

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO NA REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS CYLINDROSPERMOPSIS RACIBORSKII

Fernando Loeser Alves de Souza¹, Maurício Luiz Sens², Felipe Gustavo Trennepohl³, Rafael Luiz Prim⁴

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
ENS – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
Campus Reitor João D. F. Lima, Trindade – CEP 88040-970, Florianópolis (SC) – Brasil
¹fernandoleser@hotmail.com, ²mils@ens.ufsc.br, ³felipetr@casan.com.br

Resumo: A presença de cianobactérias vem se tornando cada dia mais comum nos ambientes aquáticos, e sua grande quantidade pode interferir nos processos de tratamento de água.

A flotação por ar dissolvido (FAD) vem sendo utilizada com sucesso na remoção de células de cianobactérias sem a ocorrência de rompimento das mesmas. Este processo é considerado mais eficiente que outros métodos usuais utilizados nas estações de tratamento.

Este estudo teve como principal objetivo avaliar a eficiência da remoção de cianobactérias da água coletada da Lagoa do Peri, com intuito de analisar se a FAD, para este caso, é eficaz na remoção desses microrganismos. Os experimentos foram realizados em escala de bancada, utilizando como coagulante o policloreto de alumínio, como auxiliar de floculação os polímeros catiônicos e não-iônicos. A água de estudo foi a da Lagoa do Peri, manancial que abastece a parte leste e sul da ilha de Florianópolis e que possui uma alta concentração de cianobactérias durante o ano, em específico a *Cylindrospermopsis raciborskii*.

Durante o período estudado foram realizadas três etapas. A primeira foi denominada de ponto de dosagem ótima de coagulante, nela foram realizados diversos ensaios de jarreste com variação de coagulante e de polímero, com o intuito de encontrar uma dosagem ótima das substâncias químicas. A segunda etapa foi a realização de FAD com variação nos tempos de mistura lenta, na qual foram analisadas a turbidez e a cor após a clarificação da água. A terceira e última etapa foi com variação na dosagem de polímeros. Nesta fase foi realizada a medição de cor e turbidez, e também houve a contagem de células de cianobactérias para os melhores resultados de clarificação.

Nos ensaios de FAD com variação da dosagem de polímero encontrou-se a melhor remoção média de cor e turbidez, chegando a um valor de 51% para cor e 65% para turbidez, e com uma média de remoção de cianobactérias de 55,65%.

PALAVRAS-CHAVE: Água, Cianobactérias, Flotação por ar dissolvido, Eficiência de remoção.

INTRODUÇÃO

O acúmulo de cianobactérias em corpos d'água vem se tornando cada vez mais comum, tendo sua ocorrência acrescida devido ao aumento da ocupação urbana, o crescimento da agricultura e o aumento da produção industrial. Uma das principais causas da alta proliferação das algas é a liberação irregular de efluentes nos ambientes aquáticos, causando crescimento na concentração de nutrientes, conseqüentemente levando ao desequilíbrio ecológico. O aumento dos compostos fosfatados e nitrogenados leva a comunidade fitoplânctônica a realizar um crescimento desordenado, podendo causar sérios impactos ao meio ambiente. Porém as florações de cianobactérias também podem ocorrer em mananciais de água limpa. Sivonen e Jones (1999) relatam o incidente do óbito de gado a partir de intoxicação por cianobactérias, estas provenientes de reservatórios de águas límpidas localizados na Austrália.

O aparecimento de *Cylindrospermopsis raciborskii*, em lagos ou em reservatórios tem sido frequentemente seguido por florações, nas quais

atingem densidades de pico de cerca de 108 e 109 filamentos. Estas florações podem comprometer seriamente o uso da água para recreação como também para abastecimento de água potável. Dois exemplos dessa situação são o Lago Balaton, na Hungria e o Lago Paranoá, em Brasília, no Brasil (PADISÁK, 1997).

Uma preocupação associada às cianobactérias seria o rompimento de suas células, pois quando acontecem, essas algas podem liberar cianotoxinas. As grandes carreiras de filtração podem induzir o acontecimento desses rompimentos, causando a liberação de toxinas para a água em tratamento. As toxinas são solúveis em água o que facilita a passagem delas por filtros, perdendo o controle de qualidade do processo.

Nesta situação, é de suma importância a utilização de um pré tratamento que cause o menor rompimento possível das cianobactérias. A flotação por ar dissolvido (FAD) tem sido aplicada alternativamente a etapa de sedimentação no tratamento de águas com alta densidade de cianobactérias. Esta utilização ocorre devido ao baixo peso dos flocos não obtendo uma alta

eficiência com a sedimentação, diferentemente da flotação (AMARAL, 2011).

Na maioria dos tratamentos de água pelo mundo a decantação é um processo extremamente utilizado, porém em algumas condições este processo não possui bom rendimento. Isso acontece quando os flocos formados não possuem peso suficiente para que ocorra sua decantação rapidamente na água, entretanto existem formas de tornar os flocos mais pesados, como utilização de polímeros para aumentar o tamanho destes. Porém, nem sempre o aumento de tamanho vai tornar a decantação possível, como no caso de flocos formados por cianobactérias. Neste caso, como elas possuem gases armazenados nas suas células, é inviável o aumento do peso a um ponto que torne rápida sua sedimentação. Desta forma são consideradas as flotações como opções mais apropriadas no tratamento de água com os microrganismos.

Uma característica importante da água afluyente na estação de tratamento de água da Lagoa do Peri é a presença de cianobactéria, sobretudo a espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* atingindo concentrações celulares na ordem de 10⁶ por mL, durante maior período do ano (MONDARDO, R. I.; SENS, M. L.; DE MELO, 2009).

A estação de tratamento de água (ETA) da Lagoa do Peri é responsável desde o ano 2000 pelo abastecimento de água do leste da ilha até o bairro da Barra de Lagoa, e de toda parte do sul da ilha, até a praia da solidão, sendo o ponto sul mais extremo no qual chega a rede de abastecimento.

Esta pesquisa busca verificar a eficiência do processo de flotação por ar dissolvido na remoção de cianobactérias encontradas no manancial da Lagoa do Peri. A partir dos dados obtidos nessa pesquisa será avaliado se a FAD será viável se implantado como pré tratamento da ETA da Lagoa do Peri, visando eficiência no tratamento e uso seguro das águas para abastecimento.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Parâmetros analisados

A turbidez é uma característica física, que é medida através da passagem de um feixe de luz através da água. Esta contém partículas suspensas, e quanto maior o número destas partículas, maior será a turbidez, representando a quantidade de luz que atravessou a amostra. Este parâmetro é representado por meio de unidades de turbidez (NTU) (LIBÂNIO, 2008).

A Portaria 2.914, em vigor na data 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, estabelece como limite máximo de turbidez o valor de 5 NTU (uT).

A cor é representada por partículas coloidais presentes na água, esta ocorre devido a

reflexão da luz em partículas minúsculas, com dimensões menores que 1 micrômetro. Estas partículas tem origem predominantemente orgânica (LIBÂNIO, 2008). A unidade que representa cor é a Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).

Segundo a Portaria número 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, o valor máximo aceito em águas para consumo humano para o parâmetro cor aparente é de 15 Unidade Hazen (uH).

Cianobactérias

As cianobactérias ou cianofíceas, também conhecidas por algas azuis, são microrganismos aeróbicos fotoautotróficos. Para sobreviver necessitam somente de água, substâncias inorgânicas e luz. O principal modo de obtenção de energia dessas algas é a fotossíntese. Estas possuem uma organização celular semelhante as bactérias, organismos procariontes (falta de organelas envoltas por membranas), por essa razão são chamadas de cianobactérias (RABELO, 2006).

No Brasil os processos mais utilizados no tratamento convencional não são capazes de suportar uma carga muito alta de cianobactérias na água para tratamento. Os processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração são considerados menos eficientes quando lidam com alta concentração de cianobactérias. Estas dificuldades operacionais se manifestam em uma menor eficiência na floculação e coagulação, devido as alterações no pH da água, a baixa eficiência na etapa de sedimentação, devido a flutuabilidade das células, e a redução na eficiência do sistema de filtração, devido a rápida colmatação dos filtros, reduzindo suas carreiras de filtração (AMARAL, 2011).

A *C. raciborskii* habita uma grande diversidade de ambientes, que vão desde o subtropical, oligotrófico no hemisfério sul, a pequena e rasa, hipertrófica, nas lagoas temperadas no hemisfério norte. Surpreendentemente, muitos dados são de rios ou ambientes dinâmicos e de reservatórios construídos recentemente. Estas localidades representam uma grande diversidade de habitats tanto em termos de geomorfologia e química da água, indicando assim um elevado nível de adaptabilidade ecofisiológica de espécies (PADISÁK, 1997).

A Portaria número 518, de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde, define os procedimentos, responsabilidades e limites quanto ao controle e vigilância da qualidade da água, para o padrão de potabilidade, e dá outros direcionamentos. Essa portaria descreve as cianobactérias, como:

“Artigo 4 - X - cianobactérias - microrganismos procarióticos autotróficos, também denominados como cianofíceas (algas azuis), capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial especialmente naqueles com elevados níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo), podendo produzir toxinas com efeitos adversos à saúde”

As cianobactérias não causam problemas se ingeridas, porém caso liberem as cianotoxinas pode haver contaminação das águas, ocasionando até mesmo o óbito de quem as consome. Por isso a preocupação no tratamento em remover as células das cianobactérias sem gerar o rompimento das mesmas.

Cianotoxinas

As toxinas das cianobactérias constituem uma grande parte das toxinas naturais, as chamadas biotoxinas, encontradas comumente nas superfícies dos reservatórios de água doce. As cianotoxinas foram causas para inúmeros casos de envenenamento de animais em diversas localidades. (CARMICHAEL, 1992).

A real função das cianotoxinas é desconhecida, ou seja, atualmente os cientistas não conseguem afirmar qual a serventia dessas toxinas para a cianobactéria. Porém, para explicar a produção da mesma, acredita-se que as toxinas trazem algum benefício para as algas, tais como defesa de predação, relações simbióticas, excreção de produtos e até mesmo podendo ser reservas metabólicas (MELO FILHO, 2006).

Coagulação

Este processo consiste na desestabilização das partículas coloidais ou neutralização das moléculas de matéria orgânica dissolvida, por meio de dois fenômenos. O fenômeno físico, se dá pelo transporte das espécies hidrolisadas ou dos precipitados gerados para que haja contato com as impurezas presentes na água. Já o químico, ocorrem reações de hidrólise do metal. Usualmente o processo de coagulação é realizado em unidades de mistura rápida, podendo estas serem mecânicas ou hidráulicas (DI BERNARDO, 2011).

As unidades mecânicas são aquelas em que a água é movimentada através de hélices, turbinas, rotores e palhetas giratórias. Nas unidades hidráulicas a mistura é realizada pelo próprio movimento da água. O tipo mais comum utiliza ressaltos hidráulicos, ou seja, o ressaltos causado pela turbulência da água é o responsável pela mistura dos produtos químicos. Um exemplo seria a Calha Parshall, utilizada na estação de tratamento de água da Lagoa do Peri.

Floculação

A floculação está intimamente relacionada com a etapa da coagulação, por isso não se tem conhecimento quando este método passou a ser utilizado de forma abrangente no tratamento de águas para consumo. Existem indícios que as primeiras estações a apresentarem unidades de floculações foram no início do século 20, nos EUA, devido ao desenvolvimento da filtração rápida e a necessidade de diminuir a contribuição de partículas às unidades filtrantes (LIBÂNIO, 2006).

Este processo surge como uma consequência do processo de coagulação. Configura-se numa etapa de mistura lenta, que tem como objetivo acelerar a taxa de colisão das partículas que sofreram desestabilização durante a etapa de coagulação, aumentando a possibilidade de contato entre partículas. Durante o processo da floculação pode haver adição de outros produtos químicos, para que haja a agregação de partículas em forma de flocos. Esta etapa é comum em estações de tratamento onde se utiliza a sedimentação ou a flotação por ar dissolvido para clarificação da água (ASSIS, 2006).

Flotação

A flotação foi utilizada inicialmente em indústrias de minério e de papel, no início do século XX. Porém, sua aplicação em tratamento de água para comunidade só teve início na década de 50, onde passou a ser utilizada no tratamento de águas residuárias. Já no tratamento de água para abastecimento só foi implantada a partir dos anos 60, quando foram iniciadas pesquisas e aplicações do método. No Brasil, o início dos estudos relacionados a esse processo foram mais demorados, iniciando na década de 80 (OLIVEIRA, 2005).

A flotação é um processo que tem por função separar as partículas sólidas de uma fase líquida. Esta separação acontece através da inserção de microbolhas na água. Essas microbolhas aderem às partículas, e sua força de arraste impulsiona as partículas em direção a superfície, onde ficam acumuladas.

A escolha da flotação ou sedimentação, como processo de clarificação da água, depende de diversas variáveis. Os parâmetros que mais exercem influência nessa escolha são qualidade da água bruta, espécie da cianobactéria e suas características morfológicas, pH de coagulação, tipo da dosagem do coagulante, tempo e gradiente de velocidade da floculação e taxa de aplicação superficial (OLIVEIRA, 2005).

Flotação por ar dissolvido

A flotação por ar dissolvido (FAD), técnica comumente empregada no tratamento de

água, ocorre através de uma redução de pressão da água saturada, em um dispositivo apropriado, onde são produzidas microbolhas, essas bolhas irão aderir nos flocos e possibilitarão sua ascensão. Esse processo, ocorre normalmente com pressurização da recirculação, podendo ocorrer em unidade retangulares ou cilíndricas, e após a realização da flotação a água clarificada é direcionada para o filtro. A utilização da flotação como tratamento de água ocorre quando a água bruta possui algas e/ou cor verdadeira consideravelmente elevada, pois é o agente facilitador na remoção de flocos leves, que normalmente são gerados após a coagulação e floculação. (DI BERNARDO, 2011)

Segundo, Oliveira (2005) *apud* DRIKAS (1994), foi avaliada a eficiência da flotação por ar dissolvido para remoção de cianobactérias sem a ocorrência do rompimento das células, porém a comparação entre a sedimentação e a flotação continua necessária. Ao comparar a FAD com a sedimentação na estação de tratamento de água de North Richmond, Austrália, foi encontrada uma eficiência de 98% na remoção de células de cianobactérias intactas com a flotação por ar dissolvido, enquanto na utilização da sedimentação houve uma remoção entre 50 - 60% das células intactas.

Polímeros

Os polímeros são polieletrólitos compostos por moléculas orgânicas com cadeias longas, estão sendo extremamente utilizados em estações de tratamento de água e esgoto. Os polímeros possuem a capacidade de atrair as partículas sólidas suspensas e em seguida realizam sua adsorção. Os polímeros floculantes são utilizados no processo para agregar partículas neutralizadas e a partir disso gerar partículas maiores. São comumente utilizados no processo de coagulação/floculação, seguido de sedimentação ou flotação.

METODOLOGIA

Área de estudo

Este trabalho foi desenvolvido na sala de controle operacional da Estação de Tratamento de Água (ETA) da Lagoa do Peri, operada pela Companhia Catarinense de Saneamento e Águas, em conjunto com o Laboratório de Potabilização das Águas – LAPOA (UFSC). A sala de controle operacional da CASAN tem como finalidade garantir o pleno funcionamento da ETA e monitorar a qualidade de água, de forma a atender a Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde. Nela são realizadas análises que comprovam se as dosagens dos produtos químicos utilizados, como cloro, policloreto de alumínio, flúor, estão

adequadas ao tratamento. Os operadores são os responsáveis pelo tratamento da água, possuindo conhecimento e arbitrariedade para alterar dosagens de produtos químicos quando necessário.

A ETA da Lagoa do Peri (Figura 1) localiza-se no sul da Ilha de Santa Catarina, na bacia hidrográfica da Lagoa do Peri, dentro do Parque da Lagoa do Peri, regulamentado pela Lei Municipal nº 1.828 de 1992. A lagoa do Peri possui uma área de 5,072 km², com um volume aproximado de 21,20 milhões de m³ e suas profundidades média e máxima são, 4,18 e 11,00 m (GARCIA, 2002).



Figura 1: Imagem aérea ETA Lagoa do Peri.

Fonte: FCFIA.

A água da Lagoa do Peri caracteriza-se pela excelente qualidade e a ausência de poluição antrópica. O principal motivo para isto é o monitoramento constante da área, dificultando o despejo de poluentes na mesma. Este monitoramento é realizado devido ao fato da Lagoa do Peri se localizar dentro de um parque municipal, se enquadrando como uma área de conservação do município de Florianópolis. Entretanto, a água da Lagoa apresenta uma peculiaridade. Mesmo sem haver poluição antrópica, esta possui uma grande quantidade de cianobactérias, o que dificulta no tratamento para abastecimento. As cianobactérias não causam problemas se ingeridas, porém caso liberem as toxinas pode haver contaminação das águas, ocasionando até mesmo a morte de quem as consome.

Instrumentos

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados no instrumento jarteste da MILAN, composto por conjunto motor-agitador (com paletas de 25x75 mm) e seis jarros de acrílico transparentes, com dimensões de 115x115 mm e capacidade para 2 litros de água cada.

Os ensaios de coagulação/floculação/FAD foram realizados no instrumento floteste, composto por uma câmara

de pressurização, conjunto motor-agitador (com paletas de 25x75 mm²) e três jarros em acrílico transparente, com dimensões de 115x115 mm e capacidade para 2 litros de água cada. A câmara de pressurização da Gratt, possui capacidade para 3 litros de água, e funciona pela injeção de ar comprimido fornecido por um compressor externo. O instrumento é dotado de válvula reguladora de

o pHmetro era testado com solução tampão com pH 7, sempre fornecendo resultados pressão, manômetro, e registro agulha para ajuste fino de pressão. Na base da câmara encontram-se os registros para controle de entrada de ar e saída de água saturada para os jarros.

Inicialmente foi utilizado o floteste com uma placa de acrílico perfurada uniformemente, porém após observações a mesma foi removida para assegurar uma melhor eficiência na flotação.

Para analisar o pH foi utilizado o pHmetro da Gehaka. Não foi necessário realizar a calibração diariamente, porém durante todo período de análises confiáveis.

Para análise da cor das amostras foi usado o colorímetro da Policontrol. Para a sua utilização foi necessário realizar a calibração para certificar a acuracidade dos valores obtidos da amostra. Para este procedimento de calibração, foi utilizado um frasco com água destilada, este era considerado o ponto zero, pressionava-se a tecla CAL, e era escolhida a calibração a partir do zero da amostra, posteriormente eram realizadas as leituras do dia.

Para realizar análise de turbidez foi utilizado o turbidímetro da empresa DEL LAB. Para este instrumento não havia necessidade de realizar calibração diária, porém era necessário testar se o zero estava correto. Antes de cada análise, colocava-se um frasco com água destilada para análise e o resultado esperado era um número próximo do zero. Em todas as situações verificou-se um valor aceitável. O valor zero nunca era alcançado visto que os potes possuem arranhões, causando um desvio no feixe de luz emitido pelo instrumento.

Substâncias químicas

Durante os experimentos diversas substâncias químicas foram utilizadas. O coagulante utilizado foi o Policloreto de Alumínio (PAC), aplicado diariamente no tratamento de água na ETA da Lagoa do Peri. Foram utilizados dois tipos de polímeros, o Polímero cationicus sp de natureza catiônica, e o Rapfloc N 020 de natureza não-iônico foi o. Como fixador das cianobactérias na amostra foi utilizado o Lugol.

Desenvolvimento experimental

O desenvolvimento experimental foi dividido em três etapas. A primeira etapa refere-se às análises para determinar a concentração ótima de coagulante e polímero a serem utilizados na água da Lagoa do Peri, através dos ensaios de coagulação e floculação. A segunda etapa, refere-se às realizações dos ensaios da floculação por ar dissolvido com diferentes dosagens de coagulante e variando os tempo de mistura lenta, visando verificar o desempenho da flotação por ar dissolvido quando utilizada de forma unitária para tratamento da água da lagoa. Na terceira etapa foi realizada a FAD com diferentes dosagens de polímeros, Durante as duas etapas foi realizado o monitoramento, com avaliação dos parâmetros físico-químicos e biológicos da água da Lagoa do Peri.

Na definição do ponto ótimo de coagulação o objetivo determinar o melhor ponto de coagulação/floculação. Para a realização deste objetivo foram executados diversos jarrestes variando as concentrações do coagulante Policloreto de Alumínio (PAC) e também foram testadas diversas dosagens de polímeros não-iônicos e catiônicos e seus efeitos no processo.

Nos ensaios de FAD realizando variação nos tempos de mistura o objetivo foi avaliar a eficiência na remoção de cor e turbidez, visto que a remoção desses parâmetros impacta diretamente na remoção de cianobactérias, através da aplicação da flotação por ar dissolvido posteriormente ao processo de coagulação/floculação.

Na etapa de FAD variando a dosagem de polímero, ultima etapa do estudo, foi realizado o jarreste em todos os períodos de análise. O melhor resultado na formação de flocos, constatado visualmente, foi utilizado como dosagem ótima do coagulante do dia. A partir do resultado da dosagem ótima do coagulante no dia são realizados os Flotestes, nestes são dosados igualmente o coagulante em todos os jarros e emprega-se uma variação na quantidade de polímeros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ponto de dosagem ótima de coagulante

Nesta etapa do experimento o objetivo foi definir a melhor dosagem do coagulante ser utilizados nos ensaios de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido. O pH não foi um ponto limitante visto que o Policloreto de Alumínio (PAC) possui trabalhabilidade em grandes variações de pHs. Os indicadores utilizados foram turbidez e cor, que mantem relação direta com a quantidade de cianobactérias presentes na água.

Durante esta etapa, ponto ótimo de coagulação, foi possível observar as melhores

dosagens tanto de coagulante quanto de polímeros, e através dela foi possível a definição do melhor polímero para utilização nos ensaios futuros. As melhores dosagens de coagulante ficaram numa faixa numérica visto que variações das condições da água ocorrem naturalmente e variações de dosagens são necessárias para a adequação a condição da mesma, obtendo assim o intervalo ótimo de 16, 18 e 20 mg/L de coagulante (PAC).

No caso do polímero ficou perceptível a diferença entre o polímero catiônico e o não-iônico nos resultados. O polímero catiônico apresentou um melhor desempenho no quesito eficiência de remoção do que o polímero não-iônico, o que levou ao abandono das experiências com o polímero não-iônico. Notou-se que não é necessária uma elevada quantidade de polímero para a melhora da remoção, e em certo ponto a introdução de mais polímero não impacta na melhora dos parâmetros, assim sendo foi adotado dois valores para análises com polímeros que são 0,2 mg/L e 0,4 mg/L.

Flotação por ar dissolvido com variação de mistura lenta

Após a construção do diagrama de coagulação foi dado início a flotação por ar dissolvido (FAD), as dosagens utilizadas neste processo foram baseadas nos resultados da etapa anterior, com o intuito de obter a melhor eficiência. As dosagens foram de 16, 18 e 20 mg/L do coagulante PAC, e foram comparados a turbidez e a cor da água tratada em relação a água bruta.

Nesta etapa foi utilizado o jarro com placa de acrílico perfurada uniformemente superior à base, para poder espalhar microbolhas uniformemente em todos os espaços do jarro. Porém esta placa de acrílico mostrou-se ineficiente no auxílio a remoção dos parâmetros em estudo.

Durante a análise, foi visualizado que a parte de baixo do floteste atuou como uma zona morta, pois a velocidade da mistura lenta não conseguiu influenciar esta área. Outra observação importante sobre esta placa, foi que além de diminuir a velocidade das microbolhas ela também atuou como uma barreira impedindo que grande parte das bolhas emergissem. Essas bolhas puderam ser notadas logo abaixo da placa de acrílico.

A observação deste experimento demonstrou que não existe uma diferença significativa entre os resultados obtidos no tempo 14 minutos e no tempo 10 minutos de mistura lenta. Porém foi visualizada uma queda expressiva na eficiência de remoção para o tempo de mistura lenta de 5 minutos, quando comparado aos anteriores.

Logo abaixo na tem se as média de remoção de turbidez (Figura 2 e Tabela 1) e de cor (Figura 3 e Tabela 2) que comprovam as afirmações anteriores. Foi confeccionada uma média dos resultados obtidos nas quatorze análises realizadas nesta etapa. Foi observado que as médias da remoção de turbidez nos tempo de quatorze ou dez minutos não apresentam diferença maior que 2% entre elas, já a maior diferença destes tempo para o tempo de cinco minutos é 17% enquanto a menor é de 14%.

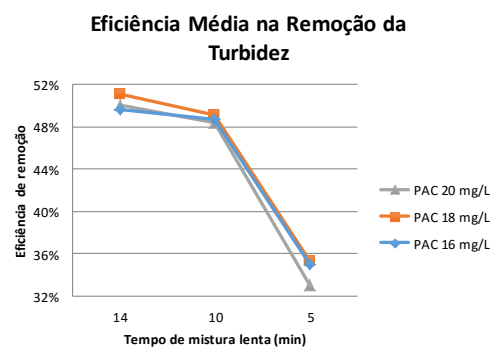


Figura 2 – Média das remoções da turbidez com variação no tempo de mistura lenta.

Tempo (min)	14	10	5
PAC (mg/L)			
16	50%	49%	35%
18	51%	49%	35%
20	50%	48%	33%

Tabela 1 – Média das remoções da turbidez com variação no tempo de mistura lenta.

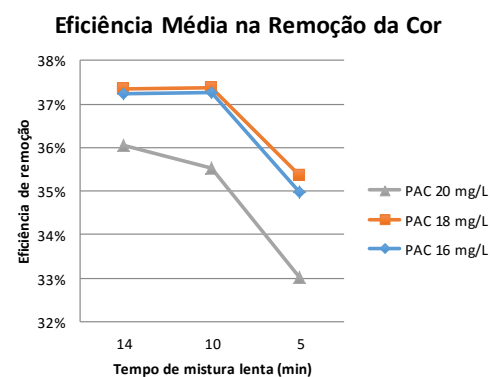


Figura 3 – Média das remoções da cor com variação no tempo de mistura lenta.

Tempo (min)	14	10	5
PAC (mg/L)			
16	37%	37%	35%
18	37%	37%	35%
20	36%	36%	33%

Tabela 2 – Média das remoções da cor com variação no tempo de mistura lenta.

Flotação por ar dissolvido variando dosagem do polímero.

Nas análises desta etapa foi utilizada a concentração de 16mg/L de PAC, já que está foi constatada ser a melhor formadora de flocos, a partir de jarrestes realizados diariamente.

As Figura 4 e Tabela 3 demonstram o comportamento da eficiência de remoção de cor e da turbidez da água clarificada após a FAD com variação de polímeros, a partir disso é possível notar que a quantidade de polímeros e a remoção dos parâmetros são diretamente proporcionais. Vale ressaltar que devido ao polímero ser um material de alto custo só é viável sua utilização com baixas dosagens, também foi observado na primeira etapa que a partir de uma certa concentração o aumento da dosagem de polímeros não influencia na melhora na formação de flocos. Por este motivo foi utilizadas as concentrações de 0,2 e 0,4mg/L de polímero catiônico na realização desta etapa.

Na Tabela 4 estão os dados obtidos da remoção de cianobactérias, existe uma variação não uniforme na remoção de células de cianobactérias, porém foi obtida uma média de 55,65% na remoção das algas.

A média de remoção de cianobactérias de 55,65% não é considerado um ótimo resultado, em Oliveria (2005) *apud* DRIKAS (1994) foi citada uma eficiência de remoção de 98% das células de cianobactérias quando utilizada a flotação por ar dissolvido para clarificação da água. Porém para primeiras análises desse tipo está aceitável, visto que o equipamento utilizado não foi um padronizado, mas sim um construído e adaptado conforme os resultados eram analisados.

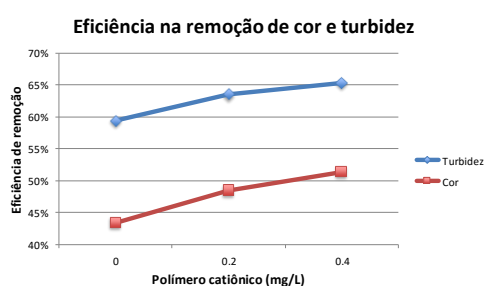


Figura 4 – Média das remoções de turbidez e cor com variação na dosagem de polímeros.

Polímero (mg/L)	Remoção da Cor	Remoção da Turbidez
0	43%	59%
0,2	48%	63%
0,4	51%	65%

Tabela 3 – Média das remoções de turbidez e cor com variação na dosagem de polímeros.

POLÍMEROS (mg/L)	%REMOÇÃO CIANO BACTÉRIAS
0,2	67,1
0,2	40,5
0,4	62,4
0,4	52,6
%MÉDIA DE REMOÇÃO	
55,65	

Tabela 4: Porcentagem de remoção de cianobactérias

CONCLUSÃO

Considerando os objetivos iniciais deste estudo e com base nos resultados obtidos na pesquisa realizada, conclui-se que:

Na determinação do ponto ótimo de coagulação os melhores resultados foram obtidos na concentração de policloreto de alumínio igual a 18 mg/L, nessa concentração foi obtido uma remoção de 40% de turbidez e 28% de remoção do parâmetro cor, somente realizando a coagulação.

Nos ensaios de FAD, variando o tempo de mistura lenta não houve grande variação de remoção para os tempos de mistura de 14 e 10 minutos, obtendo remoção de cor exatamente iguais e uma diferença máxima na remoção de turbidez de 2%. Para o tempo de 5 minutos essa diferença aumenta para 3% para cor e para 16% na remoção de turbidez. Mostrando que a última opção não é viável.

Nos ensaios de FAD, variando a dosagem do polímero, houve um aumento diretamente proporcional a concentração de polímeros na mistura. Concluindo assim que 0,4mg/L de polímero foi a melhor dosagem. Porém a quantidade de polímero utilizada impacta diretamente o custo do tratamento, por isso para uma escolha mais embasada é necessário um estudo de viabilidade.

Na remoção de cianobactérias os experimentos não foram excelentes apesar de ter sido obtida uma média de remoção de 55,65% das células de cianobactérias, deixando claro que são necessária mais análises para ter certeza que a implantação da flotação por ar dissolvido é uma boa opção para pré-tratamento.

As dosagens que obtiveram melhor remoção de cianobactérias, de 67,1% de remoção, foi com uma concentração de PAC de 16mg/L e 0,2 mg/L de polímeros catiônico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, Pauline Aparecida Pera do. **Utilização da flotação por ar dissolvido associada a microfiltração para remoção de cianobactérias em águas de abastecimento.**

Florianópolis, 2011. 139 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2011

ASSIS, Renata Sâmia Sobral de. **Remoção de Microcystis aeruginosa e microcistinas por flotação por ar dissolvido: estudo em escala de bancada utilizando sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulantes.** 2006. xviii, 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

CARMICHAEL, W. W. **Cyanobacteria secondary metabolites—the cyanotoxins.** Journal of applied bacteriology, v. 72, n. 6, p. 445-459, 1992.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** LDiBE Editora. São Carlos, 2011.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** Átomo, 2008.

MELO FILHO, Luiz Carlos de. **Avaliação da ozonização como pré ou pós-tratamento à filtração direta descendente na remoção de cianobactérias e saxitoxinas.** xx, 263 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2006.

MONDARDO, Renata Iza. **Avaliação da filtração em margem como pré-tratamento à filtração direta descendente na remoção de células de cianobactérias e saxitoxinas.** 308 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2009.

OLIVEIRA, JMB de. **"Remoção de Cyndrospermopsis raciborskii por meio de sedimentação e de flotação: avaliação em escala de bancada."** Brasília: UNB. Dissertação Mestrado (2005).

PADISÁK, Judit. **Cyndrospermopsis raciborskii (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptive cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology.** Archiv Für Hydrobiologie Supplementband Monographische Beitrage, v. 107, n. 4, p. 563-593, 1997.

RABELO, Letícia Pinto et al. **Estudos preliminares para implantação da filtração em margem na Lagoa do Peri como pré-**

tratamento de água para remoção de fitoplâncton. Florianópolis, 2006.

SIVONEN, K.; JONES, G. Cyanobacterial toxin. In: CHORUS, I.; BARTRAM, J. (Eds.) **Toxic cyanobacteria in water: a guide to public health consequences, monitoring and management.** World Health Organization. London and New York, 41-111p. 1999.

Maurício Luiz Sens