



I-281 - AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE CÉLULAS DA CIANOBACTÉRIA *Microcystis aeruginosa* EM INSTALAÇÃO PILOTO DE PROCESSOS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

João Francisco de Paula Pimenta⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental (Universidade Federal de Viçosa - UFV). Mestrando em Saneamento Ambiental (UFV)

Anderson de Assis Moraes

Biólogo (Centro Universitário do Leste de Minas Gerais). Mestre em Saneamento Ambiental e Doutorando em Saneamento Ambiental Saneamento (UFV)

Demétrius Brito Viana

Engenheiro Ambiental (UFV). Mestrando em Saneamento Ambiental (UFV).

Rafael Kopschitz Xavier Bastos

Engenheiro Civil (UFJF), Especialização em Engenharia de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ), PhD em Engenharia Sanitária (University of Leeds, UK), Professor Associado, Departamento de Engenharia Civil, (UFV).

Higor Suzuki Lima

Graduando em Engenharia Ambiental (UFV).

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa - MG - CEP: 36570-000
Tel: (31) 3899-2352 - e-mail: joaofranciscopp@yahoo.com.br

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados de três ensaios de inoculação de células de *Microcystis aeruginosa* NPLJ-4 em uma estação de tratamento de água em escala piloto, com o objetivo de avaliar o potencial do tratamento convencional na remoção de células dessa cianobactéria, simulando situações de floração no manancial de abastecimento ($\approx 10^5$ células por mililitro). Como coagulante utilizou-se sulfato de alumínio. A remoção média de células de *M. aeruginosa*, quando ocorreu (no primeiro e no terceiro ensaios), alcançou cerca de uma unidade logarítmica em cada uma das etapas de na decantação e de filtração (remoção próxima a 2 log ao todo), resultando em concentrações no efluente filtrado de 10^2 - 10^3 células.mL⁻¹. As remoções de células de *M. aeruginosa* e de partículas de 3-7µm mostraram-se correlacionadas, mas esses dois parâmetros nem sempre se apresentaram em valores absolutos próximos.

PALAVRAS-CHAVE: contagem de partículas, decantação, filtração, *Microcystis aeruginosa*, turbidez.

INTRODUÇÃO

Um dos impactos da atividade humana nos ecossistemas aquáticos é a introdução excessiva de nutrientes e, consequentemente, a ocorrência de processos de eutrofização, caracterizados pelo aumento da produtividade primária e, eventualmente, pela floração de microalgas e cianobactérias. A principal preocupação quanto à presença das cianobactérias é sua capacidade de produzir e liberar metabólitos (cianotoxinas) que podem afetar a saúde humana. De posse de tal constatação, torna-se crucial que se investigue o potencial da técnica de tratamento empregada para a remoção desses organismos quando o manancial de abastecimento apresenta condições favoráveis ao seu desenvolvimento ou histórico de sua ocorrência.

Nesse sentido, a efetividade dos processos de tratamento de água depende de sua capacidade de remover células, não promover sua lise e de remover cianotoxinas. Reconhecidamente, microalgas e cianobactérias podem ser desestabilizadas, floculadas e filtradas. Todavia, por causa da grande variedade de organismos, não é possível abordar o problema de forma genérica (Bernhardt e Clasen, 1994). Por exemplo, o controle dos mecanismos de coagulação pode ser um fator importante. Na sequência do tratamento, a literatura registra informações não conclusivas sobre a eficiência comparativa da sedimentação ou flotação (Edzwald e Wingler, 1990; Vlaski et al., 1996). Também devido à ocorrência de organismos diversos, vários esforços têm sido direcionados para a pesquisa de etapas combinadas de filtração (Carvalho et al., 2001, Sá et al., 2003; Kuroda e Di Bernardo, 2005).



Outro aspecto ainda controverso é se os processos convencionais de tratamento são capazes de remover cianobactérias sem provocar a lise celular (Chow *et al.*, 1999). Outros trabalhos dão conta ainda de que células depositadas no lodo de decantadores podem liberar toxinas (Drikas *et al.*, 2001; Oliveira, 2005) e, decerto, o processo de desinfecção pode provocar a lise de células que passem pelos filtros.

A Portaria nº518 / 2004 do Ministério da Saúde estabelece procedimentos de monitoramento de cianobactérias e cianotoxinas na água bruta e tratada. Isto certamente influenciou a agenda da pesquisa no país, mas permanecem lacunas de informações práticas perante o seguinte cenário: florações disseminadas de microalgas e cianobactérias; a aplicação de algicidas é vedada; a quase totalidade das estações de tratamento de água emprega processos convencionais.

Em 2000, já se tinha registros da ocorrência de pelo menos 20 espécies de cianobactérias potencialmente tóxicas, incluídas em 14 gêneros, em diferentes ambientes aquáticos brasileiros, sendo a *Microcystis aeruginosa* uma das espécies com mais ampla distribuição no país (Azevedo e Brandão, 2003).

Neste trabalho são apresentados os resultados de três ensaios em instalação piloto com inoculação de cultura da cianobactéria *Microcystis aeruginosa*, a fim de analisar a remoção de células por meio de técnicas convencionais de tratamento de água (ciclo completo) simulando situações de floração.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da ETA piloto

Os experimentos piloto foram conduzidos nas dependências da Estação de Tratamento de Água da Universidade Federal de Viçosa (ETA UFV). A ETA piloto era alimentada com água do mesmo manancial de abastecimento da ETA UFV (manancial superficial represado) através de uma derivação instalada na tubulação de adução.

A ETA piloto era composta por um misturador rápido – um diafragma instalado na tubulação de entrada da ETA, floculador hidráulico, decantador convencional de fluxo ascendente, filtro rápido descendente com camada simples de areia, um reservatório para inoculação de cianobactérias e uma caixa d'água de 5 m³ para tratamento dos resíduos (Figuras 1, 2 e 3). Nos experimentos de inoculação de cianobactérias foi aplicada uma vazão total de 0,378 m³.h⁻¹, correspondente à vazão da ETA piloto (0,36 m³ h⁻¹ = 0,10 L s⁻¹) acrescida da vazão do inóculo (0,018 m³ h⁻¹ = 0,005 L s⁻¹).

A água bruta era bombeada através de uma tubulação de PVC de 19 mm de diâmetro para a entrada da ETA piloto, onde era misturada com o inóculo já diluído, por sua vez bombeado do reservatório e conduzido por meio de uma mangueira de 25,4 mm de diâmetro. O sulfato de alumínio líquido (coagulante) era aplicado por meio de uma mangueira utilizada em aplicações de soro e medicamentos por via endovenosa, com o respectivo controlador de gotejamento, imediatamente antes da mistura rápida, proporcionada pela redução da canalização de 19 mm para 12,7 mm, seguida por nova expansão da canalização para 19 mm (diafragma) (Figura 1). O gradiente de velocidade da mistura rápida para a vazão utilizada durante os ensaios aqui descritos (0,105 L.s⁻¹) era de 1.140 s⁻¹.

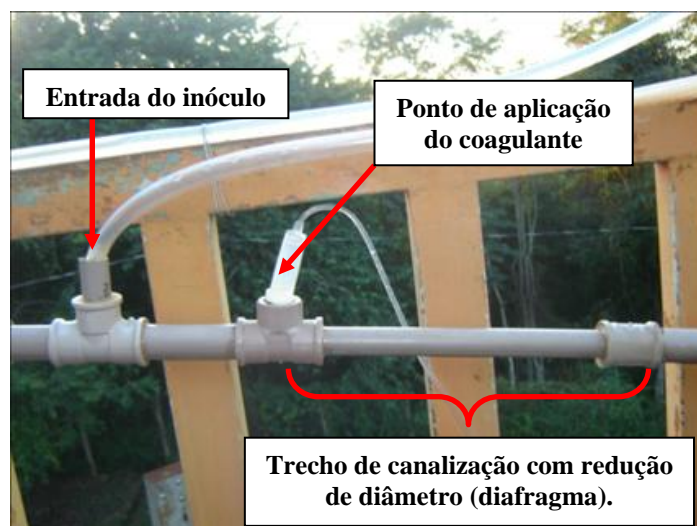


Figura 1 – Detalhes dos pontos de mistura água bruta + inóculo e da aplicação e mistura do coagulante.



Figura 2 – Vista lateral do floculador da ETA Piloto.



Figura 3: Vista parcial da ETA piloto, decantador, filtro e reservatório de inoculação de cianobactérias.



O floculador da ETA piloto (Figura 2) foi dimensionado aos moldes da ETA UFV (seis câmaras de floculação com passagens retangulares alternadas nos cantos superior direito e inferior esquerdo) e com base em ensaios de tratabilidade, de acordo com os seguintes parâmetros: tempo de floculação = 20 min.; gradientes de velocidade de floculação = 47 - 31 - 24 - 24 - 13 - 13 s⁻¹ (respectivamente em cada uma das seis câmaras de floculação).

O decantador da ETA piloto (Figura 3) possuía área superficial de 0,44 m² e profundidade de 3,30 m. Para a vazão de inoculação (0,105 L.s⁻¹) a taxa de aplicação superficial correspondeu a 20,6 m³.m⁻².d⁻¹.

O filtro da ETA piloto (Figura 3) possuía área filtrante de 0,04 m² e foi operado com taxa de filtração constante e carga hidráulica variável. A taxa de aplicação era de 226,8 m.d⁻¹ para a vazão de 0,105 L.s⁻¹. Antecedendo cada ensaio na ETA Piloto realizava-se a lavagem do filtro, iniciando-se assim uma nova carreira e garantindo a igualdade de condições entre os ensaios. A lavagem do filtro era realizada com velocidade ascensional de 0,8 m.min⁻¹, utilizando água tratada (clorada) proveniente do reservatório elevado da ETA UFV.

O reservatório para inoculação de *Microcystis aeruginosa* apresentava altura útil de 1,2 m, área superficial de 0,3 m² e hélice acoplada a um motor, de forma a manter o inóculo em suspensão durante os ensaios. Nestes ensaios foram inoculados 36 L de cultura de células de *Microcystis aeruginosa* com concentração da ordem 10⁷ células mL⁻¹, para a obtenção de concentração na água a ser tratada em torno de 10⁵ células mL⁻¹. Os 36 L de cultura eram diluídos em 108 L de água bruta, com o intuito de obter vazão para inoculação de 5 mL s⁻¹, mantida constante durante todo o ensaio.

Cultivo de cianobactérias

As culturas de *M. aeruginosa*, a partir de cepas fornecidas pela Universidade de Brasília (UnB), foram mantidas em sala de crescimento no Laboratório do Departamento de Água e Esgoto da Universidade Federal de Viçosa (DAG/UFV), sob condições fotoautotróficas, à temperatura de 23 ± 1°C, iluminação constante proveniente de luz fria fluorescente (25 μmoles.m⁻².s⁻¹) e fotoperíodo de 12 / 12 horas de luz / escuro. As culturas estoque foram mantidas em frascos Erlenmeyer, com capacidade para 300 mL, em meio mineral ASM-1 líquido (Gorham et al, 1964). Periodicamente, as culturas eram transferidas na proporção 1:9 de células e de meio, respectivamente, para frascos erlenmeyers com capacidade de 6L contendo o meio ASM-1 e mantidas sob aeração constante até atingirem a concentração desejada de células (10⁷ células por mililitro).

Inoculação de *Microcystis aeruginosa* na ETA piloto

Os ensaios na ETA Piloto duraram em média 7,5 h, limitados pelo horário de funcionamento da ETA UFV (adução de água bruta, servindo também a ETA piloto). A cada hora eram coletadas amostras da água bruta, do inóculo (cultura pura + água bruta na proporção 1:3), mistura (água bruta + inóculo), da água decantada e da água filtrada para análises de turbidez, cor e contagem de células. A cada hora eram também determinados o pH (água bruta, inóculo, mistura e filtrada) e a alcalinidade (água bruta, inóculo e mistura). Nos dois primeiros ensaios (24/04/2008 e 20/06/2008) houve ainda leituras de turbidez da água filtrada a cada 5 minutos, por medidas em turbidímetro de processo, marca HACH modelo 1720E

Adicionalmente, em todos os ensaios, a cada 5 min, eram computados os valores de contagem de partículas (contador de partículas de processo, marca Hach, modelo 2200 PCX) para a água filtrada dentre as seguintes faixas de tamanho de partículas: 2 a 15 (variando a cada unidade), 20, 25, 30, 35, 40, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600 e 700 μm. As faixas inferiores de tamanho das partículas foram fixadas para facilitar comparações com o tamanho das células de *Microcystis aeruginosa* (3,5 – 7 μm).

Contagem de células

Foram efetuadas coletas de 1L das amostras, preservadas em Lugol (Bicudo e Menezes, 2006) e posteriormente armazenadas em frasco âmbar, guardados em local fresco, protegido da luz, deixados em repouso por no mínimo 48 horas, período após o qual o sobrenadante era cuidadosamente sifonado e seu volume medido, assim como o volume restante no frasco, para o cálculo do fator de concentração da amostra.



O sedimentado era homogeneizado e uma alíquota transferida, com o auxílio de uma pipeta Pasteur, para uma câmara de Neubauer reticulada, que facilita a contagem e necessita de pequena quantidade de amostra (100 μL) (Sipaúba-Tavares e Rocha, 2001). A contagem foi realizada em oito quadrantes para cada amostra, em microscópio Olympus CX41. A sedimentação das amostras é importante para se aumentar a sensibilidade das contagens, principalmente em amostras com concentração baixa de células, visto que o limite de detecção utilizando-se a câmara de Neubauer é de $1,25 \times 10^3$ células por mililitro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio de jarros (jar test) prévios a cada evento de inoculação foram realizados a fim de determinar a dose de sulfato de alumínio que proporcionasse maior remoção de turbidez, de acordo com Moraes et al, 2009 indicativo de remoção de células de *M. aeruginosa*, sendo esta a dose utilizada durante o subsequente ensaio na ETA piloto. As combinações utilizadas durante os ensaios de inoculação: pH x dose foram respectivamente $7 \times 12 \text{ mg.L}^{-1}$; $7 \times 10 \text{ mg.L}^{-1}$ e $7,5 \times 8 \text{ mg.L}^{-1}$.

Na Tabela 1 encontram-se os resultados das análises das amostras coletadas ao longo dos três ensaios.

Durante os três ensaios de inoculação de *M. aeruginosa* na ETA piloto, a água bruta, típica de períodos de estiagem, apresentou turbidez variando de 6,2 a 9,8 uT.

Análises realizadas em amostras coletadas com frequência horária durante os ensaios indicaram que as concentrações do inóculo permaneceram em torno de 10^6 células. mL^{-1} nos três ensaios. Já na água afluenta a ETA piloto (mistura), a concentração de células variou de $8,8 \times 10^3$ células mL^{-1} a $1,3 \times 10^6$ células mL^{-1} , com médias em torno de 3×10^5 no primeiro ensaio e 5×10^4 células mL^{-1} nos dois subsequentes.

O inóculo apresentou elevada turbidez (médias de 83,0; 79,7 e 96,6 uT respectivamente), porém após diluição na água bruta afluenta à ETA piloto, a turbidez da mistura assumiu valores entre 6,6 e 17,7 uT. O inóculo apresentou também pH elevado, muito provavelmente em função da fotossíntese realizada pelas cianobactérias durante o cultivo.

Em geral, a água decantada apresentou boa qualidade ($<6,5$ uT). Já a água filtrada apresentou grande variação nos três ensaios, com tendência à melhora depois de decorrido o tempo de detenção hidráulica da ETA piloto, em torno de 4h.

Na Figura 4 apresenta-se a evolução da qualidade da água filtrada ao longo dos ensaios realizados, incluindo resultados de turbidez, medida em frequência horária em bancada e em turbidímetro de processo a cada 5 min.; contagens de partículas, também em equipamento de processo e medida a cada 5 min. (agrupadas nas seguintes faixas de tamanho: $< 3 \mu\text{m}$, $3-7 \mu\text{m}$, faixa de tamanho esperada para as células de *M. aeruginosa*, e de $8 \mu\text{m}$ ao limite encontrado em cada ensaio); contagens de células de *M. aeruginosa* com microscopia óptica, em amostras coletadas em frequência horária.



Tabela 1 – Descrição do monitoramento dos ensaios com inoculação de células de *M. aeruginosa* NPLJ-4 na ETA piloto, 10^5 células.mL⁻¹.

Par	Amo	1º Ensaio (24/04/2008)				2º Ensaio (20/06/2008)				3º Ensaio (20/08/2008)			
		Média	Mínimo	Máximo	CV	Média	Mínimo	Máximo	CV	Média	Mínimo	Máximo	CV
Turbidez (uT)	B	9,3	9,1	9,8	3	8,3	7,8	9,1	5	6,7	6,2	7,9	5
	I	83,0	70,5	120,0	20	79,7	77,6	82,1	2	96,6	88,6	123,0	2
	M	14,1	9,9	17,7	16	12,6	11,5	14,9	8	10,6	6,6	12,8	10
	D	4,1	2,5	5,7	28	4,9	1,5	6,5	33	1,8	1,2	2,2	22
	F	1,5	0,4	4,1	84	1,1	0,7	2,9	63	0,9	0,6	1,4	29
Cor (uC)	B	48,8	45,0	50,0	5	29,4	27,0	32,0	7	26,3	25,0	28,0	4
	I	304,3	210,0	350,0	15	278,8	250,0	400,0	19	250,0	220,0	270,0	4
	M	60,8	53,0	68,0	10	48,1	40,0	60,0	14	32,3	27,0	36,0	13
	D	23,6	14,0	28,0	22	16,9	5,0	25,0	44	5,3	5,0	6,0	11
	F	8,0	5,0	13,0	41	1,8	0,0	5,0	121	4,2	2,0	5,0	32
Alcal.	B	24,8	23,0	25,9	4	22,1	6,6	25,4	32	26,0	23,3	30,7	4
	I	36,1	34,6	38,4	4	40,5	37,1	42,4	4	45,2	40,3	51,9	6
	M	16,7	11,5	24,0	21	24,1	22,3	26,5	6	24,0	21,2	30,7	6
pH	B	6,8	6,6	6,9	2	6,8	6,6	7,0	2	7,5	7,3	7,7	2
	I	10,1	9,8	10,2	1	9,0	8,7	9,3	3	10,1	9,9	10,3	2
	M	6,4	5,9	7,0	6	6,9	6,6	7,1	2	7,2	6,9	7,6	3
	F	6,8	6,6	7,0	2	7,0	6,7	7,3	3	7,2	7,0	7,5	2
células.mL ⁻¹	B	ND	ND	ND	-	ND	ND	ND	-	ND	ND	ND	-
	I	$3,7 \times 10^6$	$1,8 \times 10^6$	$8,6 \times 10^6$	60	$2,2 \times 10^6$	$1,9 \times 10^6$	$2,6 \times 10^6$	11	$2,4 \times 10^6$	$5,9 \times 10^5$	$4,9 \times 10^6$	54
	M	$3,0 \times 10^5$	$2,3 \times 10^4$	$1,3 \times 10^6$	140	$5,0 \times 10^4$	$8,8 \times 10^3$	$1,0 \times 10^5$	59	$5,4 \times 10^4$	$1,8 \times 10^4$	$1,2 \times 10^5$	67
	D	$2,1 \times 10^4$	$2,4 \times 10^2$	$4,3 \times 10^4$	64	$2,4 \times 10^4$	$6,1 \times 10^2$	$4,0 \times 10^4$	69	$3,6 \times 10^3$	$7,5 \times 10^2$	$8,5 \times 10^3$	75
	F	$2,7 \times 10^3$	ND	$7,0 \times 10^3$	89	$1,3 \times 10^4$	$7,4 \times 10^2$	$6,2 \times 10^4$	172	$6,1 \times 10^2$	$1,2 \times 10^2$	$1,2 \times 10^3$	61

Par.: Parâmetro; Amo: amostra; B: Bruta, I: Inóculo, M: Mistura, D: Decantada, F: Filtrada, CV: Coeficiente de Variação(%);ND: não detectado.

No primeiro ensaio (24/04/2008) a turbidez da água filtrada apresentou tendência decrescente ao longo da duração do experimento, assumindo valores mais baixos (<1 uT) e constantes depois de decorrido o tempo de detenção hidráulica até os filtros (4h). Essa foi também a tendência observada nas contagens de partículas: queda da contagem geral a partir das 11h e em especial daquelas na faixa de tamanhos típicos de células de *M. aeruginosa* (3 a 7 µm) – de cerca de 10^3 até 10^2 partículas.mL⁻¹ ao final do ensaio. Entretanto, as contagens de células, embora tenham demonstrado também tendência decrescente ao longo da carreira de filtração, revelaram valores superiores aos de contagens de partículas de 3-7 µm, chegando ao final do ensaio com valores da ordem de 10^3 - 10^4 cel.mL⁻¹.

No segundo ensaio (20/06/2008) nota-se também tendência decrescente da turbidez da água filtrada até aproximadamente às 16h, completando um período de 6 horas de carreira de filtração. Nesse momento houve um incremento pontual na turbidez, acompanhado de picos também nas contagens de partículas e de contagem de células (ambas com incremento de cerca de 1 log), sugerindo a ocorrência de transpasse. Após esse pico, tanto a turbidez quanto a contagem de células e de partículas voltaram a cair para valores próximos aos apresentados imediatamente antes desse evento. Entretanto, as contagens de células e de partículas de menor tamanho (< 3 µm, e 3-7 µm) não apresentaram tendência de queda ao longo da carreira de filtração. Além disso, as contagens de células apresentaram valores absolutos sempre superiores (> 1 log) aos das contagens de partículas supostamente representativas do tamanho das células de *M. aeruginosa* (3 a 7 µm).

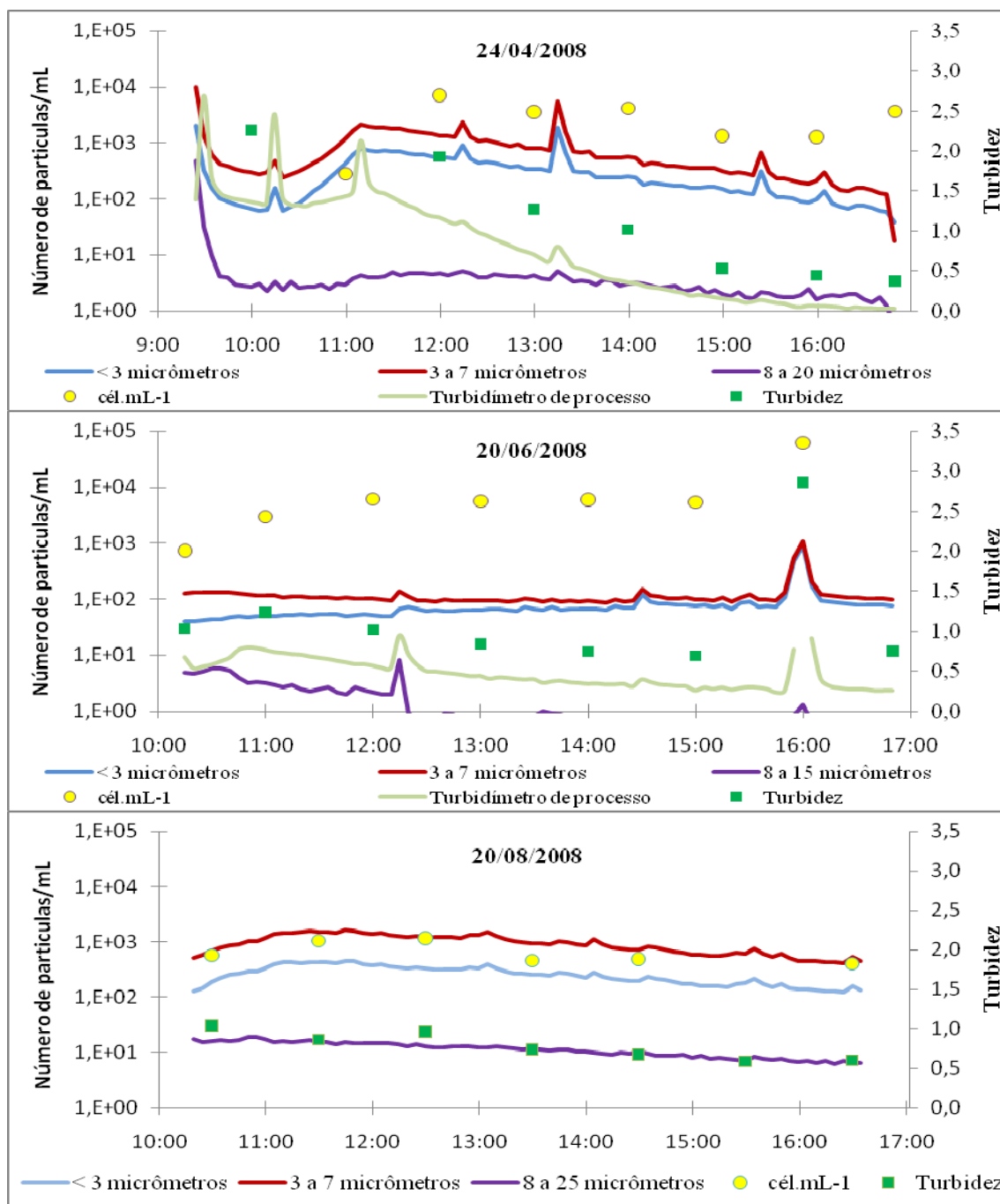


Figura 4 – Evolução da turbidez, contagem de partículas e contagem de células na água filtrada durante os ensaios de inoculação de *M. aeruginosa* na ETA piloto.

O terceiro ensaio (20/08/2008) apresentou-se de forma mais homogênea (menor coeficiente de variação) e com melhor qualidade da água filtrada - em boa parte do ensaio a turbidez da água filtrada permaneceu abaixo de 1 uT. Ainda que de forma menos acentuada, neste ensaio confirma-se a tendência dos anteriores de diminuição dos valores de turbidez e de contagens de partículas ao longo da carreira de filtração, porém sem o registro de ocorrência de picos eventuais de incrementos. Nesse ensaio, as contagens de células e de partículas mostraram comportamento semelhante ao da turbidez e entre si. Adicionalmente, as contagens de células e de partículas de 3-7 μm se deram em valores absolutos bem próximos.

A contagem de células de *M. aeruginosa* apresentou comportamento semelhante ao apresentado pela contagem de partículas na faixa de 3-7 μm , com um elevado coeficiente de correlação nos dois últimos ensaios (r de Pearson de 0,50; 0,99 e 0,87 respectivamente com $p < 0,05$)



Nas amostras de águas decantada e filtrada, células de *M. aeruginosa* foram detectadas com frequência e por vezes em elevadas concentrações, na ordem de 10^3 - 10^4 células.mL⁻¹ e 10^2 - 10^3 células.mL⁻¹, respectivamente. Portanto, a remoção média de células de *M. aeruginosa*, quando ocorreu (no primeiro e no terceiro ensaios), alcançou cerca de uma unidade logarítmica em cada uma das etapas de na decantação e de filtração (remoção próxima a 2 log ao todo). Isso, em tese, seria suficiente para remoção ‘total’ de concentrações na água bruta em torno de 10^2 células.mL⁻¹, muito abaixo do usualmente encontrado em florações.

CONCLUSÕES

Embora testes de bancada (jar test) tenham revelado potencial mais elevado de remoção de células de *Microcystis aeruginosa* (Morais *et al*, 2009), os ensaios na ETA piloto com águas típicas de período de estiagem evidenciaram eficiência limitada à cerca de 2 log, por meio do tratamento em ciclo completo de clarificação. Isso poderia estar relacionado a limitações inerentes ao processo convencional de tratamento devido às características das células dessa espécie (unicelulares e de pequena dimensão – 3,5 a 7 µm) ou, mais provavelmente, à necessidade de otimização da coagulação. Observe-se que nos ensaios de bancada mencionados, onde a concentração inicial de células foi superior a deste trabalho da ordem de uma unidade logarítmica, a remoção de células de *M. aeruginosa* alcançou 3-4 unidades logarítmicas em regiões de diagramas de coagulação com valores de pH em torno de 7 e doses do coagulante superiores às aplicadas no presente estudo (16-23 mg.L⁻¹) (Morais *et al*, 2009).

É preciso também enfatizar que nas condições destes experimentos, com inóculos com elevadas concentrações de células (cerca de 10^5 células.mL⁻¹), e dado o limite de detecção da técnica de contagem, remoções “elevadas” (em alguns casos de mais de 99%), podem ainda resultar em elevadas concentrações de células no efluente filtrado o que ainda pode implicar elevado potencial de liberação de cianotoxinas na etapa seguinte do tratamento – a desinfecção.

Embora tenham sido reunidos indícios da aplicabilidade do uso de contagem de partículas como parâmetro indicador da remoção de células de *M. aeruginosa*, isso ainda merece investigações complementares uma vez que os resultados nem sempre se mostraram consistentes, tanto em termos de eficiência comparada de remoção, quanto de valores absolutos dos dois parâmetros.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto da UFV no Edital 5 do Prosab (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico). Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de recursos financeiros e de bolsas de Iniciação Científica. Agradecimentos são ainda devidos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado ao segundo autor no âmbito do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFV e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO, S. M. F. O.; BRANDÃO, C. C. S. *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 p.
2. BERNHARDT, H, CLASEN, J. Investigations in to the flocculation mechanisms of small algal cells. *Journal Water SRT–Aqua*, v. 43. n. 5, pp 222-32, 1994.
3. BICUDO, C.E.M.; MENEZES, M. *Gêneros de Algas de Águas Continentais do Brasil (chave para identificação e descrições)*. 2ª ed. São Carlos:RIMA, 2006.
4. CARVALHO, R. P. M.; CEZAR, M. C. M. ; BRANDÃO, C. C. S. Aplicabilidade da pré-filtração ascendente em pedregulho com coagulação química, como pré-tratamento para a filtração lenta de águas com presença de algas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. (CD-ROM).



5. CHOW, C. W. K.; DRIKAS, M.; HOURSE, 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. 1999.
6. DRIKAS, M., CHOW, C.W.K., HOUSE, J.; BURCH, M.D. Using coagulation, flocculation e settling to remove toxic cyanobacteria. *Journal of the American Water Works Association*, v. 93, n.2, p.100-111, 2001.
7. EDZWALD, J. K. E WINGLER, B. J. Chemical and physical aspects of dissolved-air flotation for the removal of algae. *Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua*, v. 39, n. 1, pp. 24-35, 1990.
8. GORHAM, P. R.; MCLACHLAN, J.; HARMER, U.T.; KIM, W. H. Isolation and culture of toxic strains of *Anabaena flos-aquae* (Lingb.). *Verh. Internat. Verein Limnol.* (15), p.769-780, 1964.
9. KURODA, E. K., Di BERNARDO, L. Determinação das condições de coagulação química para filtração direta com águas contendo células e subprodutos de cianobactérias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2005 (CD-ROM).
10. MORAIS, A.A.; BASTOS, R.K.X.; PIMENTA, J.F.P.; MOUNTEER, A.H.; CAVALCANTI, A.A. Diagramas de coagulação e avaliação do potencial de remoção de células de *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii* por processos convencionais de tratamento de água, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25, Recife-PE, 2009. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2009 (CD ROM)
11. OLIVEIRA, J.M.B. Remoção de *Cylindrospermopsis raciborskii* por meio de sedimentação e de flotação: avaliação em escala de bancada. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 122p, 2005.
12. SÁ, J. C., OLIVEIRA, A. C. P.; AZEVEDO, S. M. F. O.; BRANDÃO, C. C. S. Remoção de *Microcystis aeruginosa* e microcistina com a utilização de filtro lento sanduíche. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Joinville-SC. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2003. (CD-ROM).
13. SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; ROCHA, O. Produção de plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) para alimentação de organismos aquáticos. São Carlos: RIMA, 2001. 106 p.
14. VLASKI, A.; VAN BREEMEN, A. N.; ALAERTS, G. J. Optimization of coagulation conditions for the removal of cyanobacteria by dissolved air flotation or sedimentation. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, v. 45, n. 5, pp. 253-261. 1996.