

### III-444 – ULTRAFILTRAÇÃO APLICADA AO TRATAMENTO DE ÁGUA: UMA ALTERNATIVA AOS SISTEMAS TRADICIONAIS DE TRATAMENTO

**Herivanda Gomes de Almeida<sup>(1)</sup>**

Tecnóloga em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Mestre em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (DEHA/UFC). Técnica de Suporte em Saneamento da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece). Doutoranda em Engenharia Civil pela UFC/DEHA.

**João da Silva Cavalcante<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestrando em Engenharia Civil - Recursos Hídricos pela UFC. Engenheiro da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).

**Cristiano Dantas Araújo<sup>(3)</sup>**

Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Centro Universitário Farias Brito (FBUNI). Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). Engenheiro da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece).

**José Carlos Mierzwa<sup>(4)</sup>**

Graduado em Engenharia Química pela Universidade de Mogi das Cruzes (UMC). Mestre em Tecnologia Nuclear pela Universidade de São Paulo (USP). Doutor em Engenharia Civil (USP). Pós-doutor na Escola de Engenharia e Ciências Aplicadas de Harvard. Professor e Pesquisador da Universidade de São Paulo e Coordenador de Projetos do Centro Internacional de Referência em Reúso da Água (CIRRA).

**Francisco Suetônio Bastos Mota<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Engenheiro Sanitarista pela Universidade de São Paulo (USP). Mestre em Saúde Pública (Saúde Ambiental) pela Universidade de São Paulo (USP) e Doutor em Saúde Pública (Saúde Ambiental) pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Titular da Universidade Federal do Ceará. Membro da Academia Cearense de Ciências e da Academia Cearense de Engenharia.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Escrivão Pinheiro, 4195 – São João do Tauape - Fortaleza - CE - CEP: 60120-310 - Brasil - Tel: (85) 3101-1949 - e-mail: [halmeidagomes@gmail.com](mailto:halmeidagomes@gmail.com)

#### RESUMO

A aplicação da membrana de Ultrafiltração do tipo Poliacrilonitrila (PAN) como tecnologia alternativa para o tratamento da água do açude Gavião, manancial superficial que abastece a grande Fortaleza e Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) e que apresenta estado de classificação eutrófico, mostrou que houve remoção considerável de organismos fitoplanctônicos, média de 99,2%, de turbidez (98%) e de cor aparente (83%). Os parâmetros Carbono Orgânico Total (COT) e Carbono Orgânico Dissolvido (COD) não apresentaram remoção significativa, respectivamente de 25% e 10%, o que sugere um polimento considerando que a matéria orgânica, sobretudo a dissolvida, não é caracteristicamente eliminada pelo sistema de ultrafiltração. Portanto, diante dos resultados infere-se que, a tecnologia de ultrafiltração é uma grande aliada para a garantia da qualidade da água, uma vez que retém os poluentes mediante a porosidade da membrana e, referindo-se ao material particulado, coloidal e em suspensão, independe do estado da água bruta

**PALAVRAS-CHAVE:** Ultrafiltração, Poliacrilonitrila (PAN), Manancial Superficial, Eutrofização, Segurança Microbiológica.

## INTRODUÇÃO

A tecnologia de Ultrafiltração que utiliza o mecanismo de barreira física, capaz de reter poluentes ligeiramente superiores à porosidade das membranas, tem se destacado como alternativa aos processos tradicionais/convencionais de tratamento de água e esgoto, tanto pela garantia no tratamento, instalação verticalizada (economia de área), e facilidade de automação, como pela redução ou não utilização de produtos químicos, exceto para o processo de limpeza química. Além disso, a ultrafiltração simplifica o processo de tratamento em comparação com outras tecnologias, que, para obter remoções semelhantes, requerem um número maior de operações unitárias (CUARTUCCI, 2020).

Nos últimos anos, diante da má qualidade e escassez dos recursos hídricos, muitas tecnologias de tratamento de água emergiram, sendo a Ultrafiltração (UF) uma tecnologia melhorada e eficiente, principalmente diante de ecossistemas eutrofizados. Assim, considerando a disseminação da tecnologia, desde a primeira fabricação no início da década de 1960, hoje, com o incremento de diferentes tipos de materiais e associações desses, seja para aumentar a eficiência e/ou a vida útil, tem-se a produção de membranas por variados tipos de polímeros, como Poliacrilonitrila (PAN), Polipropileno (PP), Polietileno (PE), Fluoreto de Polivinilideno (PVDF) e outros (LI; JIANG; LI, 2018).

Dentre os dois tipos de membranas (poliméricas e cerâmicas), as poliméricas são as mais conhecidas e mais utilizadas mundialmente com tamanho de poros que variam de 0,01 a 0,1  $\mu\text{m}$ . Assim, são capazes de remover partículas, coloides, vírus e patógenos, sendo a capacidade de separação uma função da seletividade da membrana, intrinsecamente relacionada a carga superficial e tamanho dos componentes a serem separados, além das propriedades próprias da membrana e das condições hidrodinâmicas (BASILE; MOZIA; MOLINARI, 2018; GUO et al., 2020).

A particularidade central da UF é a sua capacidade de controlar (reter) e permear, característica que está diretamente ligada a seleção cuidadosa do material da membrana e o tamanho do poro (ARKHANGELSKY; DUEK; GITIS, 2012). Nesse contexto, o uso da ultrafiltração para o tratamento de águas de mananciais superficiais, principalmente para os que se encontram em estado de eutrofização, é particularmente vantajoso porque oferece maneiras de reter as células de algas e de cianobactérias independente da qualidade da água bruta

Portanto, no presente trabalho, uma unidade piloto de Ultrafiltração do tipo Poliacrilonitrila (PAN) foi avaliada, em termos de desempenho, por intermédio de indicadores de qualidade da água (físicos, hidrobiológicos e orgânicos), como tecnologia alternativa ou de polimento para os estudos de novos processos/arranjos de ampliação ou readequação da Estação de Tratamento de Água – ETA Gavião-CE.

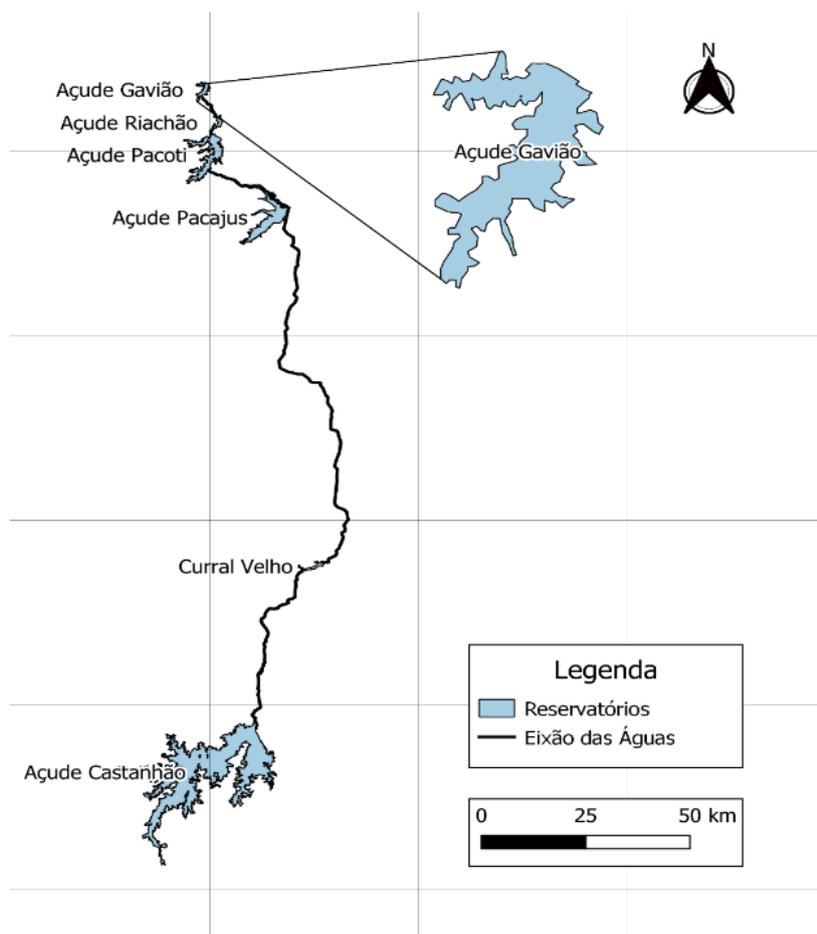
## MATERIAIS E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

O manancial em estudo, açude Gavião, localiza-se no município de Pacatuba, a 20 km de Fortaleza/CE. O Gavião é interconectado por 225 quilômetros de um extenso canal, conhecido como "Eixão das Águas" (Figura 1).

A água bruta captada, nesse reservatório, alimenta as duas grandes Estações de Tratamento de Água, ETA-Gavião e ETA-Oeste, com capacidades nominais de 10m<sup>3</sup>/s e 5m<sup>3</sup>/s, respectivamente. As duas Estações são responsáveis pelo abastecimento de Fortaleza e RMF.

No que se refere a qualidade da água do manancial, o açude Gavião é classificado quanto ao Índice de Estado Trófico (IET) como "Eutrófico", informação disponível no portal hidrológico pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH, 2022).



**Figura 1: Açude Gavião (área de estudo) e reservatórios conectados (Eixão) à montante**

## ULTRAFILTRAÇÃO

Para o estudo, utilizou-se a unidade de ultrafiltração piloto do Centro de Pesquisa em Água (CPA) da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), do fabricante MANN+HUMMEL, composta por 4 módulos de membrana, tipo fibra oca e de poliacrilonitrila (PAN), poro de  $0,025\mu\text{m}$ . A área superficial de cada módulo é de  $60\text{m}^2$ , sendo a capacidade de alimentação por módulo de  $7,2\text{m}^3/\text{h}$ . Durante os ensaios, o sistema operou com vazão média de  $5.421\text{L/h}$  e Fluxo de permeado de  $45\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  (2 módulos em uso).

## AMOSTRAGEM

A amostragem foi realizada em 6 ciclos (batelada), diários, e por 3 dias para o período seco (novembro de 2021). Cada ciclo teve duração de 1 hora e as amostras coletadas a cada 15min para cor e turbidez e a cada 60min para os demais parâmetros, exceto para a análise quantitativa de fitoplâncton (duas amostras foram coletadas para o estudo). Os pontos de amostragem foram na água bruta (captação do açude Gavião) e pós-UF (permeado).

## PARÂMETROS ANALÍTICOS E MÉTODOS

Todos os ensaios seguiram a metodologia proposta pelo Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater (2017). Parâmetro hidrobiológico - Método 10200F, responsável pela quantificação, determinação e identificação do fitoplâncton (algas e cianobactérias), por meio da câmara de Sedgwick-Rafter (ABNT, 2020). Turbidez - Método 2130-B – Nefelométrico. Cor - Método 2120-B. COT e COD - método 5310-B, utilizando-

se de um analisador de carbono orgânico total da Shimadzu, modelo TOC-L. O COD foi determinado após filtração em membrana de 0,45 µm de fibra de vidro.

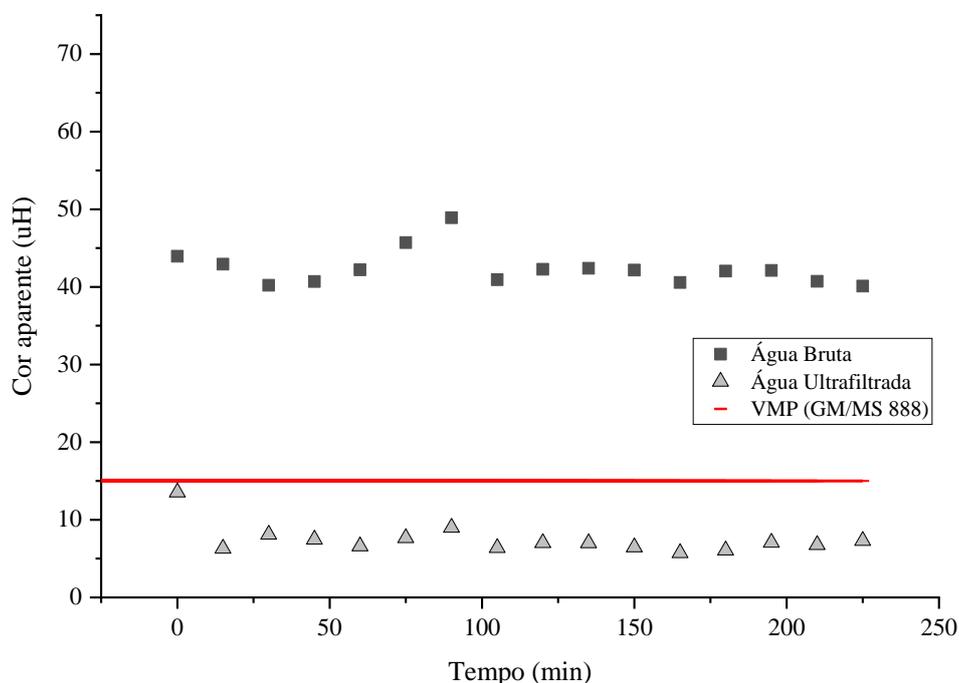
## ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Aplicou-se estatísticas descritiva, evidenciando a mediana como medida de tendência central e a amplitude interquartil (*boxplot*) e para as diferenças significativas entre as fases do tratamento (água bruta e água ultrafiltrada) o teste não paramétrico bicaudal da soma de postos de Wilcoxon ( $\alpha=0,05$ ). Para isso, utilizou-se o software R (R CORE TEAM, 2021), versão 4.1.2, nas funções *boxplot* e *wilcox.test*, através do ambiente de desenvolvimento *Rstudio*.

## RESULTADOS

Os resultados das amostras, coletadas durante o ensaio de tratabilidade da ETA Gavião para a tecnologia de ultrafiltração, estão representados nas Figuras 2, 3, 4, 5 e 6 e Tabela 1, indicando o desempenho da tecnologia em conformidade com os parâmetros estabelecidos. Citam-se os parâmetros de análises na água bruta: Cor aparente bruta (Cor<sub>b</sub>), Turbidez bruta (Turb) e Carbono Orgânico Total e dissolvido bruto (COT<sub>b</sub>, COD<sub>b</sub>); análises na água ultrafiltrada: Cor aparente ultrafiltrada (Cor<sub>u</sub>), Turbidez ultrafiltrada (Tur<sub>u</sub>) e Carbono Orgânico Total e Dissolvido ultrafiltrado (COT<sub>u</sub>, COD<sub>u</sub>). Além dos resultados quantitativos do fitoplâncton em ambas as matrizes. Ressalte-se que, embora as amostras tenham sido coletadas, pontualmente, durante o mês de novembro de 2021, resultando em um curto espaço amostral, considerem que, como não se trata de ensaios para determinação dos parâmetros de fluído da ultrafiltração, os resultados independem da sazonalidade e espaço amostral pela seletividade da tecnologia por barreira física.

Quando se analisa a variável cor aparente (Figura 2 e 6) houve remoção significativa em torno de 83% ( $p < 0,05 = 1.531e-06$ ). No que consiste o anexo 11 da portaria GM/MS N° 888 (padrão organoléptico de potabilidade) para cor aparente, todos os dados estiveram abaixo do VMP (15uH) na água ultrafiltrada.



**Figura 2: Cor aparente na água bruta (Açude Gavião) e tratada (Ultrafiltrada)**

Analisando o parâmetro turbidez, os dados mostraram redução em média de 98% (Figura 6). Os resultados da água ultrafiltrada tiveram em média 0,14uT (Figura 3), sendo o VMP (valor máximo permitido) pela Portaria GM/MS 888, para ultrafiltração, de 0,1uT e para os demais tratamentos de 0,5, 1,0 ou 0,3uT. O teste de Wilcoxon mostrou que há diferenças significativas entre as amostras da água bruta e tratada ( $p < 0,05 = 1.481e-06$ ). Para Xu *et al.* (2019), partículas, colóides e substâncias em suspensão foram eficientemente removidas pela UF

resultando em remoção de 99% de turbidez, o que implica em uma produção de água estável microbiologicamente.

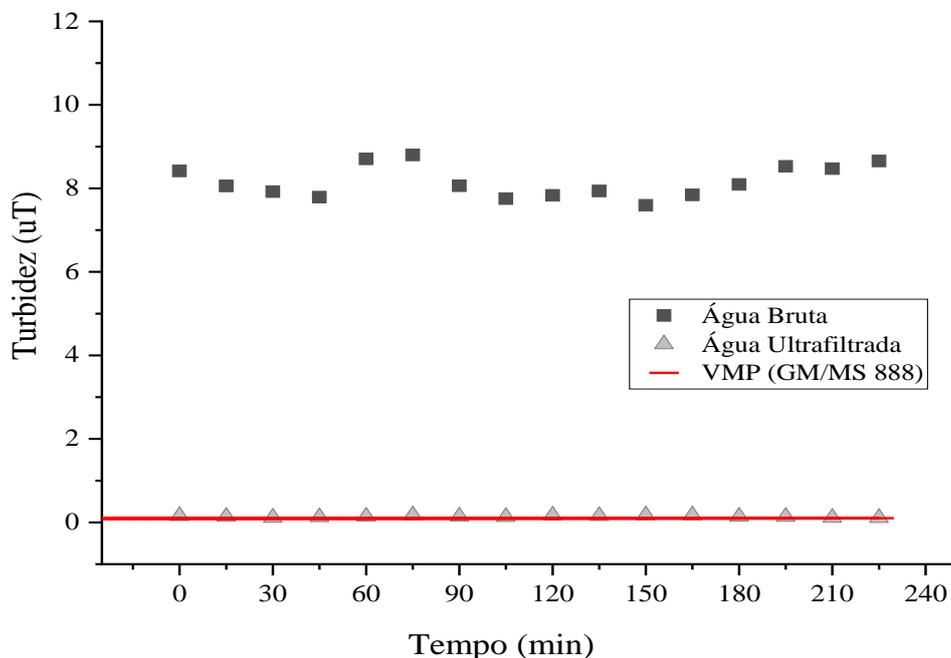


Figura 3: Turbidez na água bruta (Açude Gavião) e tratada (Ultrafiltrada)

De acordo com a Figura 4a (cor aparente), entende-se que as amostras da água bruta estiveram mais dispersas do que as amostras da água ultrafiltrada. Houve, ainda, tendência de equiparação entre mediana (42,15uH) e terceiro quartil (42,65uH), onde 75% dos dados estão abaixo desse valor e 25% acima. Contudo, as amostras da água bruta e tratada apresentaram semelhança de amplitude entre os 25% dos valores mais altos, além da presença de valores acima do valor máximo (discrepantes). Qualitativamente, entende-se que, na água tratada, os valores são mais baixos. A Figura 4b, representada pela turbidez, indica que os valores da água bruta apresentaram assimetria positiva (maior concentração de valores na zona de valores mais reduzidos da amostra) e variação no conjunto de dados, diferente das amostras de turbidez da água ultrafiltrada que não apresentaram variabilidade, característica esperada dos tratamentos por barreira física. Embora se tenha variação de turbidez com a sazonalidade, a turbidez da água ultrafiltrada se mantém constante, abaixo de 0,2NTU em 100% dos ensaios (XIA *et al.*, 2004).

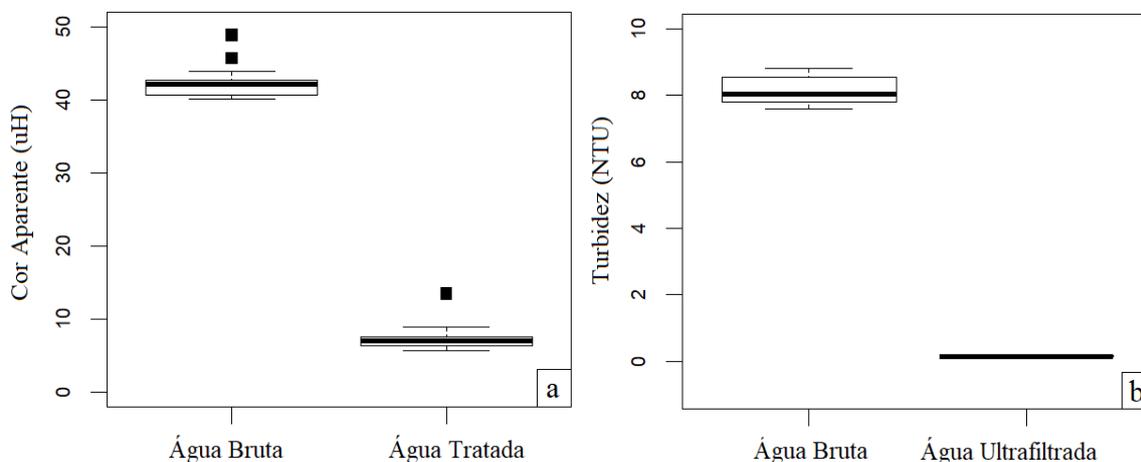


Figura 4: Unidade de Turbidez e Cor Aparente na água bruta e ultrafiltrada

O carbono orgânico total e o dissolvido (Figuras 5a e 5b), que quantificam a quantidade de matéria orgânica, apresentaram valores mais elevados na amostra bruta; maior variabilidade total para COT e menor para COD, apesar de valores discrepantes nesse. Nas amostras tratadas de COT, com 50% dos valores acima da mediana (9.06mg/L) e valor máximo de 9.8mg/L, observa-se uma distribuição simétrica do conjunto de dados. As amostras de COD<sub>u</sub> tiveram maior variabilidade em relação aos dados de COD<sub>b</sub> e os valores entre as amostras foram mais próximos, cita-se valores máximos de 9,3 mg/L e 9,7mg/L, respectivamente. A remoção de COT esteve em torno de 25% e COD de 10% (Figura 6). O teste de hipótese de Wilcoxon mostrou que há diferenças significativas entre as amostras bruta e tratada de COT e COD ( $p < 0.005$ ).

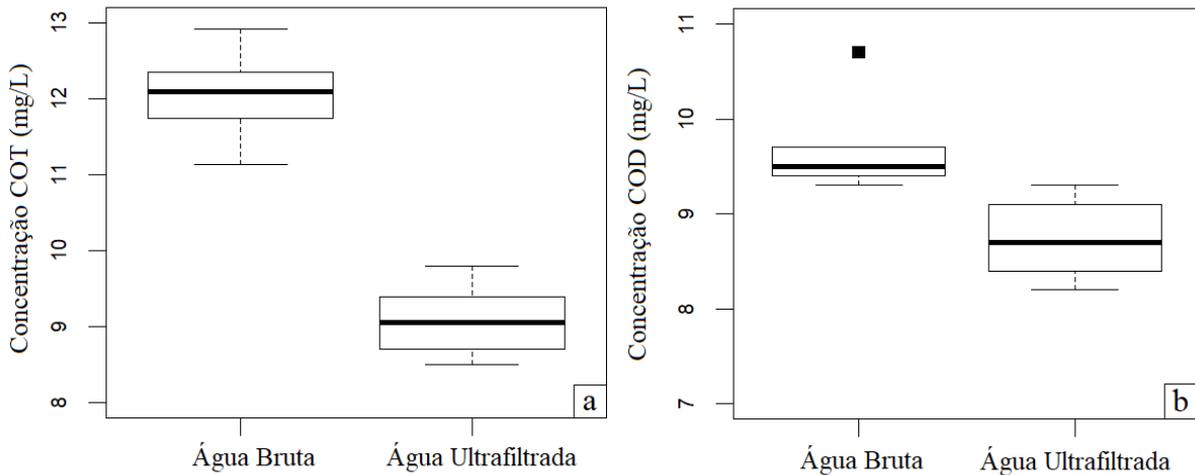


Figura 5 – Concentração de Carbono Orgânico Total e Dissolvido na água bruta e ultrafiltrada

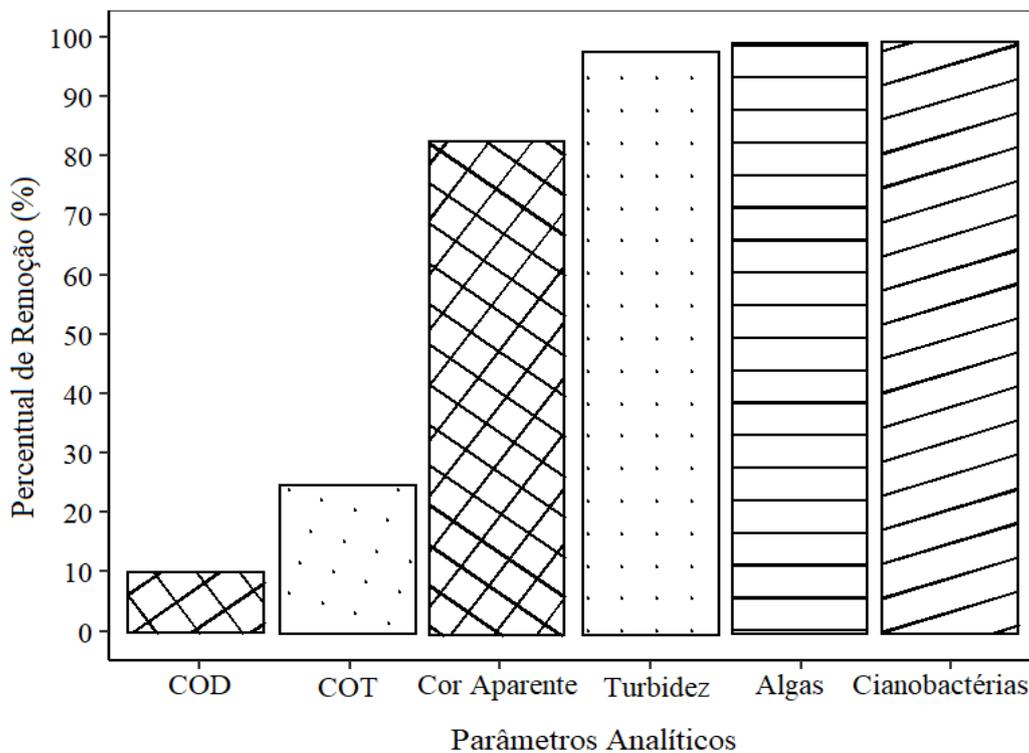


Figura 6: Percentuais de remoção dos parâmetros analisados

Em média, a remoção de células de cianobactérias foi de 99,5% (Figura 6 e Tabela 1), atendendo o limite de contagem de 10.000 células/mL da Portaria GM/MS 888. A tecnologia de membrana apresenta vantagem na remoção de algas, uma vez que o diâmetro das mesmas é muito maior do que o do poro da membrana de ultrafiltração, e essas podem ser interceptadas (LI et al., 2011). No estudo de XU et al. (2019), o processo de ultrafiltração alcançou uma remoção significativa de células algais (98,7%) quando comparado ao tratamento convencional de coagulação, adsorção e sedimentação (52,7%) e esse quando combinado com filtro de areia de 78,3%.

**Tabela 1- Cianobactérias e demais grupos antes e após tratamento e percentual de remoção**

| Fitoplâncton      | Amostragem 1        |                             |         | Amostragem 2        |                             |         |
|-------------------|---------------------|-----------------------------|---------|---------------------|-----------------------------|---------|
|                   | Água Bruta (cél/mL) | Água Ultrafiltrada (cél/mL) | Remoção | Água Bruta (cél/mL) | Água Ultrafiltrada (cél/mL) | Remoção |
| 1. Cianobactérias | 287.584,16          | 1.117,08                    | 99,6%   | 248.239,45          | 1.403,10                    | 99,4%   |
| 2. Demais grupos  | 9.541,20            | 25,90                       | 99,7%   | 2.980,10            | 52,70                       | 98,2%   |

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados, concluiu-se que:

A tecnologia de ultrafiltração, aplicada ao tratamento da água do açude Gavião-CE, mostrou-se eficiente para a remoção de turbidez, objetivo primário do tratamento para a garantia da qualidade microbiológica da água, assim como para a cor aparente, parâmetros inerentes as amostras com material coloidal ou em suspensão (particulado), atendendo, portanto, os requisitos da Portaria GM/MS 888. Isso sugere que a UF tem potencial para o tratamento de água com maior grau de segurança microbiológica.

Referindo-se a matéria orgânica, medida pelo carbono orgânico total e dissolvido (COT e COD), recomenda-se um polimento, considerando que a matéria orgânica, sobretudo a dissolvida, não é substancialmente eliminada pelo sistema de ultrafiltração.

Quando se trata da remoção de organismos fitoplanctônicos, houve remoção considerável (99,5%), resultado que pode trazer segurança em períodos de proliferação de algas e, principalmente, de cianobactérias, embora a quantidade residual (0,5%) de organismos no permeado seja representada, em média, por 97% de cianobactérias e de 3% para os demais grupos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 23. ed. Washington, 2017.
2. ARKHANGELSKY, E.; DUEK, A.; GITIS, V. Maximal pore size in UF membranes. *Journal of Membrane Science*, P. 394- 395, 89 - 97. 2012.
3. BASILE, A; MOZIA, S; MOLINARI, R. *Current Trends and future Developments on (Bio-) Membranes: Photocatalytic Membranes and Photocatalytic Membrane reactors*. Edit: Elsevier, Amsterdam-Netherlands, 2018.
4. COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. <https://portal.cogerh.com.br/>. Monitoramento/Portal Hidrológico (2022).
5. CUARTUCCI, M. Ultrafiltration, a cost-effective solution for treating surface water to potable standard. *Revista Water Practice & Technology*, v.15, n.2, 2020.
6. GUO, H. et al. Development and investigation of novel antifouling cellulose acetate ultrafiltration membrane based on dopamine modification, *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.223>.
7. LI, Xiangmin; JIANG, Lei; LI, Haixiang. Application of Ultrafiltration Technology in Water Treatment. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 186 012009, 2018.
8. LI, T.; DONG, B. Z.; LIU, Z.; CHU, W.H. Characteristic of algogenic organic matter and its effect on UF membrane fouling. *Revista Water Science & Technology: Water Supply*, V. 64, n.8, 2011.
9. MIERZWA, J. C.; SILVA, M. C. C.; RODRIGUES, L. D. B.; HESPANHOL, I. Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e



operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Vol 13, n1, 2008.

10. XIA, Shengji *et al.* Study of reservoir water treatment by ultrafiltration for drinking water production. **Desalination**, [S.L.], v. 167, p. 23-26, ago. 2004. Elsevier BV.

11. XU, Daliang *et al.* A comparison study of sand filtration and ultrafiltration in drinking water treatment: removal of organic foulants and disinfection by-product formation. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 691, p. 322-331, nov. 2019.