

Clarificador de fluxo ascendente em pedregulho com cinco camadas para tratamento de água bruta com presença de algas: estudo piloto na estação de tratamento de água Castello Branco/PE

Ascending flow clarifier in pebbles with five layers for treatment of raw water with algae presence: pilot study at WTP Castello Branco/PE

Joana Eliza de Santana^{1*} , Romero Correia Freire^{2,3} , Júlia Rodrigues Neves² ,
Olga Carolina Amaral Santos¹ , Fábio Henrique Portella Correa de Oliveira² 

RESUMO

A presença de algas pode dificultar o tratamento de água em estações de tratamento de água (ETA) convencionais, reduzindo a sedimentação dos flocos, colmatando o leito filtrante e aumentando o consumo de produtos químicos. Este trabalho visa estudar a utilização de um clarificador ascendente em pedregulho com cinco camadas, no tratamento da água bruta que chega à ETA Castello Branco/PE, em que há histórico de algas. A granulometria do leito estudado variou entre 2,0 e 25,4 mm, e a taxa utilizada foi de 80 m³/m².dia. A densidade total média de cianobactérias na Barragem Tapacurá, que corresponde a 52% da água bruta que chega à ETA, foi de 49.713 células/mL, sendo 85,8% do total de cianobactérias correspondente a *Cylindrospermopsis*. Como resultado, a água clarificada (clarificador piloto) apresentou menor valor de cor e turbidez médias quando comparada à água decantada da ETA (redução de 72,8 e 37,7%, respectivamente), e cor média 20% menor quando comparada à água tratada, com a turbidez se mantendo no mesmo patamar (- 0,5 uT). A utilização do clarificador possibilitou reduzir a dosagem de coagulante utilizado na ETA pela metade, resultando em cor de 4,0 uC e turbidez média de 0,57 uT (com mínima de 0,35 uT) na água clarificada, com possibilidade de atingir, após a filtração, turbidez menor que 0,3 uT.

Palavras-chave: cianobactérias; *Cylindrospermopsis*; Barragem Tapacurá.

ABSTRACT

The presence of algae can make it difficult to treat water in conventional WTPs due to reduced deposition of floc, clog of filter bed, and increased dosages of chemical products. The present study aimed to evaluate the performance of an ascending flow clarifier in pebbles with five layers in the treatment of raw water that arrives at Castello Branco/PE WTP, where there is a history of presenting algae. Particle size of the filter bed studied ranged from 2.0 to 25.4 mm and filtration rate used was 80 m³/m².day. The average total density of cyanobacteria in the Tapacurá Dam, which corresponds to 52% of the raw water that reaches the WTP, was 49,713 cells/mL, being 85.8% of the total of cyanobacteria corresponding to *Cylindrospermopsis*. The results showed a reduction of color and turbidity in the clarified water (pilot clarifier) when compared to WTP decanted water (reduction of 72.8 and 37.7%, respectively), and average color 20% lower than treated water, with no significant variation in average turbidity value (- 0.5 uT). The clarifier usage enabled the reduction of coagulant dosage by half of that applied in WTP, resulting in a color of 4.0 uC and average turbidity of 0.57 uT (minimum value of 0.35 uT) to clarified water, with possibility to reach turbidity lower than 0.3 uT, after filtration.

Keywords: cyanobacteria; *Cylindrospermopsis*; Tapacurá Dam.

1. INTRODUÇÃO

As algas são organismos clorofilados que podem ser encontrados em quaisquer mananciais de superfície, independentemente do seu estado trófico. O seu desenvolvimento depende de alguns fatores, como luz solar e aporte de

nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, sendo o uso do solo na bacia de drenagem para o reservatório um importante fator de contribuição para a proliferação de algas (NICHETTI *et al.*, 2022). A presença de algas em mananciais utilizados para o abastecimento pode representar

¹Universidade Federal de Pernambuco - Recife (PE), Brasil.

²Companhia Pernambucana de Saneamento - Recife (PE), Brasil.

³Instituto Federal de Pernambuco - Recife (PE), Brasil.

*Endereço para correspondência: Avenida Cruz Cabugá, 1387, Santo Amaro, Recife, PE, CEP: 50040-905. e-mail: joana.santana@ufpe.br

sérios problemas para os administradores dos sistemas de distribuição de água (BOX *et al.*, 2021).

A interferência da presença de algas no tratamento de água depende dos grupos predominantes presentes. Alguns podem afetar o processo do tratamento de diferentes formas: aumentando o consumo produtos químicos (coagulantes, alcalinizantes e polímeros); reduzindo a sedimentabilidade dos flocos, prejudicando a decantação; reduzindo a carreira de filtração, pois colmatam o leito filtrante, aumentando o risco de transpasse de material particulado, o que promove maior consumo de água para a lavagem dos filtros; elevando a demanda de cloro na desinfecção em razão da presença de matéria orgânica, com maior possibilidade de formação de organoclorados; e alterando os parâmetros organolépticos da água tratada pela produção de geosmina e o MIB-2-metil-isborneol, que são compostos metabólicos desses organismos (LIBÂNIO, 2010; CETESB, 2013).

Diante das opções de tratamento existentes, a flotação por ar dissolvido é muito indicada para a remoção de algas, mas a filtração ascendente com pedregulhos associada à filtração descendente é mais acessível e tem menor custo de operação.

Di Bernardo (2003) revisou alguns trabalhos com dupla filtração, na qual o clarificador era de fluxo ascendente com pedregulhos, para tratamento de águas com presença de algas, incluindo variações nas granulometrias das camadas e taxas de filtração. Ele observou que essa tecnologia apresenta viabilidade na remoção de turbidez e algas, reforçando, porém, a importância de ensaios em escala-piloto em função das especificidades de cada ETA e da qualidade da água bruta.

Em seu trabalho, Di Bernardo e Dantas (2005b) mostraram o uso de filtros ascendentes com pedregulhos de cinco camadas e filtros descendentes para tratar águas com presença de algas, conseguindo remoção média de 86,6% na turbidez e utilizando taxa de 60 m³/m².dia no filtro ascendente com pedregulhos, em que a turbidez da água bruta variou entre 2,3 e 13 uT.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi verificar a viabilidade de utilizar o clarificador ascendente em pedregulho com cinco camadas no tratamento de água bruta

com presença de algas. Utilizou-se uma faixa granulométrica de 2 a 25,4 mm, garantiu-se uniformidade na porosidade e atuou-se à taxa de 80 m³/m².dia, visando à melhoria na qualidade da água produzida de forma a atender o que preconiza a Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021).

2. METODOLOGIA

O teste foi realizado na ETA Castello Branco, cujo manancial principal (Barragem Tapacurá) já possui histórico de massivas florações de microalgas e cianobactérias. A concepção da ETA é convencional (calha Parshall, floculador mecanizado, decantadores e filtros descendentes), dividida em duas etapas que funcionam paralelamente: a primeira, com decantador convencional, e a segunda, com decantador lamelar. A ETA, no momento do teste, tinha como mananciais o Rio Capibaribe e Barragens Várzea do Una, Duas Unas e Tapacurá; esta última sendo responsável por, em média, 52% do fornecimento total. A água bruta utilizada no teste foi bombeada da caixa de reunião, localizada antes da calha Parshall, e a água clarificada produzida pelo clarificador piloto foi devolvida para a entrada da calha Parshall. A dosagem média do coagulante sulfato de alumínio da ETA no momento do teste foi de 55,8 mg/L.

O clarificador piloto foi confeccionado em acrílico e fibra de vidro, com diâmetro interno de 0,29 m e altura de 1,5 m, sendo 0,58 m ocupado pelas cinco camadas de pedregulhos (**Figura 1**). A descrição encontra-se na **Tabela 1**.

A vazão de água bruta no teste piloto foi de 248,4 L/h, e o rotâmetro instalado, responsável pelo ajuste dessa vazão, tinha capacidade de 500 L/h. Para promover a mistura rápida, 1.000 s⁻¹ (ABNT, 1992), foi feito um estrangulamento na tubulação, simulando um Tubo de Venturi, antes da entrada do clarificador. O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio à dosagem de 30 ppm.

A dosagem escolhida foi um pouco maior que 50% da utilizada na ETA Castello Branco. Por ser uma ETA convencional, ela utiliza o mecanismo de coagulação por varredura, em que os flocos deverão apresentar maior tamanho e densidade suficiente para permitir sua deposição nos decantadores. Já nos clarificadores ascendentes, o mecanismo é o de adsorção e neutralização de cargas, em



Fonte: elaboração própria.

Figura 1 - Clarificador piloto carregado com o leito de pedregulhos.

Tabela 1 - Caracterização das camadas do clarificador piloto.

Camada	Espessura da camada (cm)	Faixa de diâmetro dos grãos (mm)
1ª	18	19 a 25,4
2ª	10	12,7 a 19
3ª	10	7,9 a 12,7
4ª	10	4,8 a 7,9
5ª (topo)	10	2 a 4,8

Fonte: elaboração própria.

que não há a necessidade de se formarem flocos grandes e sim de desestabilizar as partículas, para que estas sejam retidas no meio granular do clarificador; assim, as dosagens de coagulante utilizadas tendem a ser inferiores às

necessárias no mecanismo de coagulação por varredura (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012).

A descarga do clarificador piloto era efetuada quando a perda de carga atingia 80% da altura do leito, medida em manômetro, ou quando a turbidez da água clarificada ultrapassava 3 uT — parâmetro utilizado como máximo na água decantada de ETA convencional (DI BERNARDO; DANTAS, 2005a) e também admitido como máximo para o clarificador piloto. Era realizada com o auxílio de uma linha de manutenção de carga hidráulica, com a lâmina de água de 30 cm acima do leito de pedras, o que garantia limpeza uniforme (**Figura 2**). A velocidade nessa linha foi 20% superior à velocidade de descarga, mantendo a carga hidráulica suficiente.

Os parâmetros considerados para caracterizar a água bruta em estudo e os respectivos equipamentos utilizados são indicados na **Tabela 2**. Os parâmetros de cor e turbidez da água clarificada do clarificador piloto foram comparados aos da água decantada produzida pela ETA. Para as análises quali-quantitativas de cianobactérias na água bruta que abastece a ETA Castelo Branco, as amostras foram concentradas 10x e visualizadas em microscópio óptico invertido (Leica) com aumento de 400x. A classificação foi realizada de acordo com Bicudo e Menezes (2006).

O desenvolvimento deste trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A **Tabela 3** apresenta as principais características da água bruta, e a **Tabela 4** aponta as características das outras águas em estudo: água decantada (considerando as duas etapas da ETA) e tratada da ETA Castelo Branco e a água clarificada do clarificador piloto, obtidas durante o período do teste.

Os mananciais Rio Capibaribe, Barragens Duas Unas e Várzea do Una não apresentaram histórico de floração de algas, e foi observado o valor máximo de densidades igual a 140 células/mL no período de estudo. Os percentuais dos gêneros de cianobactérias detectados na Barragem Tapacurá encontram-se na **Figura 3**. O valor médio de densidade total de cianobactérias para o período de estudo



Fonte: elaboração própria.

Figura 2 - Descarga no clarificador piloto.

Tabela 2 - Equipamentos utilizados nas medidas de turbidez e cor aparente.

Parâmetro	Equipamento utilizado
Turbidez	Turbidímetro Hach 2100Q
Cor aparente	Colorímetro Digimed DM-COR

Fonte: elaboração própria.

Tabela 3 - Características da água bruta que abastece a estação de tratamento Castelo Branco.

Parâmetros	Valores		
	Máximo	Médio	Mínimo
Cor (uC)	89	60	40
Turbidez (uT)	9,9	5,45	2

Fonte: elaboração própria.

foi 49.713 células/mL, com valor máximo de 119.411 células/mL. As densidades de cianobactérias mantiveram-se elevadas na Barragem Tapacurá, que já possui frequência de monitoramento semanal, conforme estabelecido na Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021 (monitoramento semanal acima de 10.000 células/mL) (BRASIL, 2021), confirmando o histórico de florações.

Das espécies observadas no estudo, a maior contribuição foi do gênero *Cylindrospermopsis*, dominante até mesmo nas amostras, já que as suas concentrações corresponderam a mais de 50% da densidade total de cianobactérias (56,1%).

De acordo com o resultado das análises hidrobiológicas, 85,8% das cianobactérias presentes na água bruta da Barragem Tapacurá são filamentosas, com destaque para *Cylindrospermopsis*, que foi dominante durante o período de estudo. Além de ser reconhecidamente um gênero produtor de cianotoxinas (JIANG *et al.*, 2020), estudos têm mostrado que *Cylindrospermopsis* pode produzir e liberar o metabólito geosmina, podendo conferir gosto e odor à água (HO *et al.*, 2012).

No período de estudo, os valores de cianotoxinas (microcistina e saxotoxina) na água tratada da ETA Castelo Branco não ultrapassaram os limites preconizados pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021), mantendo-se com os resultados < 0,1 µg/L. Não foram feitas as análises na água clarificada da ETA Piloto.

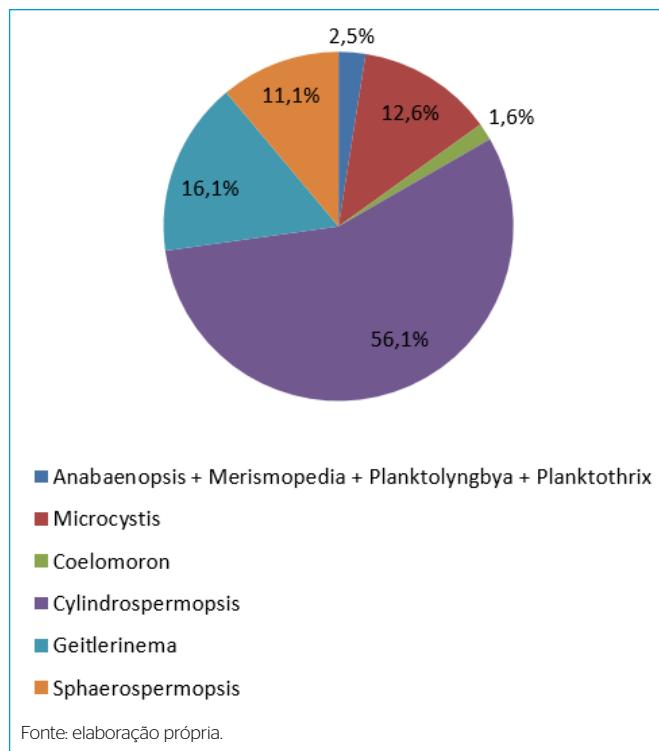
Conforme os resultados obtidos no teste piloto, observa-se que há diminuição nos parâmetros de cor e turbidez médios (72,8 e 37,7%, respectivamente), quando feita a comparação da água clarificada com a água decantada da ETA Castelo Branco. A cor da água clarificada da unidade piloto conseguiu ser menor que a da água tratada da ETA em questão (redução de 20%), com a turbidez mantendo-se no mesmo patamar de ~ 0,5 uT. Contudo, deve-se ter em vista que a água clarificada ainda passará pelos filtros descendentes, podendo esses parâmetros serem reduzidos ainda mais, com grande probabilidade de atingir-se a meta operacional de turbidez abaixo de 0,3 uT na água filtrada, reduzindo o risco microbiológico para *Cryptosporidium*, *Giardia*, vírus e bactérias. Isso porque, segundo Heller *et al.* (2004), a água filtrada de um sistema de filtração bem

Tabela 4 - Características das águas decantada (estação de tratamento), tratada (estação de tratamento) e clarificada (Piloto).

Parâmetros	Decantada (ETA)			Tratada (ETA)			Clarificada (Piloto)		
	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo
Cor (uC)	17,5	14,7	10	5	5	5	7	4	2,7
Turbidez (uT)	1,8	0,9	0,7	0,7	0,5	0,3	3	0,57	0,35

ETA: estação de tratamento de água.

Fonte: elaboração própria.

**Figura 3** - Percentual de contribuição da densidade dos gêneros de cianobactérias em relação à densidade total nas amostras de água da Barragem Tapacurá durante o período estudado.

operado, com turbidez < 0,5 uT, pode alcançar remoção e inativação de 99,9% de cistos de *Giardia* (quando a filtração é seguida de desinfecção); e, com turbidez < 0,3 uT, pode alcançar remoção de 99% de oocistos de *Cryptosporidium*.

A dosagem do coagulante utilizado no teste foi quase metade da utilizada na ETA, para obter cor e turbidez ainda menores, ou seja, menor gasto com coagulantes para obter água clarificada de melhor qualidade em comparação com a decantada.

Silva (2009) testou um clarificador piloto cujos seixos tinham a mesma granulometria deste trabalho, operando à taxa de 120 m³/m².dia e obtendo os resultados da **Tabela 5**; a diferença encontrava-se na profundidade das camadas, que eram maiores que as praticadas neste estudo.

Tabela 5 - Clarificador com fluxo ascendente em pedregulho com cinco camadas testado por Silva (2009).

Camadas	Parâmetro	Água bruta	Água Clarificada
0,60 m - 2,0 a 4,8 mm (topo)	Cor (uC)	182	< 1 a 14
0,30 m - 4,8 a 7,9 mm	Turbidez (uT)	29,6	0,42 a 2,41
0,20 m - 7,9 a 12,7 mm			
0,15 m - 12,7 a 19,0 mm			
0,15 m - 19,0 a 25,4 mm			

Fonte: elaboração própria.

A análise de cianobactérias apresentada por ele na água bruta gerou o resultado de 433 células/mL, muito abaixo do valor médio encontrado na água bruta da ETA Castelo Branco (49.713 células/mL), mostrando que o clarificador testado consegue reduzir os parâmetros de cor e turbidez a níveis tão baixos quanto os de Silva (2009), mesmo com alta concentração de cianobactérias.

Comparando-se os custos dos clarificadores de fluxo ascendente com três (já implementados em algumas ETA) e cinco camadas de pedregulhos em escala real (**Tabela 6**), constata-se que o clarificador com três camadas de seixos apresenta preço mais elevado, principalmente em razão da maior altura total de seixos e da diferença na granulometria utilizada.

Na prática, com a granulometria mais grossa, o clarificador de três camadas não consegue reter tão bem as impurezas como o clarificador de cinco camadas. O gasto com água de processo (utilizada nas descargas) também é menor para o segundo tipo. Estações de tratamento de efluentes de ETA com menor gasto de água de processo ficam mais atrativas economicamente, levando-se em conta o menor volume de resíduos a ser tratado.

4. CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado, pode-se concluir que o clarificador de fluxo ascendente com cinco camadas produziu água clarificada com cor e turbidez médias

Tabela 6 - Custos dos clarificadores de fluxo ascendente com três e cinco camadas de seixos.

Clarificador com 3 camadas de seixos	Clarificador com 5 camadas de seixos
Diâmetro: 3,7 m	Diâmetro: 3,7 m
Gasto de água mensal com descargas*: 72 m ³	Gasto de água mensal com descargas*: 40 m ³
Altura total das camadas: 2,10 m	Altura total das camadas: 1,60 m
Camadas: 0,70 m - 24 a 36 mm 0,70 m - 19 a 36 mm 0,70 m - 12 a 19 mm	Camadas: 0,60 m - 19,0 a 25,4 mm 0,35 m - 12,7 a 19,0 mm 0,25 m - 7,9 a 12,7 mm 0,20 m - 4,8 a 7,9 mm 0,20 m - 2,0 a 4,8 mm
Valor estimado em 2019**: R\$ 24.149,16	Valor estimado em 2019**: R\$ 17.490,17

*Para a mesma qualidade e vazão de água bruta; **orçamento obtido com a empresa Construtora América Empreendimentos.
Fonte: elaboração própria.

menores que a água decantada (redução de 72,8 e 37,7%, respectivamente), redução de 20% da cor em relação à água tratada da ETA Castello Branco e turbidez média mantendo-se próxima de 0,5 uT. Com a dosagem de 30 mg/L de sulfato de alumínio (metade da dosagem utilizada na ETA), foi possível obter cor de 4 uC e turbidez média de 0,57 uT (com mínima de 0,35 uT) na água clarificada, alcançando-se valores próximos (e até menores) que o preconizado pela portaria (água filtrada < 0,5 uT),

sem mesmo passar pelo filtro descendente. Após a filtração, a turbidez poderá atingir valores menores que 0,3 uT, e após clorada garantirá água tratada com mínimo risco microbiológico.

Como próxima etapa dos estudos, recomenda-se acrescentar outro piloto como filtro descendente, verificando-se os percentuais de remoção de algas e fazendo-se uma avaliação de cianotoxinas na água filtrada, haja vista que a cianobactéria predominante (*Cylindrospermopsis*) as produz.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 12216: Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público*. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

BICUDO, C.E.; MENEZES, M. *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil*. 2. ed. São Paulo: RiMa, 2006.

BOX, J.; OTTO, J.; KENT, W.; HIGGINS, B.T. Investigation of covers and chemical treatment for the suppression of cyanobacteria in water treatment systems. *Water and Environment Journal*, v. 35, n. 2, p. 463-472, 2021. <https://doi.org/10.1111/wej.12643>

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Manual de cianobactérias planctônicas: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais*. São Paulo: CETESB, 2013.

DI BERNARDO, L. (coord.). *Tratamento de água para abastecimento por filtração direta*. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, Projeto PROSAB, 2003.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005a. v. 1.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005b. v. 2.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B.; VOLTAN, P.E.N. *Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água*. São Carlos: LdiBe, 2012.

HELLER, L.; BASTOS, R.K.X.; VIEIRA, M.B.C.M.; BEVILACQUA, P.D.; BRITO, L.L.A.; MOTA, S.M.M.; OLIVEIRA, A.A.; MACHADO, P.M.; SALVADOR, D.P.; CARDOSO, A.B. Oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 13, n. 2, p. 79-92, jun. 2004. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742004000200002>

HO, L.; DREYFUS, J.; BOYER, J.; LOWE, T.; BUSTAMANTE, H.; DUKER, P.; NEWCOMBE, G. Fate of cyanobacteria and their metabolites during water treatment sludge management process. *Science of the Total Environment*, v. 424, p. 232-238, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.025>

JIANG, Y.; CHEN, Y.; YANG, S.; LI, R. Phylogenetic relationships and genetic divergence of paralytic shellfish toxin- and

cyliospermopsin- producing *Cylindrospermopsis* and *Raphidiopsis*. *Harmful Algae*, v. 93, p. 101792, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101792>

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

NICHETTI, L.M.K.; DYSARZ, J.M.; BATISTA, A.G.; DALONSO, N. Avaliação das florações de cianobactérias nos rios de abastecimento do município de Joinville. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 27, n. 3, p. 477-487, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200289>

SILVA, G.G.S. *Tratamento de água de reservatório por dupla filtração, oxidação e adsorção em carvão ativado granular*. 2009. 131f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2009.