



I-363 - AVALIAÇÃO DA ULTRAFILTRAÇÃO EM MEMBRANA NA REMOÇÃO DE MICROCISTINA APLICADA A ÁGUAS DE ABASTECIMENTO.

Álisson Bragança Silva⁽¹⁾

Engenheiro Civil e Mestre em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Mestre (SMARH- UFMG)

Alessandra Giani

Bióloga (UFMG), Mestra em Ecologia (UnB), Doutora em Hidrobiologia (Universidade de Konstanz, Alemanha), Pós-doutorado pela Universidade de Quebec (Canadá), Pesquisadora do CNPq e Professora Associada do Departamento de Botânica da UFMG

Bárbara Fernanda de Melo Jardim

Bióloga e aluna do Programa de Pós-graduação em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

Marcelo Libânio

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Sanitária (UFMG), Doutor em Hidráulica e Saneamento (USP), Pós-doutorado pela Universidade de Alberta (Canadá), pesquisador do CNPq e da Fapemig, e Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG

Endereço⁽¹⁾: Rua Henrique Cabral 420, apto 201. Bairro São Luiz. CEP: 31270-760. Belo Horizonte - MG.

E-mail: Braganca2002br@yahoo.com.br

RESUMO

O principal objetivo desta pesquisa foi verificar em escala piloto a remoção de células de cianobactérias e microcistinas por meio de ultrafiltração (UF) em membranas para obtenção de água de consumo humano. A pesquisa foi realizada utilizando água bruta captada às margens da Lagoa da Pampulha em Belo Horizonte, onde florações de cianobactérias têm ocorrido com frequência desde 1997. O equipamento de ultrafiltração foi operado no período de abril a agosto de 2008, totalizando 80 horas de monitoramento, com as coletadas semanais. A membrana de UF removeu até 5 log de células de *Cylindrospermopsis raciborskii* e de *Sphaerocavum brasiliense* durante florações destas espécies de cianobactérias. Além da capacidade de remoção de células, a membrana de UF pôde remover microcistina eficientemente à temperatura de 20 °C e sob pressão de 138 kPa (20 psi).

PALAVRAS-CHAVE: Ultrafiltração em membrana, cianobactérias, microcistina, água potável.

INTRODUÇÃO

Atualmente, em decorrência do elevado nível de urbanização, muitas áreas próximas aos mananciais estão sendo ocupadas, colocando em risco a qualidade da água. Além disso, o crescente avanço tecnológico, principalmente das indústrias farmacêuticas e químicas, tem disponibilizado no mercado uma enorme quantidade de compostos, que trouxeram conforto e benefícios. No entanto, como contrapartida, os efluentes industriais e domésticos acarretam a poluição dos corpos d'água com efeitos nocivos à saúde ambiental e humana, em geral, ainda desconhecidos. Adicionalmente, o carreamento de agrotóxicos, nitratos e fosfatos comumente empregados na agricultura concorre para favorecer a eutrofização dos mananciais.

Este panorama faz com que entidades reguladoras dos padrões de qualidade de águas utilizadas para fins potáveis sejam mais rigorosas. Com isso, nem sempre os tratamentos convencionais de água e os biológicos de esgotos conseguem atender às normas vigentes.

Em busca de novas alternativas de tratamento de água, nas últimas décadas, principalmente a partir de 1990, foram lançadas no mercado de saneamento básico membranas de separação de partículas para a produção de água potável em grande escala: microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF). E para a remoção de material particulado e substâncias dissolvidas, utilizam-se as tecnologias de nanofiltração (NF) e osmose reversa (OR).

O mencionado aporte de nutrientes nos mananciais e, provavelmente, as alterações climáticas têm favorecido as florações de cianobactérias em muitas partes do globo. Além de serem produtores de toxinas, estes organismos podem interferir no processo de tratamento de água, deixando o sistema de abastecimento público



em alerta. No Brasil são relatados alguns casos, dos quais o mais grave foi o episódio de Caruaru, em 1996, quando 123 pacientes de uma clínica de hemodiálise tiveram quadro clínico indicativo de síndrome de intoxicação hepática. Morreram 60 desses pacientes. A investigação revelou que a intoxicação foi causada pela água da hemodiálise contaminada por cianotoxinas (AZEVEDO, 1998).

As cianobactérias e microalgas são constante fonte de preocupação para os operadores de estações de tratamento de água. A remoção desses organismos é muito difícil por causa do tamanho, do baixo peso específico, da baixa densidade celular e da carga superficial negativa, que influenciam nas características dos focos formados (EDZWALD, 1993). Vários estudos têm mostrado que os processos convencionais de tratamento (coagulação/floculação, sedimentação e filtração) não são efetivos na remoção total destas substâncias.

Na Portaria do Ministério da Saúde N° 518/2004 *recomenda-se* que as análises para cianotoxinas incluam a determinação de cilindrospermopsinas e saxitoxinas (SXT), observando, respectivamente, os valores limites de $15,0 \mu\text{g L}^{-1}$ e $3,0 \mu\text{g L}^{-1}$ de equivalentes de STX L^{-1} .

Esta Portaria acrescentou, no parágrafo 5º do artigo 18, que sempre que o número de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, exceder 20.000 células/mL (mais de $2 \text{ mm}^3 / \text{mL}$ de biovolume), durante o monitoramento, será exigida a análise semanal de cianotoxinas na água da saída do tratamento e nas entradas (hidrômetros) das clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis. No entanto esta análise pode ser dispensada quando houver comprovação de ausência de cianotoxinas na água bruta por meio da realização semanal de bioensaios em camundongos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Decidiu-se que o experimento piloto não poderia ser realizado em laboratório, devido ao grande volume de água a ser usado nos ensaios, que consumiria uma elevada concentração de cianobactérias. Assim foi decidido procurar um corpo d'água na Região Metropolitana de Belo Horizonte, onde houvesse freqüentes florações, e atendesse bem a logística do projeto. Deste modo, para realização dos ensaios com o conjunto-piloto de ultrafiltração, foi escolhida uma área pertencente ao Iate Tênis Clube, às margens da Lagoa da Pampulha, localizada na região norte de Belo Horizonte.

Descrição do aparato experimental

Para realização desta pesquisa, à margem da Lagoa, foi construída uma instalação de 12 m^2 para abrigar a unidade de ultrafiltração, os reservatórios de polietileno e uma bomba centrífuga. No período de fevereiro a abril de 2008, com assessoria do Centro de Pesquisas Hidráulicas (CPH), foi montada a primeira unidade-piloto de ultrafiltração da UFMG.

A unidade-piloto foi monitorada de abril a agosto de 2008, resultando um intervalo de 80 horas. Neste período, foram verificados e anotados os seguintes parâmetros de funcionamento do conjunto-piloto de ultrafiltração: vazão do permeado (QP), vazão do concentrado (QC) e pressão do sistema. Por meio destas medidas, também se analisou a variável perda de carga do sistema, e conseqüentemente, a colmatação da membrana ao longo do seu funcionamento.

Membrana de Ultrafiltração

A configuração selecionada para a membrana foi aquela, de cujo módulo é formado por folhas planas dispostas em forma de espiral, constituída de polietersulfona. As principais características desta membrana, enviadas pelo fornecedor, estão na Tabela 1.



TABELA 1: Caracterização da membrana de Ultrafiltração fabricada em polietersulfona.

Temperatura máxima	50° C
pH de operação para tratamento	3 – 11
pH de limpeza	2,0 – 11,5
Área de membrana modelo PW4040F	7,9 m²
Fluxo operacional ou taxa de aplicação superficial	15 – 40 L h⁻¹ m⁻²
Vazão máxima possível	Aproximadamente 320 L h⁻¹

Pontos de coletas

Para todos os parâmetros analisados nesta pesquisa, foram coletadas amostras nos pontos descritos a seguir:

- Ponto I: na orla da Lagoa (captação de água bruta), situado antes da tomada d'água do conjunto-piloto;
- Ponto II: após o filtro de areia (PFA: ponto após pré-filtração no filtro tipo piscina);
- Ponto III: na linha do permeado (efluente tratado);
- Ponto IV: na linha do concentrado (efluente rejeitado no processo de ultrafiltração);
- Ponto V: na linha do descarte do concentrado programado pelo temporizador (*flush*).

O fluxo desta estação-piloto está descrito na figura 4.

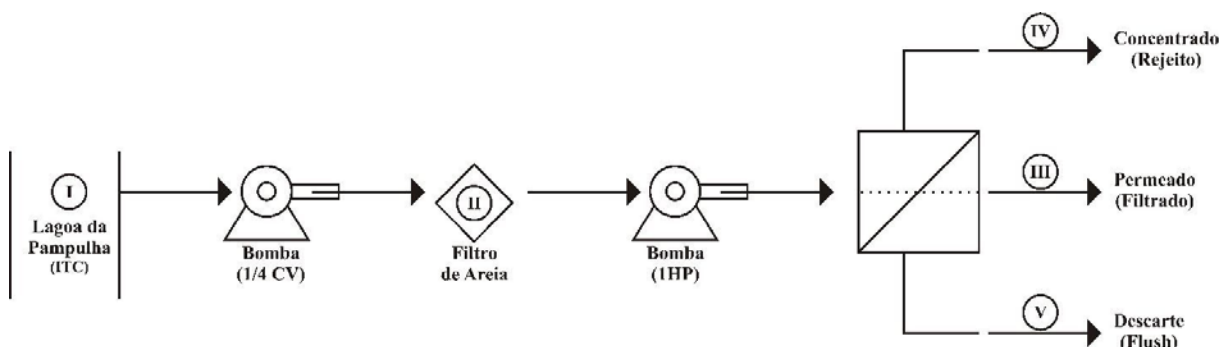


FIGURA 2: Fluxograma do processo da unidade-piloto de ultrafiltração em membrana.

Amostragem e preservação das amostras

Para fixação das amostras, usou-se solução de lugol acético. O lugol é mais indicado para amostras destinadas à contagem de cianobactérias, em que há necessidade de grande manipulação de amostras. O lugol promove a coloração das células do fitoplâncton, e possui a vantagem de facilitar a sedimentação dos organismos na câmara de contagem.

Para realizar as análises quantitativas de cianobactérias da lagoa, foram coletadas amostras de superfície usando um balde graduado de 10 L. A seguir, as amostras eram armazenadas em frascos âmbar 500ml com 2 mL de lugol e colocadas em uma caixa de isopor.



As coletas de amostras de florações de cianobactérias para avaliação de toxicidade foram realizadas bem na superfície, procurando coletar apenas a nata esverdeada.

Contagem de fitoplâncton

O método de contagem seguiu o item 10000, *Biological Examination*, na seção 10200 *Plankton*, do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2005).

Deteção de cianotoxinas

Os testes de detecção de cianotoxinas foram feitos no Laboratório de Ficologia do Instituto de Biologia (ICB) da UFMG. Foram realizadas 14 coletas no período de junho a agosto de 2008, em que ocorreram duas florações de cianobactérias na Lagoa da Pampulha.

O método empregado para análises de detecção de microscitina foi *Enzyme-Linked Immunosorbent Assay for the Congener-Independent Determination of Microcystins and Nodulars in Water Samples*. O kit foi comprado de representante da empresa americana ABRAXIS.

Análises Estatísticas

A estatística descritiva dos dados foi realizada com o auxílio do software Statistica 6.1.

Foram utilizadas as seguintes ferramentas estatísticas:

- Gráficos de séries temporais para avaliação do período de ocorrência das principais espécies encontradas na Lagoa da Pampulha.
- Estatística básica como cálculos de medidas centrais e de dispersão.
- Construção de gráficos de linha, diagramas de barras e Box-Wisker.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de ultrafiltração foi submetido à variação de pressão neste período. A faixa de pressão situou-se entre 138 kPa (20 *psi*: menor leitura na escala do manômetro) e 276 kPa (40 *psi*: valor máximo recomendado pelo fabricante para esta membrana de UF).

Na Tabela 2, apresentam-se os resultados da primeira análise hidrobiológica para caracterização quantitativa do fitoplâncton do ponto I, situado na orla do Iate Tênis Clube. As espécies de cianobactérias encontradas são destacadas nesta tabela.

TABELA 2: Resultados da primeira análise quantitativa do fitoplâncton no ponto I realizada em 15/5/2008.

Organismos	Classes	Células mL ⁻¹
<i>Chlamydomonas sp.</i>	Chlorophyceae	54
<i>Cryptomonas sp.</i>	Cryptophyceae	215
<i>Desmodesmus cf. opoliensis</i>	Chlorophyceae	108
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> .	Chlorophyceae	860
<i>Fragilaria sp.</i>	Bacillariophyceae	323
<i>Gomphonema sp.</i>	Bacillariophyceae	54
<i>Monoraphidium contortum</i>	Chlorophyceae	54
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Cyanophyceae	117.204
<i>Pediastrum simplex</i>	Chlorophyceae	215
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	Chlorophyceae	430
<i>Sphaerocavum brasiliense</i>	Cyanophyceae	10.753
<i>Trachelomonas volvocina</i>	Euglenophyceae	376
Totais (células/mL)		130.646 (1,3 x 10 ⁵)

As principais espécies de cianobactérias potencialmente tóxicas, quantificadas no ponto de captação durante os quatros meses de coleta, foram *Sphaerocavum brasiliense* e *Cylindrospermopsis raciborskii*

Na Figura 3 são apresentados os resultados da concentração de microcistina ($\mu\text{g L}^{-1}$) para 6 amostras coletadas a partir de 20 de junho referentes aos pontos I e IV (água bruta e concentrado, respectivamente). As coletas



terminaram no dia 7 de agosto de 2008. Foram realizadas apenas duas análises para o permeado. Em nenhuma destas amostras foi quantificado valor de microcistina, que poderia ser detectado pelo método ELISA.

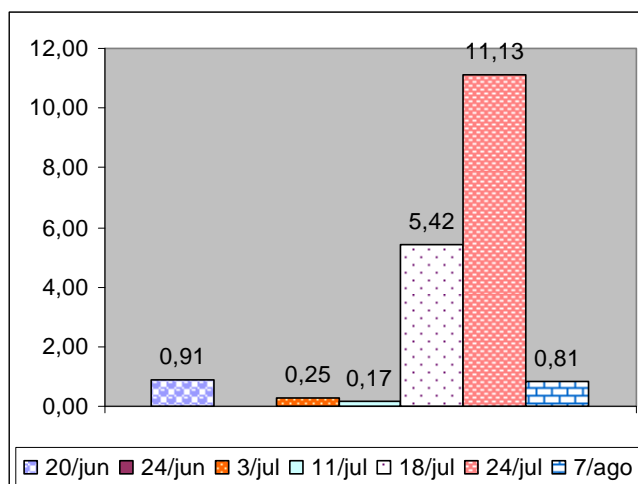


FIGURA 3: Concentração de microcistina no ponto de captação na Lagoa da Pampulha.

Foram realizadas apenas duas análises para o permeado. Em nenhuma destas amostras foi quantificado valor de microcistina, que poderia ser detectado pelo método ELISA.

A Figura 4 refere-se à contagem de cianobactérias no ponto I durante o período mencionado anteriormente. Destacaram-se as espécies *Sphaerocavum brasiliense* e *Cylindrospermopsis raciborskii*.

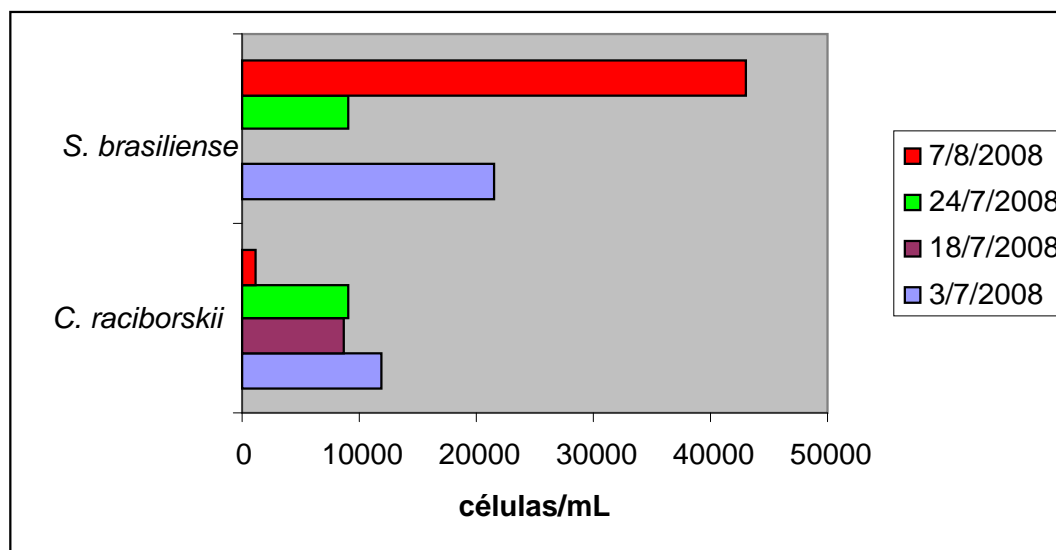


Figura 4: Contagem de cianobactérias no ponto de captação da água bruta.

Analisando a contagem qualitativa e quantitativa de cianobactérias, conclui-se que a microcistina detectada nas análises do ponto de captação nesta época foi proveniente do gênero *Sphaerocavum brasiliense*.

A análise descritiva das principais espécies de cianobactérias, encontradas na Lagoa da Pampulha e após o filtro de areia no período de maio a agosto de 2008, está na Tabela 3.



TABELA 3: Estatística descritiva para as principais espécies de cianobactérias na Lagoa da Pampulha.

Medidas	<i>C. raciborskii</i> no ponto de captação (células/mL)	<i>C. raciborskii</i> após pré-filtro (células/ mL)	<i>Sph. brasiliense</i> no ponto de captação (células/mL)	<i>Sph. Brasiliense</i> após pré-filtro (células/mL)
Mínimo	710	710	0	0
Máximo	147.000	130.107	239.516	20.072
Média geométrica	29.300	21.600	4.160	1.720
Mediana	56.989,3	33.871	21.505	2688
Desvio padrão	54782,4	43.638	71.779	6.279

Analisando a contagem qualitativa e quantitativa de cianobactérias, conclui-se que a microcistina detectada nas análises do ponto de captação nesta época foi proveniente do gênero *Sphaerocavum brasiliense*.

As microcistinas são endotoxinas que são liberadas para a água, quando as células de cianobactérias morrem e entram em senescência. Neste período, não foram encontradas cianobactérias no permeado e nem microcistina de acordo com o método ELISA. Considerando este fato e a probabilidade de grande parte da concentração de microcistinas ainda não ter sido liberada por lise celular a montante do conjunto-piloto, nota-se a grande capacidade da membrana de ultrafiltração na remoção de grande parte das microcistinas.

CONCLUSÕES

Após a realização do monitoramento da qualidade de água antes e após o tratamento com o emprego da tecnologia de ultrafiltração em membrana, pode-se concluir que:

- Os principais gêneros de cianobactérias encontrados na orla da Lagoa da Pampulha durante o período de monitoramento, no ponto situado no Iate Tênis Clube foram *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Sphaerocavum brasiliense*. Foram encontrados valores na ordem de grandeza de 10^3 a 10^5 células mL⁻¹.
- O permeado produzido pela unidade-piloto de ultrafiltração atendeu ao padrão de potabilidade da legislação brasileira para os seguintes parâmetros analisados: turbidez, cor aparente e *Escherichia coli*.
- A membrana de ultrafiltração, fabricada de polietersulfona, removeu completamente células de algas e cianobactérias durante 80 horas de monitoramento da unidade-piloto, no período de abril a agosto. Acrescenta-se que houve uma etapa de pré-filtração em filtro de areia tipo piscina para auxílio do sistema e prolongamento da vida útil da membrana.
- A membrana de ultrafiltração removeu microcistinas (endotoxinas), para um intervalo de pressão de 138 kPa (20 PSI) a 276 kPa (40 PSI). Acrescenta-se, que nesta faixa de pressão não houve lise celular, pois, não foi detectada microcistina no permeado pelo método ELISA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AZEVEDO, S. M. F. O. - Toxinas de cianobactérias: causas e consequências para a Saúde Pública. *Medicina On Line*, v. 1, Ano 1, n. 3. Jul./Ago./Set. 1998.
- 2 EDZWALD, J. K. Algae, Bubbles, Coagulants and Dissolved Air Flotation. *Water Science & Technology*, v. 27, n. 10, p. 67-81, 1993.