

I-342 - REMOÇÃO DE *Cylindrospermopsis raciborskii* EM ENSAIO DE ESCALA DE BANCADA

Josemarque Lima da Rosa⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Francisco Beltrão (UTFPR). Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Priscila Soraia da Conceição⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa. Docente na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Francisco Beltrão (UTFPR - FB).

Elisabete Hiromi Hashimoto⁽³⁾

Farmacêutica pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Mestre e Doutora em Ciências de Alimentos pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Docente na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Francisco Beltrão (UTFPR - FB).

Endereço⁽¹⁾: Rua Espírito Santo, 990 - Centro - Londrina - PR- CEP: - Brasil - Tel: (46) 988019593 - e-mail: josemarque.lima@yahoo.com

RESUMO

A ocorrência de florações de cianobactérias toxigênicas gera um grande risco de contaminação da água potável e pode causar sérios danos à saúde humana e de animais. Dentre as várias espécies tóxicas que ocorrem no Brasil, a espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* é comum em reservatórios. A ocorrência de cianobactérias gera diversos transtornos para as estações de tratamento de água e medidas de controle de florações em mananciais nem sempre resolvem esses problemas. Portanto, o tratamento empregado na potabilização da água deve ser eficiente na remoção das células de cianobactérias, contudo, no Brasil, o tratamento convencional é o mais empregado e possui eficiência limitada na remoção, tanto de células de cianobactérias, como de cianotoxinas. Assim, torna-se necessária a otimização do tratamento convencional frente à remoção de cianobactérias. Partindo dessa premissa, o presente trabalho teve como objetivo, realizar ensaios de tratabilidade com a presença da cepa de cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* ITEP A1. Os ensaios consistiram na simulação do tratamento convencional em escala de bancada com o uso do equipamento jarteste e um conjunto de filtros de laboratório de areia adaptados, com o coagulante policloreto de alumínio (PAC) para a remoção de células de *Cylindrospermopsis raciborskii* com densidade aproximada na ordem de 10^4 cel mL⁻¹. Por meio dos diagramas de isoefficiências, percebe-se uma grande influência do pH de coagulação sobre a eficiência de remoção de turbidez, sendo que no intervalo de pH de 6 a 7,5 foram obtidos os melhores resultados, doses mais altas de coagulante (30 a 100 mg L⁻¹ de PAC) obtiveram melhores resultados. Entre as doses mais baixas, a dosagem de 4 mg L⁻¹ de Al³⁺ (20 mg L⁻¹ PAC), a um pH de coagulação de 7,0, foi o ponto que apresentou eficiência satisfatória, com 95% para turbidez e 65% para cor aparente após a filtração. Demonstrando assim, que com a melhoria das condições de coagulação, pode-se obter remoções de cianobactérias satisfatórias com 95% de remoção, com o uso de doses menores de coagulante e alcalinizante.

PALAVRAS-CHAVE: Cianobactérias, *Cylindrospermopsis*, tratamento, remoção.

INTRODUÇÃO

A intensa atividade agrícola e industrial e o crescimento da taxa de urbanização, juntamente com a falta de redes de coleta e de tratamento de esgoto, acabam contribuindo para a deterioração dos corpos hídricos. O aumentada concentração de nutrientes na água, principalmente fósforo e nitrogênio, os principais componentes para que haja a floração de cianobactérias e algas (OLIVEIRA, 2005; SANTIAGO, 2008). O que preocupa é o fato que algumas espécies são capazes de produzir compostos tóxicos a seres humanos e animais, as cianotoxinas (CHORUS e BARTRAN, 1999; FUNASA, 2003). No Brasil, já foram relatadas a ocorrência de cerca de 20 espécies potencialmente toxigênicas (AZEVEDO, 2002), dentre as quais, a espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* se destaca pela sua distribuição geográfica, dominância em diferentes estações do ano e capacidade de produção de cilindropermopsina e/ou saxitoxina, hepato e neurotoxinas (BITTENCOURT-OLIVEIRA e MOLICA, 2003, TUCCI e SANT'ANNA, 2003, PÁDUA *et al.*, 2006; FUNASA, 2007).

O aparecimento de cianobactérias em reservatórios de abastecimento causa diversos problemas operacionais em estações de tratamento de águas (ETAs). A eficiência prejudicada das ETAs causa a perda da qualidade da água tratada com o aparecimento de sabor e odor, além do risco de contaminação por cianotoxinas. A legislação brasileira além de estabelecer limites para algumas cianotoxinas (ppb) prevêem o monitoramento de clorofila como indicador nos mananciais com potencial de floração (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011).

A fim de potabilizar a água, diversas unidades de operação podem ser empregadas isoladamente ou em conjunto, a escolha do método empregado é realizada em função das características da água bruta. No Brasil, a forma mais empregada para o tratamento de águas para abastecimento é o chamado tratamento convencional, composto pelas unidades de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção (CHORUS e BARTRAN, 1999; OLIVEIRA, 2008; SANTIAGO, 2008). Por possuir eficiência limitada na remoção de cianobactérias e cianotoxinas, o tratamento convencional pode ser complementado pela tomada de medidas preventivas como controle de florações ou podem ser realizados estudos para viabilizar a melhoria nos seus processos de remoção.

Nesse contexto, estudos em escala de bancada, com o uso de *jarteste* visando a melhoria das condições operacionais, como as condições de coagulação, otimizando parâmetros como as dosagens de coagulante e de ajuste de pH, que juntamente com o uso de filtros de laboratório de areia (FLAs) fornecem condições mais próximas dos processos que ocorrem em uma ETA. Como o uso de ensaios em bancada é uma ferramenta de fácil execução e implantação em escala laboratorial, o seu uso para ensaios de tratabilidade torna-se mais vantajoso em relação ao uso de escala piloto para a obtenção da melhor dosagem de coagulante e pH de coagulação para a remoção de contaminantes, assim nesse caso, fez-se o uso de ensaios em bancada para a otimização do tratamento convencional utilizando o policloreto de alumínio como coagulante, para avaliar a remoção de cianobactérias como contaminante de água para o abastecimento humano.

Assim, o trabalho teve como objetivo avaliar a remoção da cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* toxigênica pelo método de tratamento convencional nas etapas de sedimentação e filtração em escala de bancada com uso de *jarteste* e filtros de laboratório de areia (FLAs) visando obter a melhor condição de remoção de cianobactérias.

MATERIAIS E MÉTODOS

CULTIVO DA CEPA TESTE DE *Cylindrospermopsis raciborskii*

Para os ensaios, foi usada a cepa de cianobactéria da espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* - ITEP A1, produtora de saxitoxinas. A cepa de cianobactéria foi mantida em meio de cultivo ASM-1 (GORHAM, 1964 modificado BITTENCOURT-OLIVEIRA, 2003), para a manutenção da cultura, a cepa foi mantida, em triplicata, em tubos de ensaio com 10 mL de meio e, em duplicata, em erlenmeyers de 125 mL, com 20 mL de meio, em estufa Incubadora BOD, durante quinze dias, a 25°C, fotoperíodo de 12 h e agitação uma vez ao dia. Para os ensaios, a cultura foi repicada, sob as mesmas condições, até obter-se o volume de 5L, com uma densidade celular aproximada de 10^5 ind. mL⁻¹, necessária para a preparação da água de estudo. A contagem foi realizada com auxílio de câmara de Neubauer.

ÁGUA DE ESTUDO

Para os experimentos, preparou-se 100 L de água sintética. Para tal, foram utilizados 95 L de água de poço artesiano, retirada a montante do tanque de cloração e 5 L de um cultivo de 45 dias de *C. raciborskii* (10^5 filamentos mL⁻¹), obtendo-se assim uma água de estudo com densidade aproximada de 10^4 filamentos mL⁻¹. A água de estudo foi caracterizada pelos parâmetros pH, turbidez, cor aparente, clorofila-a e alcalinidade APHA (2012).

ENSAIO DE BANCADA

Para os ensaios de bancada, para a simulação da etapa de coagulação, floculação e sedimentação, foi utilizado o equipamento de *jarteste* (Milan, modelo JT 203/6) micro-controlado. Os parâmetros operacionais adotados para as etapas de coagulação, floculação e sedimentação foram adaptados tendo como base os parâmetros recomendados por Pádua *et al.* (2006): Gradiente de Mistura Rápida (Gmr) = 200 s⁻¹, Tempo de Mistura Rápida (Tmr) = 120 s (2 min), Gradiente de Floculação (Gfloc) = 30 s⁻¹, Tempo de Floculação (Tfloc) = 1200 s (20

min), Taxa de aplicação superficial (TAS) = $14,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. No ensaio de sedimentação, a taxa de aplicação superficial de $14,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, corresponde a uma taxa de sedimentação de $1,0 \text{ cm min}^{-1}$, totalizando um tempo de sedimentação de 7 minutos.

Para a realização dos ensaios, como agente coagulante foi utilizada solução com concentração de 2000 mg L^{-1} de Al^{3+} . Como alcalinizante e acidificante foram utilizados soluções de NaOH e HCl, respectivamente, ambas com concentração de 2000 mg L^{-1} . Os ensaios foram realizados compreendendo uma faixa de pH de coagulação de 5,0 a 8,0 e uma faixa de dosagem de alumínio de 2 a 20 mg L^{-1} .

Para a etapa de filtração, foram utilizados FLAs (filtros de laboratório de areia) confeccionados em tubo de acrílico transparente, com diâmetro externo de 25 mm e interno de 19 mm (DI BERNARDO *et al.*, 2011). O material granular utilizado foi da areia proveniente de ETA com granulometria entre 0,42 a 1,00 mm, com camada de areia de 15 cm de espessura, conforme recomenda Di Bernardo *et al.* (2011). Após cada ensaio, foi realizada a lavagem do material filtrante, por meio da retrolavagem.

Com os resultados de cor aparente e turbidez remanescente foram calculadas as eficiências de remoção dos parâmetros, com as quais foram elaborados diagramas de isoeffiência para as etapas de coagulação, floculação, sedimentação e para a etapa de filtração, utilizando o software *Surfer 8.0*.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ÁGUA DE ESTUDO

Foi verificada turbidez da água de estudo de 2,8 uT (Tabela 1), que pode ser considerada baixa quando comparada a valores de águas naturais, como as enquadradas como de mananciais de classe 2, que podem apresentar turbidez de até 100 uT (BRASIL, 2005).

Tabela 1: Características da água de estudo

Parâmetro	Valor
pH	7,06
Turbidez (uT)	2,8
Cor Aparente (uH)	113,3
Alcalinidade ($\text{mg CaCO}_3\text{L}^{-1}$)	7,05
Densidade Celular (ind. mL^{-1})	$6,00 \times 10^4$

ENSAIOS DE BANCADA

No diagrama de isoeffiência de remoção de turbidez para as etapas de coagulação, floculação e sedimentação, as melhores eficiências, para todas as dosagens analisadas, foram obtidas na faixa de pH de 6,0 a 7,5. Nesta faixa, os valores verificados foram todos acima de 40% e, em alguns pontos, ultrapassou 80%. Foi possível verificar também que para dosagens abaixo de 10 mg L^{-1} de Al^{3+} (50 mg L^{-1} PAC), eficiência acima de 40% se deu em menor intervalo de pH, ficando entre pH 6,5 a 7,0.

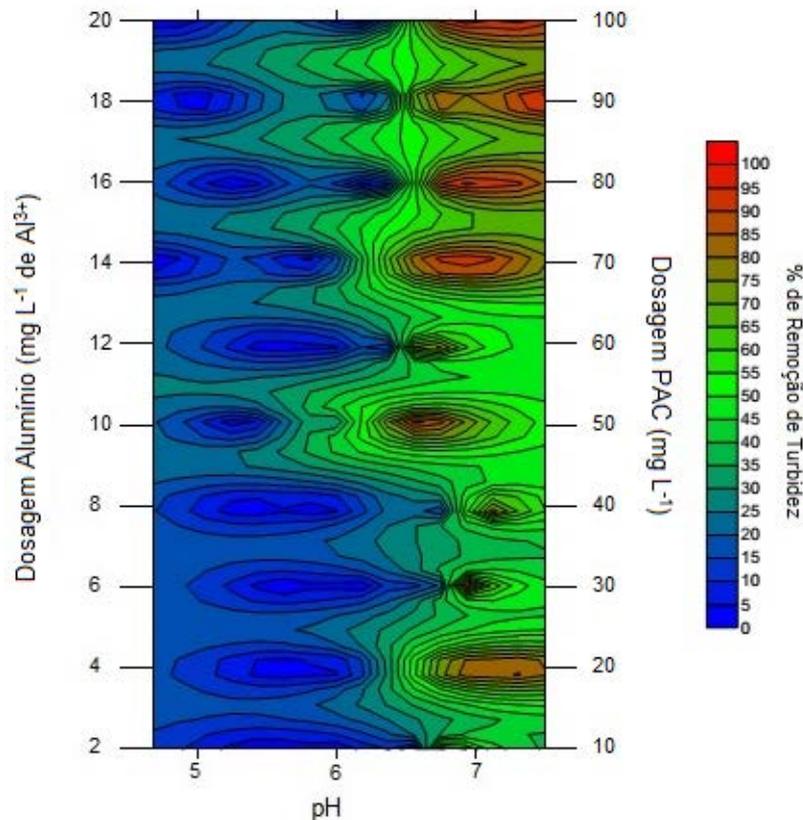


Figura 1: Diagrama de isoeffiência de remoção de turbidez para coagulação, floculação e sedimentação utilizando PAC

A dosagem de 4 mg L⁻¹ de Al³⁺ (20 mg L⁻¹ PAC) apresentou remoção de turbidez entre 85 a 90%, para o pH de 7,0 a 7,5. Assim, esta foi considerada a melhor condição de tratamento, com a escolha do pH 7,0 como ideal, pois se obtém eficiência satisfatória com remoção de 90%. com menor consumo de coagulante e alcalinizante.

Comparando-se os valores obtidos aos estudos de Santiago (2008), que avaliou a remoção dos filamentos de *C. raciborskii*, por meio da sedimentação com os coagulantes cloreto férrico e sulfato de alumínio, a dosagem para o primeiro foi de 25 mg L⁻¹ com uma eficiência de 82%. Quanto ao sulfato de alumínio, as dosagens ótimas variam de 25 a 35 mg L⁻¹, com uma eficiência variando de 39 a 65%. (SANTIAGO, 2008).

Em outros estudos, observou-se a tendência de melhores remoções de turbidez em pH superior a 6,0 como no estudo de Julio *et al.* (2009), citado por Di Bernardo e colaboradores (2011), que utilizaram o PAC e sulfato de alumínio como coagulantes, onde os melhores resultados foram de 40 mg L⁻¹ e pH de 6,74 para o PAC e 40 mg L⁻¹ e pH de 6,15 para o sulfato de alumínio. Oliveira (2005) que avaliou a remoção de *C. raciborskii*, utilizando o sulfato de alumínio como coagulante, obteve bons resultados em pH abaixo de 6,0; com eficiência média de remoção de 80% de turbidez, em pH de 5,5 e dosagem de coagulante variando entre 11 e 18 mg L⁻¹.

Os valores de eficiência de remoção de turbidez para a filtração apresentaram semelhanças em relação ao observado para as etapas de coagulação/floculação/sedimentação, apresentando nas condições onde sedimentação apresentou remoção acima de 80%, a filtração apresentou remoção superior a 95% (Figura 2).

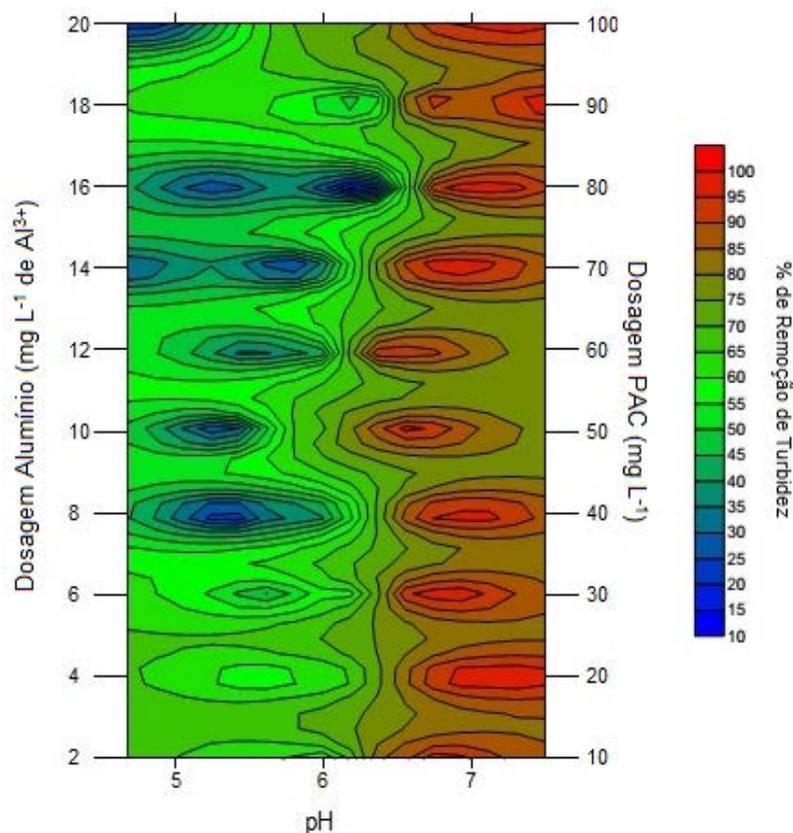


Figura 2: Diagrama de isoeffiência de remoção de turbidez para filtração, com prévia coagulação, floculação e sedimentação utilizando PAC.

Nas áreas onde a remoção de turbidez na sedimentação não foi superior a 40%, houve melhora na remoção após a filtração, com eficiências de até 70%, exceto em alguns pontos como 8, 10, 14, 16 e 20 mg L⁻¹ de Al³⁺ para a faixa de pH de 5 a 6.

Neste caso, de acordo com a literatura, o emprego do tratamento por ciclo completo em escala de bancada, mostrou-se eficiente na remoção de células de *C. raciborskii*, eficiência expressa pela remoção de turbidez, (CHORUS; BARTRAN, 1999; CHOW et al., 1999; WESTRICK et al., 2010).

Chow et al. (1999), por exemplo, ao avaliar a remoção de células de *M. aeruginosa* (com densidade entre 10⁵ a 10⁶ cel mL⁻¹) e MCs por ciclo completo em escala piloto (C/F/S) seguido de filtração rápida. Para uma dose ótima de 5,8 mg L⁻¹ de Al³⁺ e pH de 6,2, obteve após a filtração remoções de células superiores a 99%.

Drikas et al. (2001), por sua vez, ao avaliar a remoção de células de *M. aeruginosa* (10⁵ a 10⁶ cel mL⁻¹) por C/F/S em escala de bancada e por C/F/S seguida de filtração rápida em escala piloto, obteve remoções de células de 70 a 83% e remoção de 75% MCs extracelulares.

Morais (2012) ao estudar a remoção de células de *M. aeruginosa* e MCs (1,8x10⁴ cel mL⁻¹ e 3,27 µg L⁻¹) por ciclo completo obteve remoções de 15,6% de MCs após a sedimentação e de 25,7% após a filtração rápida. Já Guerra et al. (2015), para água bruta com 22,4 µg L⁻¹ de MCs e condições de coagulação previamente testadas, verificaram remoções de 13 a 14% após sedimentação e de 6 a 7% após filtração.

A eficiência da filtração não é somente resultado da retenção física dos flocos no material granular do filtro, afirmativa corroborada pela observação que mesmo para pontos onde a etapa de sedimentação foi ineficiente, pode ser observado eficiência de remoção de até 70% para a filtração.

A eficiência pode ser explicada pelo mecanismo de aderência envolvido na filtração, que é resultado da interação entre a superfície do floco e do grão do meio filtrante. Assim, a partícula desestabilizada eletricamente devido à

ação do coagulante sofre com maior intensidade a ação desse mecanismo, ficando aderido na superfície dos grãos, o que resulta na melhoria da remoção de turbidez (DI BERNARDO *et al.* 2011).

CONCLUSÃO

Um aspecto observado foi a influência do pH na remoção da turbidez, onde a faixa de pH de 6,0 a 7,5 apresentou as melhores remoções, superiores a 40% para turbidez, 75%, após a sedimentação e de 70% após a filtração. A dosagem de 4 mg L⁻¹ de Al³⁺ (20 mg L⁻¹ PAC) e pH 7,0; foi a menor dosagem de coagulante que apresentou resultados satisfatórios de remoção, 95% para a turbidez e 65% para a cor após a etapa de filtração. Apesar de apresentar uma eficiência superior a 95% na remoção de turbidez e conseqüentemente na remoção de células de cianobactérias, julga-se necessária a realização de novos estudos que avaliem a remoção de cianotoxinas, além de métodos complementares para sua remoção, como o uso de carvão ativado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BITTENCOURT-OLIVEIRA, Maria do Carmo; MOLICA, Ricardo. Cianobactéria Invasora. Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento, v. 30, p. 82-90, jan/jul, 2003.
2. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n°. 2.914. Estabelece os Procedimentos e Responsabilidades Relativos ao Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade, e dá Outras Providências. Diário Oficial da União 2011; 12 Dez.
3. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n°. 357. Dispõe Sobre a Classificação dos Corpos de Água e Diretrizes Ambientais Para o seu Enquadramento, bem Como Estabelece as Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, e dá Outras Providências. Diário Oficial da União 2005; 17 mar.
4. CHORUS, Ingrid; BARTRAM, Jamie. Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. London: F & FN Spon, 1999.
5. DI BERNARDO, Luiz.; DI BERNARDO, Ângela.; CENTURIONE FILHO, Paulo. L. Ensaio de Tratabilidade da Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. São Carlos: Editora LDiBe Ltda, 2011.
6. FUNASA – Fundação Nacional da Saúde. Cianobactérias Tóxicas na Água para Consumo Humano na Saúde Pública e Processos de Remoção em Água para Consumo Humano. – Brasília: Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde, 2003. 56 pg.
7. FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. Potencial de Florações de Cianobactérias em um Reservatório de Abastecimento Doméstico no Estado do Espírito Santo (reservatório duas bocas – Cariacica – ES). Fundação Nacional de Saúde (Funasa) Ministério da Saúde. 2007p. 18-20. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/internet/arquivos/biblioteca/potFlora.pdf>.
8. OLIVEIRA, Jailma M. B. Remoção de *Cylindrospermopsis raciborskii* por Meio de Sedimentação e de Flotação: avaliação em escala de bancada. 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, 2005.
9. PÁDUA, V. L. (coord) – PROSAB, EDITAL 4, TEMA 1. Contribuição ao Estudo da Remoção de Cianobactérias e Micro-contaminantes Orgânicos por Meio de Técnicas de Tratamento de água para Consumo Humano. Rio de Janeiro: ABES. 2006. 504 p. Disponível em: http://www.finep.gov.br/Prosab/livros/Prosab_agua.zip. Acessado em: dez, 2013.
10. SANTIAGO, Lucas. M. Remoção de Células de Cianobactérias por Processos de Sedimentação e Flotação por ar Dissolvido: avaliação em escala de bancada. 2008. 125 f. Dissertação (mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.
11. TUCCI, Andréa; SANT'ANNA, Célia L. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju (Cyanobacteria): variação semanal e relações com fatores ambientais em um reservatório eutrófico, São Paulo, SP, Brasil. Revista Brasil. Bot. V. 26, 2003. p.97-112.
12. CHOW, C. W.K.; DRIKAS, M.; HOUSE, J.; BURCH, M. D.; VELZEBOER, R. M. A. The impact of conventional water treatment processes on cells of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. Water Research, v. 33, n. 15, p. 3253-3262, out. 1999.
13. WESTRICK, J. A.; SZALG, D. C.; SOUTHWELL, B. J; SINCLAIR, J. A review of cyanobacteria and cyanotoxin removal/inactivation in drinking water treatment. Analytical and Bioanalytical Chemistry, v. 397, n. 5, p. 1705-1714, jul. 2010.

14. DRIKAS, M.; CHOW, C. W. K.; HOUSE, J. BURCH. Using coagulation, flocculation, and settling to remove toxic cyanobacteria. *Journal American Water Works Association*, v. 93, n. 2, p. 100-111, fev. 2001.
15. GUERRA, A. B.; TONUCCI, M. C. CEBALLOS, B. S. O.; GUIMARÃES, R. C; LOPES, W. S.; AQUINO, S. F.; LIBÂNIO, M. Remoção de microcistina-LR de águas eutrofizadas por clarificação e filtração seguidas de adsorção em carvão ativado granular. *Engenharia Ambiental e Sanitária*, v. 20, n. 4, p. 603-612, out/dez 2015.
16. MORAIS, A. A. Avaliação de técnicas convencionais de tratamento de águas para o consumo humano na remoção de cianobactérias e cianotoxinas e processos oxidativos para remoção de microcistinas. 2012. 149 fls. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de Ferederal de Viçosa, Viçosa/MG.