

## I-314 – PURIFICADORES DE ÁGUA COM MEMBRANAS ESTERELIZANTES PARA USO EM ESCOLAS, POSTOS DE SAÚDE E HOSPITAIS

### **Gabriela Marques dos Ramos<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química formada pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Doutora em Engenharia química pela COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Gerente do setor de Pesquisa e Desenvolvimento da PAM MEMBRANAS SELETIVAS LTDA.

### **Roberto Bentes de Carvalho**

Engenheiro Químico formado Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre e Doutor em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Diretor técnico e comercial da PAM MEMBRANAS SELETIVAS LTDA.

### **Cristiano Piacsek Borges**

Engenheiro Químico formado UFRJ. Mestre e Doutor em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Professor Adjunto da COPPE/UFRJ.

### **Ronaldo Nóbrega**

Engenheiro Químico formado Universidade de São Paulo (USP). Mestre e Doutor em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Diretor Presidente da PAM MEMBRANAS SELETIVAS LTDA.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua General Glicério, 163, apt 603, Laranjeiras, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 22245-120, e-mail: [gaby@pam-membranas.com.br](mailto:gaby@pam-membranas.com.br).

## **RESUMO**

A ingestão de água contaminada é um dos problemas mais sérios de saúde pública no Brasil. Este problema é particularmente grave em comunidades do interior dos estados onde a qualidade da água distribuída para a população, quando existente, deixa muito a desejar.

A contaminação microbiana presente na água distribuída para estas comunidades é a causa primária de inúmeras doenças. Este problema poderia ser resolvido, se os locais de atendimento público, como escolas, postos de saúde e hospitais dispusessem de equipamentos purificadores de água, com capacidade de retenção microbiana, de baixo custo e de fácil manutenção.

Conforme classificação feita pelo Inmetro, purificadores de água com estas características podem ser produzidos utilizando membranas de microfiltração (MF) como elemento esterilizante retentor de microrganismos. Até recentemente, uma das limitações para se produzir este tipo de purificador, a um custo acessível, era o fato das membranas serem importadas. Desde meados de 2005, a empresa PAM Membranas Seletivas Ltda. produz membranas de MF com tecnologia nacional que podem ser utilizadas na confecção de purificadores de água eficientes e de baixo custo. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é desenvolver um novo tipo de purificador de água, com tecnologia nacional, contendo módulos com membranas de microfiltração como dispositivos esterilizantes.

Para o desenvolvimento do purificador de água, as seguintes etapas foram desenvolvidas: investigação do melhor arranjo da combinação da microfiltração com carvão ativado; determinação da densidade de empacotamento adequada para aplicação em questão e investigação de diferentes procedimentos de limpeza dos módulos com membranas após sua utilização. Após a realização de testes iniciais com um protótipo do purificador desenvolvido, um teste de campo foi realizado em escolas públicas do Estado do Rio de Janeiro, com 50 purificadores instalados. Resultados mostram a viabilidade da produção de um novo produto nacional, incorporando membranas retentoras de microrganismos produzidas pela PAM-Membranas destinadas a purificação de água, podendo ser validado e colocado à disposição de órgãos públicos bem como da sociedade em geral.

**PALAVRAS-CHAVE:** Purificadores de água, microfiltração, esterilização, tecnologia nacional.

## **INTRODUÇÃO**

No mundo subdesenvolvido, cerca de 50% da população consome água poluída; em todo planeta pelo menos 2,2 milhões de pessoas morrem em decorrência de água contaminada e sem tratamento. Segundo estimativas, existem atualmente cerca de 1,1 bilhão de pessoas que praticamente não tem acesso à água potável, bem comum a todo ser humano.

A poluição é um dos maiores problemas da água potável, uma vez que diariamente os mananciais do mundo recebem dois milhões de toneladas de diversos tipos de resíduos.

Nessa questão, quem mais sofre tais reflexos são as camadas excluídas que vivem em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento.

De acordo com a International Water Resources Association (IWRA), entre 8 e 11 milhões de pessoas morrem anualmente no mundo por causa de problemas relacionados ao controle de qualidade da água (doenças provenientes de contaminação da água).

A ingestão de água contaminada é um dos problemas mais sérios de saúde pública no Brasil. Este problema é particularmente grave em comunidades do interior dos estados onde a qualidade da água distribuída para a população, quando existente, deixa muito a desejar.

A contaminação microbiana presente na água distribuída para estas comunidades é a causa primária de inúmeras doenças (diarreia infecciosa, cólera, leptospirose, hepatite).

Na maioria das escolas públicas, em particular do interior do estado, não existe um sistema apropriado de purificação de água para consumo das crianças.

Este problema poderia ser resolvido, em grande parte, em especial na população infantil, mais sensível a este tipo de contaminação, se os locais de atendimento público, como escolas, postos de saúde e hospitais dispusessem de equipamentos purificadores de água, com capacidade de retenção microbiana, de baixo custo e de fácil manutenção.

Conforme classificação feita pelo Inmetro, purificadores de água com estas características podem ser produzidos utilizando membranas de microfiltração (MF) como elemento esterilizante retentor de microrganismos. Até recentemente, uma das limitações para se produzir este tipo de purificador, a um custo acessível, era o fato das membranas serem importadas.

Desde meados de 2005, membranas de MF são produzidas com tecnologia nacional e podem ser utilizadas na confecção de purificadores de água eficientes e de baixo custo.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é desenvolver um purificador de água de baixo custo e de fácil manutenção, com tecnologia nacional, contendo módulos com membranas de MF como dispositivos esterilizantes, capaz de produzir água isenta de microrganismos, para serem utilizados em escolas, postos de saúde e hospitais públicos.

A primeira etapa do projeto teve como objetivos específicos:

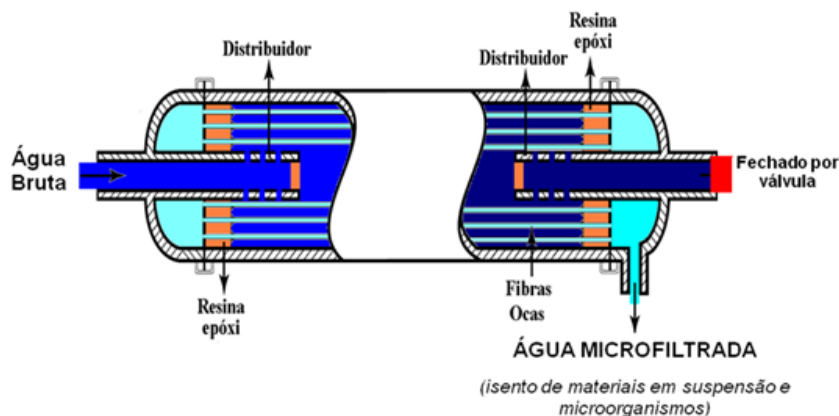
- 1) Determinar a densidade de empacotamento adequada dos módulos com membranas para aplicação em questão;
- 2) Investigar diferentes procedimentos de limpeza dos módulos com membranas após sua utilização.
- 3) Investigar o melhor arranjo da combinação entre o dispositivo esterilizante contendo membranas e o filtro contendo carvão ativado (remoção de cloro e compostos orgânicos solúveis);
- 4) Dimensionar leito de carvão ativado (CA).

Na segunda etapa do projeto, após a realização de testes iniciais com um protótipo do purificador desenvolvido, foi realizado um teste de campo com a instalação de 50 purificadores em escolas públicas do Estado do Rio de Janeiro.

Uma equipe foi preparada para efetuar a instalação dos purificadores nas localidades selecionadas, bem como para acompanhar a qualidade da água produzida e treinar o pessoal local para efetuar a manutenção periódica dos purificadores de água.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os módulos de MF foram confeccionados com alimentação na direção axial (Figura 1), utilizando membranas produzidas pela PAM MEMBRANAS SELETIVAS na forma de fibra ocas com diâmetro externo de 1 mm e diâmetro médio de poro de 0,4  $\mu\text{m}$ . A filtração é realizada de fora para dentro das fibras na forma de filtração frontal (dead-end).

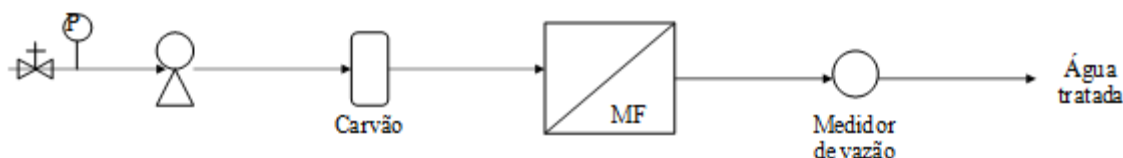


**Figura 1: Esquema dos módulos de MF, com filtração frontal.**

Para a escolha da melhor configuração para os purificadores (MF e CA), foram avaliados os parâmetros: decaimento de fluxo de permeado com o tempo, total de água filtrada e fluxo mínimo para realização de limpezas físicas ou químicas das membranas.

Foram investigados procedimentos de limpeza das membranas após testes de filtração de longa duração com água da rede a fim de se avaliar a recuperação da permeabilidade das fibras após o uso. Os produtos químicos investigados foram hipoclorito de sódio (1000 mg/L) e ácido cítrico (pH 3).

Após os testes iniciais, foi desenvolvido um protótipo utilizando a melhor configuração MF/CA e a melhor densidade de empacotamento. O fluxograma do protótipo é ilustrado na Figura 2.



**Figura 2: Fluxograma da sequência de tecnologia empregada no protótipo do purificador desenvolvido.**

Cinquenta purificadores foram montados e instalados em escolas públicas do Estado do Rio de Janeiro. Para confecção dos purificadores, todos os módulos de MF preparados foram analisados por testes de decaimento de pressão e análise microbiológica para identificação de defeitos.

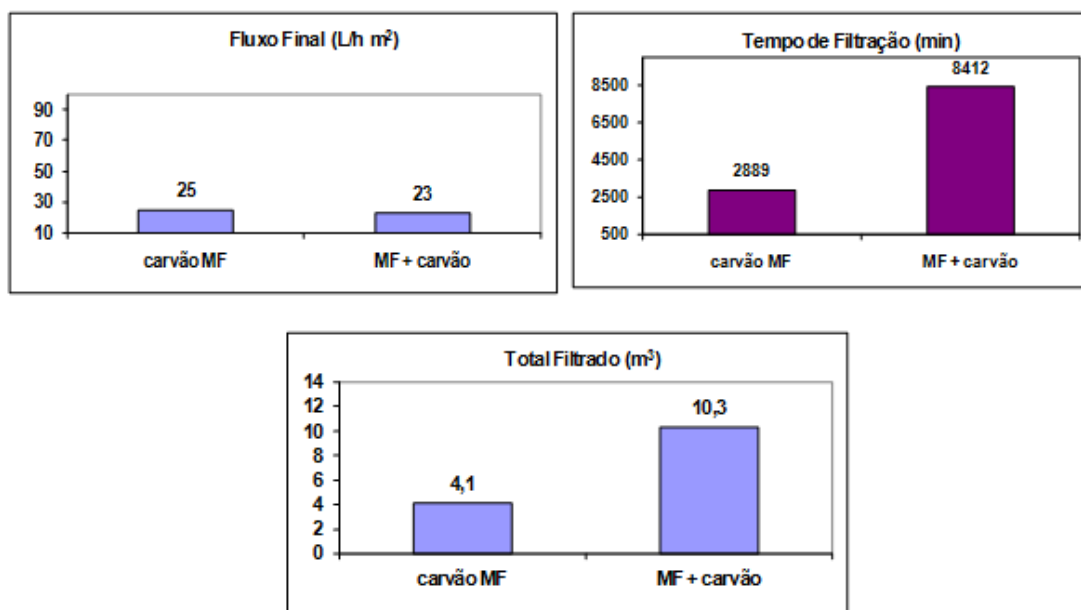
Foram realizados testes de acompanhamento dos purificadores: vazão de permeado, qualidade do permeado (turbidez e cloro livre), quantidade de água produzida, dentre outros.

## RESULTADOS

### PRIMEIRA ETAPA

A configuração com o módulo de MF antes do carvão mostrou-se a mais indicada, visto que, por ser mais robusto, o módulo de MF retém todos os sólidos em suspensão, ficando a cargo do CA remover apenas os solúveis orgânicos e o cloro livre, aumentando a eficiência do purificador.

A Figura 3 apresenta os resultados da comparação entre a configuração MF + carvão e carvão + MF. Podemos observar que mantendo o mesmo fluxo final para os dois testes, a configuração com a MF antes do carvão teve um tempo maior de filtração e, conseqüentemente, um volume maior de filtrado.



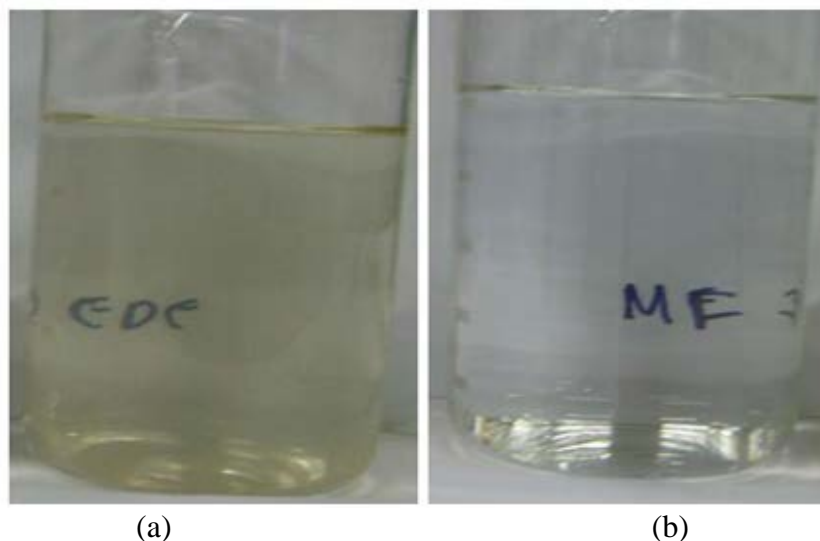
**Figura 3: Comparação dos resultados dos testes com os dois arranjos após teste de longa duração.**

A Figura 4 apresenta uma fotografia do filtro cartucho comercial após teste de longa duração, onde pode-se perceber a completa saturação do filtro, permitindo assim a passagem de impurezas, uma vez que estes equipamentos operam por filtração de profundidade. O que não ocorre com a MF, uma vez que ela faz filtração de superfície.



**Figura 4: Filtro cartucho comercial após teste de longa duração.**

Através da análise visual da água da rede (CEDAE) comparada com a água tratada observa-se a ausência de sólidos suspensos, bem como da cor amarelada (ferrugem) presentes na água da rede (Figura 5).



**Figura 5: Análise visual da água da rede (a) comparada com a água tratada (b).**

Após prolongados tempos de filtração, limpezas com ácido cítrico e hipoclorito foram eficientes para recuperação da vazão de permeado inicial.

Como alternativa aos filtros cartuchos comerciais, foi projetado um filtro de carvão ativado com leito fixo. O leito fixo foi dimensionado através de um programa rodado no software MATHCAD 13. Foi construída uma isoterma de adsorção, utilizando diferentes concentrações de cloro em diferentes tempos de contato com o carvão. Foi utilizado o modelo da isoterma de adsorção de Freundlich (Equação (1)).

$$Kg_{adsorvente}^{1-n} \times \frac{m^{3n}}{Kg_{adsorvato}} \quad \text{(Equação 1)}$$

A partir dos parâmetros da isoterma de Freundlich, calculou-se a quantidade de cloro removida por quilograma de carvão. Assim, foi possível dimensionar o tanque, baseando-se na quantidade máxima de cloro encontrada nas águas de abastecimento, cerca de 4 mg/L.

## SEGUNDA ETAPA

Após os testes preliminares, de acordo com algumas informações coletadas nas escolas visitadas, foram projetados os módulos de MF e os filtros de carvão de leito fixo, seguindo os dados a seguir:

### 1) Dados gerais do purificador (gerados a partir das informações coletadas nas escolas visitadas)

Média de 2000 alunos, divididos em 3 turnos;  
 Consumo médio de água = 200 m<sup>3</sup>/mês;  
 Consumo na cozinha e no bebedouro = 70 % do total;  
 Vazão de água tratada = 288 L/h

### 2) Dimensionamento do módulo de membranas

Fluxo de trabalho = 80 L/h.m<sup>2</sup>  
 Área de membrana necessária = 3,6 m<sup>2</sup>  
 Diâmetro externo do tubo = 85 mm  
 Densidade de empacotamento = 800 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>  
 Comprimento útil de fibra = 75 cm

### 3) Dimensionamento do filtro de carvão

Diâmetro (m) = 0,105

Altura (m) = 0,4

Volume da coluna (m<sup>3</sup>) = 3,464 x 10<sup>-3</sup>

Massa de adsorvente (kg) = 2,3

Vazão (L/h) = 288

Perda de carga (bar) = 0,014

Tempo de residência (s) = 103,905

Na instalação dos bebedouros nas escolas, foi verificada a má qualidade da água ingerida pelos alunos, como pode ser observado na Figura 6(a), que mostra uma fotografia do bebedouro existente na escola, com acúmulo de sólidos suspensos no fundo. Isso indica que o filtro utilizado para reter esses tipos de contaminantes não está sendo efetivo, deixando passar muitas impurezas, que são acumuladas no fundo do bebedouro. A Figura 6(b) apresenta uma fotografia do mesmo bebedouro após limpeza, sendo alimentado com a água tratada após a instalação dos purificadores com membranas.



**Figura 6: Fotografia de bebedouro existente em escola; (a) com acúmulo de sujeira no fundo, (b) após limpeza, alimentado com água tratada pelo purificador com membranas.**

Os testes de acompanhamento dos purificadores mostram a melhoria da qualidade da água ingerida pelos alunos das escolas selecionadas, mantendo a qualidade do permeado mesmo depois de meses da instalação.

A Figura 7 apresenta a fotografia de um purificador instalado em escola de Niterói/RJ.



**Figura 7: Fotografia do purificador PAM MEMBRANAS instalado em escola de Niterói/RJ.**

## CONCLUSÕES

Foi possível desenvolver um dispositivo esterilizante eficiente para o tratamento de água da rede pública. A opção pela utilização da microlfiltração antes do filtro de carvão se mostrou mais eficiente do que a ordem inversa.

A limpeza com ácido cítrico (pH 3) e hipoclorito mostrou-se eficiente para remoção de incrustações da superfície da membrana, possibilitando a recuperação do desempenho dos três módulos testados.

Foi verificado, na maioria das escolas, péssima qualidade da água consumida pelos alunos.

Através do acompanhamento do funcionamento dos purificadores, é possível avaliar o tempo necessário para limpeza das membranas, troca do carvão ativado, decaimento da vazão de água filtrada em função do tempo e qualidade da água.

Resultados mostram a viabilidade da produção de um novo produto nacional, incorporando membranas retentoras de microrganismos, destinado a purificação de água, podendo ser validado e colocado à disposição de órgãos públicos bem como da sociedade em geral.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A. HABERT, C., BORGES, C., R., NOBREGA, Processos de Separação por Membranas, Série Escola Piloto em Engenharia Química, COPPE/UFRJ, Editora E-papers, 2006.
2. CARVALHO, R. B., Fibras Ocas Compostas para Nanofiltração e Osmose Inversa Preparadas pela Técnica de Precipitação por Imersão de Duas Soluções Polimérica Extrudadas Simultaneamente, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.
3. J. F. RICHARDSON, J. H. HARKER, J. R. BACKHURST, Coulson and Richardson's Chemical Engineering, Volume 2, Fifth Edition, Particle Technology and Separation Processes, Butterworth Heinemann, 2002.