



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

ALBIERY DE OLIVEIRA

**REMOÇÃO DE *Microcystis aeruginosa* POR COAGULAÇÃO,
FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO UTILIZANDO SULFATO
DE ALUMÍNIO**

**CAMPINA GRANDE – PB
2014**

ALBIERY DE OLIVEIRA

**REMOÇÃO DE *Microcystis aeruginosa* POR COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E
SEDIMENTAÇÃO UTILIZANDO SULFATO DE ALUMÍNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação de **Engenharia Sanitária e
Ambiental** da Universidade Estadual da Paraíba,
em cumprimento à exigência para obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Wilton Silva Lopes

CAMPINA GRANDE – PB
2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

O48r Oliveira, Albiery de

Remoção de *Microcystis aeruginosa* por coagulação, floculação e sedimentação utilizando sulfato de alumínio [manuscrito] / Albiery de Oliveira. - 2014.

15 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. Wilton Silva Lopes, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. *Microcystis aeruginosa*. 2. Cianotoxina. 3. Tratamento de água. 4. Eutrofização. I. Título.

21. ed. CDD 628.162

ALBIERY DE OLIVEIRA

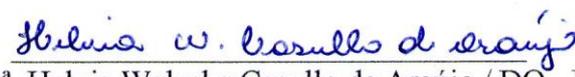
**REMOÇÃO DE *Microcystis aeruginosa* POR COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E
SEDIMENTAÇÃO UTILIZANDO SULFATO DE ALUMÍNIO**

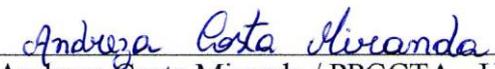
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação de **Engenharia Sanitária e
Ambiental** da Universidade Estadual da Paraíba,
em cumprimento à exigência para obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Aprovada em 21 de fevereiro de 2014

Nota: **9,5**


Prof. Dr. Wilton Silva Lopes / DESA - UEPB
Orientador


Profa. Dr^a. Helvia Waleska Casullo de Araújo / DQ - UEPB
Examinadora


M^a. Andreza Costa Miranda / PPGCTA - UEPB
Examinadora

REMOÇÃO DE *Microcystis aeruginosa* POR COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO UTILIZANDO SULFATO DE ALUMÍNIO

OLIVEIRA, A.

RESUMO

Em função do desenvolvimento industrial e da intensa ocupação a cada dia se torna mais notório o intenso quadro de poluição dos corpos aquáticos, fazendo com que a questão do tratamento de água seja vista como de importância fundamental para que a população abastecida receba água segura e de boa qualidade. Um dos agravantes desse quadro é o aumento da concentração de nutrientes nesses mananciais, fazendo com que o fenômeno da eutrofização se instale e se intensifique cada vez mais. Uma das grandes consequências dessa eutrofização é o aumento da comunidade fitoplanctônica, em especial as cianobactérias, que além de provocar a redução do oxigênio dissolvido, e outras mudanças na qualidade da água, também podem liberar as cianotoxinas. O gênero *Microcystis* abordado nessa pesquisa têm sido o responsável por mais de 65% dos casos de intoxicação em seres humanos e animais. Esse gênero é capaz de produzir cianotoxina, que tem ação hepatotóxica. Além disso, a espécie *Microcystis aeruginosa* é a mais comumente associada a floração ao redor do mundo. Em razão dessas características da *Microcystis aeruginosa*, o presente trabalho avaliou a remoção dessa espécie através do processo de coagulação, floculação e sedimentação com o uso do coagulante sulfato de alumínio, geralmente utilizados no tratamento convencional de água de abastecimento. Os ensaios foram feitos em bancada fazendo uso do Jar-Teste e variando as dosagens do coagulante e os valores do pH de coagulação. Os resultados apontaram a possibilidade de remoção de até 90% das células e de até 80% de turbidez.

PALAVRAS-CHAVE: *Microcystis aeruginosa*. Cianotoxina. Tratamento de água. Eutrofização.

1 INTRODUÇÃO

O crescente quadro de poluição dos corpos d'água, em função do desenvolvimento industrial e da intensa ocupação urbana, faz com que a questão do tratamento de água seja vista como de fundamental importância para que a população abastecida receba água segura e de boa qualidade, uma vez que essas mudanças não têm sido acompanhadas por medidas de controle de poluição com a mesma intensidade, favorecendo a degradação da qualidade dos mananciais.

A eutrofização dos corpos d'água é causada pelo aumento das concentrações de nutrientes na água, principalmente compostos nitrogenados e fosfatados, que promove um intenso crescimento biológico, com o desenvolvimento de uma comunidade fitoplanctônica, geralmente com predominância das cianobactérias em relação às demais espécies de algas também produz mudança na qualidade da água, incluindo redução de oxigênio dissolvido, perda das características estéticas do meio ambiente e de seu potencial de recuperação, morte extensiva de peixes, com consequências negativas sobre a eficiência e o custo do tratamento de água.

Alguns gêneros de cianobactérias possuem espécies ou cepas potencialmente produtoras de toxinas, sendo *Anabaena*, *Microcystis*, *Cylindrospermopsis*, *Synechocystis*, *Aphanizomenum*, *Lingbya*, *Oscillatoria*, *Phormidium* e *Schizothrix*, as principais (FUNASA, 2003; Funari e Testai, 2008). As intoxicações humanas por toxinas de cianobactérias podem ocasionar problemas hepáticos (hepatotoxinas), neurológicos (neurotoxinas), dermatites (dermatotoxinas), reações citotóxicas (citotoxinas) e irritações ao contato (endotoxinas) (CHORUS & BARTRAM, 1999).

No Brasil, segundo Sant'Anna e Azevedo (2000), já foi registrada a ocorrência de pelo menos 20 espécies de cianobactérias potencialmente tóxicas em diferentes ambientes aquáticos. De acordo com esses autores, a espécie que apresenta distribuição mais ampla no país é *Microcystis aeruginosa*.

A maior rota de exposição do homem às cianotoxinas é a ingestão de água (WHO, 2006). Com isso, o tratamento da água com elevada concentração de cianobactérias, quando realizado sem critérios, pode não ser eficiente na remoção dessas toxinas ou até mesmo promover a lise das cianobactérias propiciando a liberação das toxinas na água. De acordo com Lambert et al. (1994) há evidências que populações abastecidas por mananciais que apresentam extensas florações podem estar expostas a baixos níveis de toxinas por longo período.

Assim, o tratamento de água para consumo humano contendo cianobactérias requer cuidados especiais, principalmente no uso de agentes oxidantes, pois ao mesmo tempo em que melhora o tratamento facilitando a remoção de células de cianobactérias, promove a lise celular, a qual pode causar a liberação de toxinas na água (NEWCOMBE e NICHOLSON, 2004). Diante disto, a remoção de células intactas de cianobactérias é uma importante técnica que precisa ser sempre considerada.

Os dados disponíveis na literatura (HIMBERG et al. 1989, entre outros) têm demonstrado que a sequência de tratamento convencional, muito utilizada no Brasil, é pouco eficiente na remoção da fração dissolvida das cianotoxinas, e para que seja eficiente na remoção de células, exige um bom controle operacional. Por outro lado, os processos mais efetivos para remoção de cianotoxinas (adsorção em carvão ativado e pós-oxidação) não são comuns na maioria das regiões brasileiras e também se apresentam bastante exigentes quanto ao controle operacional.

De acordo com Zagatto (1997), espécies do gênero *Microcystis* têm sido responsáveis por mais de 65% dos casos de intoxicação em seres humanos e animais. Esse gênero de cianobactéria é capaz de produzir a cianotoxina microcistina, que tem ação hepatotóxica, e a espécie *Microcystis aeruginosa* é a mais comumente associada a florações ao redor do mundo (SANT'ANNA et al., 2008). Por esse motivo, foi utilizada essa espécie para a remoção através do processo de coagulação, floculação e sedimentação, visto que é a cianobactéria que mais ocorre no Brasil.

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar em escala de bancada, a remoção de células de *Microcystis aeruginosa* por coagulação, floculação e sedimentação usando sulfato de alumínio, em água de manancial destinado ao abastecimento público.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cianobactérias

Também conhecidas como Cianofíceas, Mixophyta, Schizophyta e Cyanophyta, anteriormente eram denominadas algas azuis. Algumas dessas denominações referem-se à afinidade que existe entre as algas e as bactérias por sua organização procariótica, sendo o tamanho, a diferença fundamental. As bactérias apresentam importância fundamental na produção do plâncton, enquanto, em determinados ambientes, principalmente naqueles com baixa intensidade luminosa, grande parte da produção primária é devida a bactérias fotossintetizantes.

As cianobactérias compreendem algas unicelulares e pluricelulares. As células com paredes delgadas, estão geralmente cobertas por substâncias mucilaginosas que as vezes formam filamentos. As formas filamentosas predominam no grupo e, em sua maioria, são bentônicas; no entanto em alguns gêneros no plâncton são considerados de suma importância tais como *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Cylindrospermopsis*, *Alphanizomen*, *Lyngbya*, *Planktonthrix* e *Oscillatoria*. As formas cocoidais podem ser constituídas de células únicas ou coloniais e estão representadas no plâncton por alguns gêneros, destacando-se *Alphanocapsa*, *Cyanodictyon*, *Gomphosphaeria*, *Chroococcus*, *Microcystis*, *Radiocystis* e *Synechococcus* (DI BERNARDO, 2010).

Em virtude da magnitude do problema que as cianobactérias representam à saúde humana, por exposição às suas toxinas quando presentes em águas destinadas ao abastecimento público, a atual legislação brasileira, por meio da Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, estabelece a obrigatoriedade da análise semanal de cianotoxinas sempre que a densidade de cianobactérias exceder 20.000 células/mL. Ela ainda estabelece os valores máximos permitidos para a concentração de microcistina e saxitoxina sendo eles 1,0 µg/L e 3,0 µg/L, respectivamente.

2.2 *Microcystis aeruginosa*

Microcystis aeruginosa (*M. aeruginosa*) pertence à ordem Chroococcales e família Chroococcaceae e vive de modo colonial. É cosmopolita de água doce com preferência nas regiões tropicais e temperadas. Essa espécie não fixa nitrogênio atmosférico e necessita desse nutriente em formas assimiláveis disponíveis no ambiente (NH_4^+ ou NO_3^-) para manutenção de seus processos vitais (CHORUS E BARTRAM, 1999). *M. aeruginosa* pode produzir toxinas (hepatotoxinas) causadoras de efeitos letais em animais e humanos (BELL e CODD, 1994; CARMICHAEL, 1994; FALCONER, 1999).

Uma das principais características da *M. aeruginosa* é a presença de envoltório mucilaginoso. Sem uma função bem definida, atribui-se à presença desse envoltório como estratégia para regular a disponibilidade de nutrientes essenciais para as células (LANGE, 1979).

2.3 Coagulação

O processo de coagulação decorreu inicialmente da necessidade de melhorar o aspecto visual da água para consumo humano. Ainda que remonte para os meados do século XIX a comprovação de que a água fosse um veículo de doenças, era intrínseca a relação entre a maior concentração de partículas e a perspectiva de presença de microrganismos patogênicos. Esta percepção advinha em tempos imemoriais da contínua e inadequada deposição das excretas no solo, posteriormente arrastadas pelas chuvas. Com isso, a turbidez se elevava e a perspectiva de doenças aumentava devido ao maior aporte de microrganismos.

Em tempos remotos os egípcios já haviam adquirido o hábito de acondicionar a água bruta em jarros durante alguns dias antes de consumi-la. Objetivavam primordialmente reduzir, com resultados variáveis, a concentração de partículas suspensas e dissolvidas por ventura presentes. Os frequentes insucessos deste procedimento motivaram a busca de outras formas de clarificação. Embora indícios mais remotos da coagulação da água para fins de abastecimento reportem-se ao emprego de nozes na Índia no ano 400 da era cristã, registros mais confiáveis remontam ao século XVI no Egito. (LIBANIO, 2010)

A coagulação consiste essencialmente na desestabilização das partículas coloidais e suspensas realizadas pela conjunção de ações físicas e reações químicas, com duração de poucos segundos, entre o coagulante – usualmente um sal de alumínio ou de ferro -, a água e as impurezas presentes. Em solução aquosa os íons metálicos de ferro e de alumínio, positivamente carregados, forma fortes ligações com átomos de hidrogênio podendo coordenar até seis moléculas de água ao redor, liberando os átomos de hidrogênio (aumentando a concentração de íons H⁺) e reduzindo o pH da suspensão. Este processo denomina-se hidrólise e os produtos formados constituem-se as espécies hidrolisadas de ferro e alumínio, podendo culminar em função da dosagem, no precipitado de hidróxido do metal. Posteriormente verifica-se o transporte dessas espécies para o contato com as impurezas presentes, etapa denominada mistura rápida, causando - em função da magnitude da dosagem e pH de coagulação – sua desestabilização ou envolvimento nos precipitados. Em seguida, com a aproximação e colisão das partículas desestabilizadas, há formação dos flocos os quais podem ser removidos por sedimentação, flotação e filtração. Assim espera-se remover especialmente turbidez, matéria orgânica coloidal, substâncias tóxicas de origem orgânica e inorgânica, e outras passíveis de conferir sabor e odor à água, microrganismos em geral e os precursores da formação de trihalometanos, elevando-se a qualidade da água distribuída (LIBANIO, 2010).

O processo de coagulação efetua-se na unidade de mistura rápida da estação e está presente na quase totalidade de tecnologias de tratamento, excetuando-se a filtração lenta. Nas estações convencionais a eficiência da coagulação influi no desempenho das demais etapas do tratamento, favorecendo a qualidade microbiológica do efluente, aumentando as carreiras dos filtros e reduzindo os custos do metro cúbico de água tratada.

2.4 Floculação

É difícil precisar quando as unidades de floculação passaram a ser parte integrante dos sistemas de tratamento de água, pois os processos de coagulação tem de forma intrínseca a floculação. Provavelmente as estações construídas nos EUA tenham sido as primeiras a contar com unidades específicas para coagulação a partir do início do século passado com a finalidade de reduzir o aporte de partículas nas unidades de filtração.

Na operação unitária de floculação tem-se o objetivo em ultima instância de reduzir o número de partículas suspensas e coloidais presentes na parte líquida. Para isso, as condições de tempo e agitação são oferecidas com o intuito de promover o choque entre as partículas anteriormente desestabilizadas pelo coagulante objetivando a formação dos flocos a serem posteriormente removidos por sedimentação ou por estações de filtração direta. Assim como nas unidades de mistura rápida nessa operação também é usado a energia mecânica ou hidráulica para propiciar a aglutinação das partículas.

2.5 Sedimentação

A sedimentação é um processo físico que separa partículas sólidas em suspensão da água, e é um dos mais comuns no tratamento da água. Consiste na utilização das forças gravitacionais para separar partículas de densidade superior à da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. Normalmente, a água contém materiais finamente dissolvidos, no estado coloidal ou em solução, que não podem ser removidos por sedimentação simples, sendo necessária a adição de coagulantes para formar aglomerados ou flocos que sedimentam com maior facilidade.

A sedimentação simples das partículas discretas é realizada pela sedimentação simples nos pré-sedimentadores e sua aplicação geralmente se faz para remover partículas igual ou superior a 0,1mm. A sedimentação de partículas floculentas é usualmente chamada de decantação ou, simplesmente, decantadores.

O termo de decantação, junto com a flotação, consiste na operação unitária que via de regra traduz a eficiência das etapas que a precedeu, ou seja, a coagulação e a floculação, e em alguns casos a pré-oxidação quando se objetiva a remoção de ferro e manganês.

Na decantação dos flocos formados anteriormente são fornecidas condições favoráveis que os permitem se depositar pela ação da gravidade. Ambas as operações objetivam diminuir o fluxo de partículas às unidades filtrantes, consistindo na ultima etapa de clarificação dentro do contexto de múltiplas barreiras no qual o tratamento de água se insere. Desta forma, a nomenclatura correta preconiza referir às partículas sedimentadas e ao efluente como *água decantada*.

2.6 Sulfato de Alumínio

O sulfato de alumínio é um coagulante que apresenta a forma molecular $Al_2(SO_4)_3 \cdot x nH_2O$, em solução ele é ácido corrosivo, sendo necessário armazená-lo em tanques de madeira, chumbo, ou com revestimento adequado. Ele pode ser fornecido seco, em pedras, em pó ou na forma granular. O produto seco apresenta um conteúdo de óxido de alumínio (Al_2O_3) entre

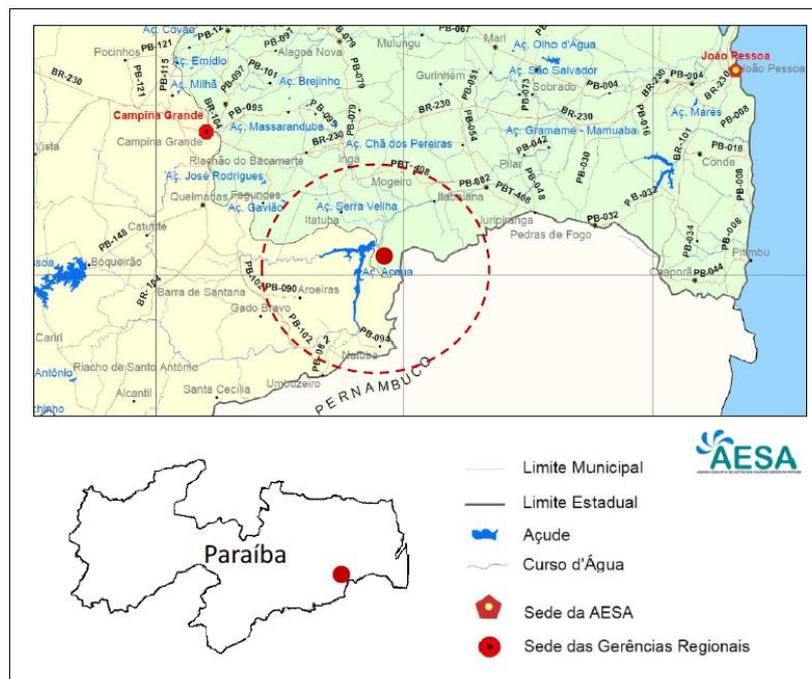
14% e 18%. O produto líquido apresenta um teor de Al_2O_3 padronizado em 8%. Pode-se relacionar a dosagem desse produto com a concentração molar de alumínio e da espécie, possibilitando que, em função da dosagem do produto usado e do pH sejam determinadas as quantidades de precipitado e de espécies hidrolisadas presentes.

A solução de alumínio é preparada a partir do produto sólido em concentrações de 10 a 200g/L. Para melhorar a dispersão do produto no ponto de aplicação, a sua preparação é feita no tanque de preparação com menor concentração, porém, quanto mais diluído for a solução, maior será os tanques de preparação, o que acarretará custos mais elevados para sua construção (Di BERNARDO, 2010).

3 REFERENCIAL METODOLÓGICO

Foi utilizada água do açude Argemiro de Figueiredo (Acauã), com frequentes eventos de florações de cianobactérias. A água foi coletada, antes de qualquer tratamento, na entrada da Estação de Tratamento de Água de Itatuba, no município de Itatuba, Paraíba. O transporte até o laboratório foi realizado em bombonas de plástico escuro de 80 L, onde foi acondicionada em caixa de fibra de vidro com capacidade de 500 L e mantida em temperatura inferior ou igual a 25°C, sem receber luz.

Figura 1 - Mapa de localização do açude de Acauã – Paraíba – Brasil



Fonte: BURITY, 2012

Os ensaios foram realizados com água de estudo preparada com a água bruta de Acauã, coletada na entrada da ETA, adicionada de uma cultura pura de *Microcystis aeruginosa* crescida em laboratório para se obter concentração final na ordem de $10^5 \times E^{+5}$ cel.mL⁻¹. Esse valor foi definido para simular um florescimento e por ser bastante empregado em trabalhos que visam a remoção de células de cianobactérias (CHOW et al., 1998; DRIKAS et al., 2001).

A cepa pura de *M. aeruginosa*, produtora de *Microcystis* – LR foi fornecida pelo Departamento de Botânica da Universidade Federal de São Carlos - São Paulo. O cultivo foi

realizado no meio líquido ASM-1, com aeração contínua e mantida sob condições controladas de temperatura (24°C), com foto-período de 12 horas com intensidade luminosa aproximada de 1.200 LUX com uso de lâmpadas tubulares fluorescentes de 40 W. O crescimento celular foi monitorado com a contagem das células com microscópio invertido, seguindo o método de sedimentação de UTHERMÖHL (1958), até as mesmas atingirem crescimento exponencial, na ordem de $10^7 \times E^{+5}$ cel. mL⁻¹, o qual se alcançava após 15 a 18 dias de cultivo.

Figura 2 - Cultivo de *Microcystis aeruginosa*



Fonte: CABRAL, 2010

Após preparada a água de estudo, se coletava uma amostra que era fixada com lugol a 1% e se procedia à contagem das células; em outra amostra sem fixador se procedia à medição dos parâmetros físicos e químicos de controle: pH, temperatura, alcalinidade total, dureza total, turbidez, cor aparente e clorofila-a.

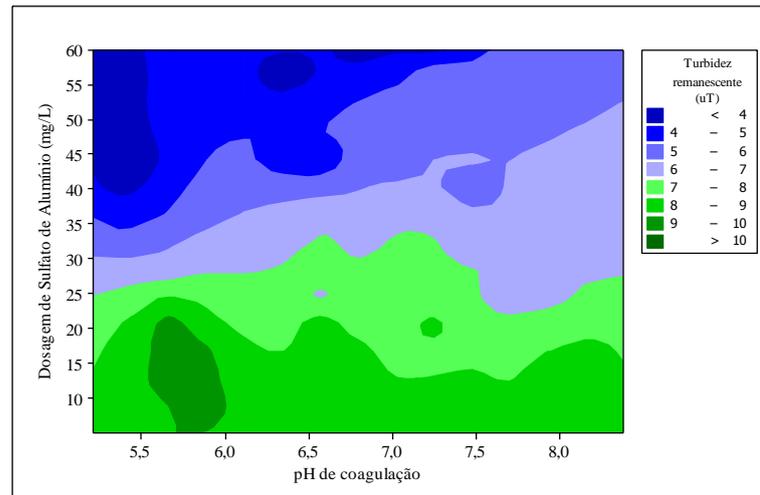
Os ensaios de coagulação foram realizados usando-se sulfato de alumínio em reatores estáticos (Jar-Test) marca Poli Control® modelo FlocControl com seis jarros de base quadrada e capacidade de 2 litros cada um. Para cada jarro o equipamento apresenta um agitador do tipo paleta de eixo vertical de aço inoxidável, com capacidade de fornecer gradientes de velocidade entre 10 e 1000 s⁻¹. Os parâmetros operacionais utilizados foram 800 s⁻¹(Gmr), 30 s (Tmr), 30 s⁻¹ (Gfl) e 25 min (Tfl). A velocidade de sedimentação (Vs) foi de 0,35cm.s⁻¹ e o tempo de sedimentação foi de 20 minutos, que corresponde à taxa de aplicação superficial (TAS) de 5,0 m³. m⁻². dia⁻¹. Na construção do diagrama de coagulação para o sulfato de alumínio, foi avaliada a dose do coagulante a partir da concentração inicial de 5mg.L⁻¹, variando em intervalos de 5 em 5 mg.L⁻¹ até 60 mg.L⁻¹. Utilizou-se uma solução de sulfato de alumínio em pó (Al₂ (SO₄)₃. (14-18). H₂O) marca VETEC preparada no mesmo dia do ensaio, na concentração de 1%.

A faixa do pH de coagulação definida foi de 5,5 a 8,5, variando em intervalos de aproximadamente 0,5. O ajuste do pH de coagulação foi realizado com ácido clorídrico ou hidróxido de sódio a 0,1 N. Os diagramas de coagulação foram construídos em função da turbidez remanescente utilizando o software Minitab 14.

4 DADOS E ANÁLISE DA PESQUISA

O diagrama de coagulação representativo dos ensaios realizados com a AE (água de estudo) contendo $1,22E^{+05}$ cel.mL⁻¹ de *M. aeruginosa* é apresentado na Figura 3. Foi construído a partir dos valores de turbidez remanescente da água de estudo após o processo de coagulação, floculação e sedimentação.

Figura 3 – Diagrama de coagulação com sulfato de alumínio em função da turbidez para água de estudo contendo *Microcystis aeruginosa* na concentração $1,22E^{+5}$ Cel.mL⁻¹



Na elaboração do diagrama (Figura 3) foi observado que nos processos de coagulação, floculação e sedimentação é produzido água com turbidez remanescente menor que 4 uT para o pH de 5,5 com dosagens de 40 a 60 mg.L⁻¹ de sulfato de alumínio, sendo possível identificar outra região para esse valor de turbidez remanescente no pH de 6,5 para dosagem de 60 mg.L⁻¹. Já para o pH na faixa de 7,0 a 7,5 os valores de turbidez remanescente foram entre 5 e 6 uT para 55 e 60 mg.L⁻¹ de sulfato de alumínio, respectivamente.

Os melhores resultados de remoção de turbidez, ou seja, de turbidez remanescente, foram obtidos com doses de sulfato de alumínio entre 40 a 60 mg.L⁻¹ para os valores de pH de 5,5. Pode-se observar no diagrama que dosagens inferiores a 25 mg.L⁻¹ para pH na faixa de 5,5 a 8,0 resultam em maiores valores de turbidez remanescente.

Foram repetidos os melhores resultados obtidos no diagrama de coagulação (Figura 3) incluindo a contagem de células de *M. aeruginosa* com o objetivo de averiguar a remoção de células. Para isto foram realizados ensaios em triplicata para cada dosagem de sulfato de alumínio e pH de coagulação escolhido totalizando 21 ensaios. A Tabela 1 mostra os resultados das repetições (valores médios) das melhores dosagens para pH, turbidez e cor aparente remanescentes e das quantificações de células de *M. aeruginosa* na água decantada. As tendências observadas anteriormente no diagrama de coagulação (Figura 3) se repetiram.

De acordo com Kawamura (2000) o processo de sedimentação deve fornecer água decantada com turbidez menor que 2 UT para não sobrecarregar a unidade subsequente do sistema de tratamento. Dos resultados apresentados na Tabela 1 apenas as dosagens de 45 e 55 mg.L⁻¹ para pH de coagulação de 5,5, apresentaram valores residuais de turbidez na água decantada compatíveis com o sugerido pelo autor citado

Tabela 1 – Melhores dosagens do sulfato de alumínio, pH de coagulação turbidez e cor aparente remanescente e concentração de células de *M. aeruginosa* na água decantada.

Dosagem de sulfato de alumínio (mg.L ⁻¹)	pH coagulação	Turbidez remanescente (uT)	Cor aparente remanescente (uH)	M. aeruginosa* (cel.mL ⁻¹)	% de remoção de <i>M. aeruginosa</i>
40	7,5	4,5	80	7,23E+04	35
	5,5	1,8	33	1,78E+04	84
45	6,5	2,9	55	2,60E+04	73
	5,5	1,8	35	1,08E+04	90
55	6,5	2,5	51	2,39E+04	79
	7,0	2,6	54	2,70E+04	76
60	7,5	3,5	72	7,21E+04	36

*Concentração inicial de $1,22E^{+05}$ cel.mL⁻¹ de *M. aeruginosa*, turbidez inicial de 9 uT.

Houve resultados de até 80% de remoção de turbidez no pH 5,5 para dosagens de 45 a 55 mg.L⁻¹ de sulfato de alumínio, mas os valores remanescentes ainda evidenciam concentração significativa de células de *M. aeruginosa* ($1,78E^{+04}$ e $1,08E^{+04}$, respectivamente), que pode causar obstrução dos filtros de areia, resultando em carreiras de filtração mais curtas. Valor de pH de 7,0 que é o mais próximo da água natural de Acauã, precisa de maior dosagem de coagulante de 60 mg.L⁻¹) conforme apresentado na Tabela 1.

Teixeira e Rosa (2006) avaliaram a eficiência da sedimentação na remoção de células intactas de *M. aeruginosa* na concentração de 105 cel.mL⁻¹ em escala de bancada com sulfato de alumínio e relataram eficiências de remoção da turbidez de 80 % para dosagem de 10 mg.L⁻¹ de Al₂O₃.

Dentre os valores de pH de coagulação avaliados, o valor 5,5 parece ser o mais eficiente visto que além de ocorrer a remoção de turbidez e cor aparente também houve a mais elevada remoção de células de *M. aeruginosa* (até 90%). Entretanto, há dificuldades de caráter prático nas ETAs ao se trabalhar com valores baixos de pH de coagulação devido à necessidade da adição de ácido para atingir o pH de 5,5. Mas, como evidenciado neste trabalho, para pH 7,0 (próximo ao da água bruta do açude) se deve gastar maior quantidade de coagulante sem se obter iguais eficiências de remoção de células nem dos outros parâmetros de controle (turbidez e cor).

Drikas et al. (2001), também empregaram sedimentação para remover células de cianobactérias em ensaios de bancada em escala piloto usando Jar Teste. A água de estudo foi água sintética, preparada com água tratada com adição de células de *M. aeruginosa* na concentração de $1,50E^{+05}$ cel.ml⁻¹; o coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio na dosagem de 65 mg.L⁻¹ e pH de coagulação de 7,2 obtendo remoção de 70% das células, na sua forma intacta, após 15 minutos de sedimentação. Neste contexto, os resultados aqui obtidos evidenciam maior eficiência do sistema sob estudo.

5 CONCLUSÃO

Dos resultados obtidos podem-se delinear as seguintes conclusões:

- ✓ - O aumento da quantidade de sulfato de alumínio, além de somar mais custos no tratamento da água de abastecimento, não está diretamente ligado a eficiência na remoção da *Microcystis aeruginosa*, sendo o pH, um fator muito importante a ser considerado na remoção através do processos fazendo uso de sulfato de alumínio, e não a quantidade de coagulante exclusivamente.
- ✓ - O valor de pH de 6,5 apresenta-se como o mais satisfatório do ponto de vista econômico para a remoção da *M. aeruginosa*, pois, dos valores avaliados e que obtiveram melhores resultados na remoção, ele foi o que mais se aproximou do pH natural da água.

ABSTRACT

Due to industrial development and intensive occupation every day becomes more intense notorious box pollution of water bodies, making the question of the treatment of water is seen as crucial for the population served receive safe water and good quality. One of Aggravating this situation is the concentration of nutrients in these watersheds, causing the phenomenon of eutrophication is install and intensify more and more. One of the major consequences of eutrophication is the increase of phytoplankton, especially cyanobacteria, which besides causing the reduction of dissolved oxygen, and other changes in water quality, also release the cyanotoxins. The genus *Microcystis* discussed in this article have been responsible for over 65 % of cases of poisoning in humans and animals. This genre is producing covers cyanotoxins *Microcystis*, who has hepatotoxic action. Besides the species *Microcystis aeruginosa* is the most commonly associated with flowering around the world. Because of these characteristics of *Microcystis aeruginosa*, the present study evaluated the removal of this species through coagulation, flocculation and sedimentation with the use of aluminum sulfate coagulant, both used in the conventional treatment of the water supply process. The tests were done in bench making use of Jar-Test and varied dosages of coagulant and coagulation pH values. The results indicate the possibility of removing up to 90 % of the cells and up to 80 % turbidity.

KEYWORDS: *Microcystis aeruginosa*. Cyanotoxin. Water treatment. eutrophication.

REFERÊNCIAS

- Azevedo S.M.F.O. e Brandão C.C.S. (2003) **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, 56pp.
- BELL, S. G.; COOD, G. A. **Cyanobacterial Toxins and Human Health**. Rev. In Med. Microbiol. 5 (4), 1994.
- Buriti, Josué da Silva. **Remoção de Microcystini de água utilizando coagulação com Reagente de Fenton, Floculação, Decantação e Filtração seguido de filtração com carvão ativado granular**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.
- Cabral, Simone Mendes. **Avaliação de remoção de *Microcystis Aeruginosa* e *Microcystis-LR* de águas eutrofizadas utilizando fotocataliza heterogênea**. 2010. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental)- Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2010.
- CARMICHAEL, W.W. The toxins of cyanobacteria. **Scientific American**. New York v. 270, n.1, p 78-86, 1994.
- CHORUS, I. & BARTRAM, J. (ED.) **Toxic Cyanobacteria in Water**. A guide to their Public Health consequences, Monitoring and Management. WHO. E & FN Spon, London, 416p (1999).
- CHOW, C. W. K.; DRIKAS, M.; HOUSE, H.; 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, 1999.
- COMITÊS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. Download. Portaria_MS_2914-11.pdf. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_2914-11.pdf>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2014.
- DI BERNARDO, L; Munilo, A. DANTAS, A. D. B. **Florações de algas e de Cianobactérias: Suas Influências na Qualidade da Água e nas Tecnologias de Tratamento**. São Carlos: Editora LDiBE Ltda, 2010. 536 p.
- DRIKAS, M.; C., CHRISTOPHER W. K.; HOUSE, J.; BURCH, M. D. Using coagulation, flocculation, and settling to remove toxic cyanobacteria. **Journal AWWA**, vol.93, ed.2, p.100- 111, 2001.
- FALCONER, I. A. **An overview of problems caused by toxic blue-gree algae (cyanobacteria) in drinking and recreation water**. Environmental Toxicology, Hoboken, v.14, n.1, p.5-12 feb, 1999.
- FUNASA. **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, 56p (2003)

Himberg K., Keijola A.M., Hiisvirta L., Pyysalo H. and Sivonen K. (1989) The effect of water treatment processes on the removal of hepatotoxins from *Microcystis* and *Oscillatoria* cyanobacteria : A laboratory study. *Water Research*, 23(8): 979-984.

KAWAMURA, S. *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*. 2^a ed. John Wiley e Sons, Inc., E.U.A., 74-104, 2000.

LAMBERT, T.W.; BOLAND, M.P.; HOLMES, C.F.B.; HRUDEY, S.E. **Quantitation of the microcystin hepatotoxins in water at environmentally relevant concentrations with the protein phosphate bioassay**. *Environmental Science & Technology*, 28(4),753-5 (1994).

LANGE, W. Speculations on a Possible Essential Function of the Gelatinous Sheath of Blue-Green Algal. **Can. J. Microbiol**, v. 22, p. 1181-1185, 1979.

LIBANIO, M. *Fundamentos de tratamento e qualidade de água*. Campinas: Átomo, 2010. 494 p.,(3^a Edição, Revisada e Ampliada). ISBN 978-85-7670-165-1.

Newcombe, G.; Nicholson, B. Water treatment options for dissolved cyanotoxins. *J Water Supply Res Technol Aqua*, 53(4), 227-239 (2004).

Richter, Carlos A. **Água: Métodos e tecnologia de tratamento** / Carlos A. Richter, São Paulo: Editora Blucher, 2009. 340 p.

SANT'ANNA, C. L. et al. **Review of toxic species of Cyanobacteria in Brazil**. *Biological Studies* 126 (1), 251–265, 2008.

TEIXEIRA, M. R.; ROSA, M. J. Comparing dissolved air flotation and conventional sedimentation to remove cyanobacterial cells of *Microcystis aeruginosa*: Part I: The key operating conditions. **Separation and Purification Technology**, v.52, ed.1, p. 84-94, 2006.

World Health Organization. **Guidelines for Drinking-water Quality**. WHO. First addendum to third edition, v.1, Recommendations (2006.)

ZAGATTO, P. A. **Manual de orientação em casos de florações de algas tóxicas: um problema ambiental de saúde pública**. Cetesb, São Paulo (série manual), 1997.