot 10^2$	< 1	100
Bactérias heterotróficas	$\text{UFC}\cdot\text{mL}^{-1}$	> 5.700	< 1	100

Notas:

NMP = Número Mais Provável em 100 mL.

UFC = Unidade Formadora de Colônia por mililitro.

* Não determinado (abaixo do limite de detecção).

Resultados e discussão

Tabela 3: Comparação entre resultados dos parâmetros analisados da amostra de água bruta do **Rio das Velhas** e água tratada

Parâmetro	Unidade	Água bruta	Permeado	Remoção (%)
pH	-	7,10	6,89	-
Condutividade elétrica	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	107,3	102,6	-
Cor aparente	uH	333	8,02	97,6
Turbidez	UNT	49,3	0,103	99,8
UV ₂₅₄	cm^{-1}	0,46467	0,44686	3,83
COT	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	< 1	< 1	-
DQO	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	N.D.*	N.D.*	-
Nitrogênio total	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	< 1	< 1	-
Alcalinidade	$\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$	20	19	-
Coliformes totais	$\text{NMP}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$	$20,1\cdot 10^4$	< 1	100
<i>Escherichia coli</i>	$\text{NMP}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$	$4,1\cdot 10^4$	< 1	100
Bactérias heterotróficas	$\text{UFC}\cdot\text{mL}^{-1}$	> 5.700	< 1	100

Notas:

NMP = Número Mais Provável em 100 mL.

UFC = Unidade Formadora de Colônia por mililitro.

* Não determinado (abaixo do limite de detecção).

Resultados e discussão

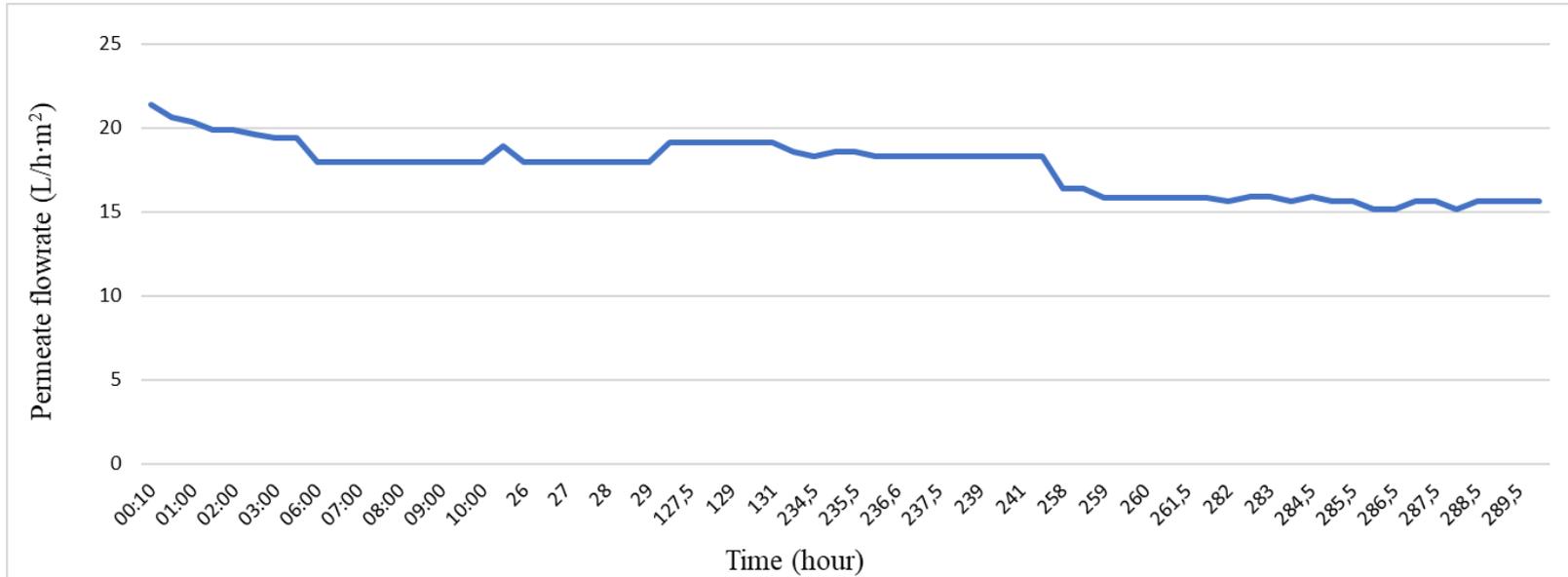


Fig. 3: Resultados experimentais de fluxo de permeado normalizado a 25 °C ($L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$) em função do tempo (290 h de permeação contínua) de água do Rio Doce pH ~ 7 em teste piloto (Membrana reciclada com NaClO, vazão $3,2 L \cdot min^{-1}$, pressão 1 bar).

Resultados e discussão

Tabela 4: Comparação entre resultados dos parâmetros analisados da amostra de água bruta do Rio Doce e água tratada pelo teste piloto

Parâmetro	Unidade	Água bruta do Rio Doce	Permeado	Remoção (%)
pH	-	7,48	7,42 ± 0,24 ^a	-
Condutividade elétrica	μS·cm ⁻¹	196,9	192,5 ± 10,66 ^a	-
Cor aparente	uH	113	1,9 ± 0,004 ^a	98,3
Turbidez	UNT	10,5	0,11 ± 0,001 ^a	99,0
COT	mg·L ⁻¹	10,8	6,78	37,2
DQO	mg·L ⁻¹	26,4	15,3	42,0
Nitrogênio total	mg·L ⁻¹	9,985	< 1	90,0
Alcalinidade	mg CaCO ₃ ·L ⁻¹	26,97	15,93	40,9
Coliformes totais	NMP·100 mL ^{-1b}	> 2.419,2	< 1	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP·100 mL ^{-1b}	> 2.419,2	< 1	100
Bactérias heterotróficas	UFC·mL ^{-1c}	> 5.700	< 1	100

Notas:

^a Médias para número de amostras n = 10 e respectivos desvios-padrão (DP).

^b NMP = Número Mais Provável em 100 mL.

^c UFC = Unidade Formadora de Colônia por mililitro.

Resultados e discussão

Tabela 4: Comparação entre resultados dos parâmetros analisados da amostra de água bruta do Rio Doce e água tratada pelo teste piloto

Parâmetro	Unidade	Água bruta do Rio Doce	Permeado	Remoção (%)
pH	-	7,48	7,42 ± 0,24 ^a	-
Condutividade elétrica	μS·cm ⁻¹	196,9	192,5 ± 10,66 ^a	-
Cor aparente	uH	113	1,9 ± 0,004 ^a	98,3
Turbidez	UNT	10,5	0,11 ± 0,001 ^a	99,0
COT	mg·L ⁻¹	10,8	6,78	37,2
DQO	mg·L ⁻¹	26,4	15,3	42,0
Nitrogênio total	mg·L ⁻¹	9,985	< 1	90,0
Alcalinidade	mg CaCO ₃ ·L ⁻¹	26,97	15,93	40,9
Coliformes totais	NMP·100 mL ^{-1b}	> 2.419,2	< 1	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP·100 mL ^{-1b}	> 2.419,2	< 1	100
Bactérias heterotróficas	UFC·mL ^{-1c}	> 5.700	< 1	100

Notas:

^a Médias para número de amostras n = 10 e respectivos desvios-padrão (DP).

^b NMP = Número Mais Provável em 100 mL.

^c UFC = Unidade Formadora de Colônia por mililitro.

Discussão

- **Reciclagem/conversão química:** a principal diferença observada entre a membrana em escala piloto e os testes de bancada foi o maior consumo de NaClO e a necessidade de maior tempo de contato com o agente oxidante.
- **Desempenho no tratamento de água:** a principal diferença entre os testes de bancada e o teste piloto refere-se ao fluxo de permeado, que foi bastante superior na condição de bancada. Evidentemente, para aumentar a produção de água tratada no teste piloto, caso necessário, pode-se aumentar a pressurização do sistema para até 4 bar.

Conclusões

- A membrana reciclada a partir da conversão química de membranas poliméricas de NF e de OI apresentou **desempenho e características semelhantes a membranas de UF**.
- A membrana reciclada mostrou **baixa tendência à incrustação**.
- O resultado provou que a membrana reciclada pode ser aplicada para o **tratamento de águas superficiais sob uma pressão de 0,5 a 1 bar**.

Conclusões

- A reciclagem de membranas poliméricas, ao término do tempo de vida útil, pode **reduzir a geração de resíduos** de membranas que seriam destinados para aterros sanitários.
- A água produzida a partir do tratamento de águas brutas de rios com membranas recicladas atendeu aos **padrões brasileiros de potabilidade**, para os seguintes parâmetros analisados: cor aparente, turbidez, coliformes totais, *Escherichia coli* e bactérias heterotróficas.

Referências

COUTINHO DE PAULA, E.; GOMES, J. C. L.; AMARAL, M. C. S. Recycling of end-of-life reverse osmosis membranes by oxidative treatment: a technical evaluation. *Water Science and Technology*, 76(3) 605-622, 2017.

COUTINHO DE PAULA, E., MARTINS, P.V., AMARAL, M.C.S. Tratamento de águas superficiais de Minas Gerais empregando membranas recicladas. In: CORREIA, C.M.C.; MELO, M.C.; SANTOS, N.A.P. (Org). *Compartilhando Experiência das Águas de Minas Gerais – Brasil*, v.1, p. 108-112. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2018.

COUTINHO DE PAULA, E.; AMARAL, M.C.S. Environmental and economic evaluation of end-of-life reverse osmosis membranes recycling by means of chemical conversion. *Journal of Cleaner Production*, 194, 85-93, 2018.



Agradecimentos

UF *m* G

DESA
UFMG

GEAPS
MEMBRANAS


FAPEMIG

 **CNPq**
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

 **UNIFEI**
Universidade Federal de Itajubá

Contato:

Prof. Eduardo Coutinho - E-mail: ecoutinho@desa.ufmg.br