

## **II-357 – PÓS TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO PRIMÁRIA POR FLOTAÇÃO A AR DISSOLVIDO**

**Ceres Virginia da Costa Dantas<sup>(1)</sup>**

Gestora Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFRN.

**Xaila Sant' Anna do Amaral**

Gestora Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Mestranda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

**André Luís Calado Araújo**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba. Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de Leeds, Inglaterra. Professor da Área de Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Praia de Muriú, 9188 – Ponta Negra – Natal – RN – CEP: 59092-390 – Brasil – Tel: (84) 8829-9679 - e-mail: [ceresdantas1@gmail.com](mailto:ceresdantas1@gmail.com)

### **RESUMO**

Este estudo trata da remoção de algas em lagoas de estabilização sob a perspectiva do pós-tratamento por flotação a ar dissolvido. As elevadas concentrações de sólidos suspensos, devido principalmente à biomassa de algas, têm se apresentado como uma desvantagem do sistema de estabilização, haja vista que deterioram a qualidade do efluente através de fatores estéticos ou até mesmo de toxicidade, acarretando limitação quanto sua disposição final. Nesse sentido, a flotação por ar dissolvido tem se mostrado como uma eficiente técnica de pós-tratamento, permitindo que o lançamento do efluente atenda aos padrões dispostos na legislação ambiental. Embasando-se nessa problemática, objetivou-se avaliar a remoção de algas de efluente da lagoa de estabilização facultativa primária de uma ETE da cidade de Natal, Rio Grande do Norte, utilizando o processo de flotação por ar dissolvido. Para isso, realizaram-se, semanalmente, coletas de amostras do efluente em questão. Essas amostras foram submetidas a ensaios de coagulação, floculação e flotação, com vistas à remoção de sólidos suspensos, utilizando-se o equipamento flotatest. Nesse processo, testou-se o coagulante sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ ), e foram variados os fatores concentração de coagulante, pH, taxa de recirculação e uso de polímero, com o intuito de verificar a eficiência de diferentes configurações na remoção desses sólidos. Após a etapa metodológica realizada, foi feita análise estatística para determinação dos fatores mais significantes no processo. Por fim, os resultados mostraram altos valores de eficiência de remoção de algas utilizando-se a flotação a ar dissolvido; além disso, o pH foi o fator mais significativo do processo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Flotação a ar dissolvido, pH, Remoção de Algas, Sulfato de alumínio.

### **INTRODUÇÃO**

Os sistemas de lagoas de estabilização são sistemas de baixo custo, fácil construção e operação e que apresentam eficiências satisfatórias na remoção de matéria orgânica. São tecnologias adequadas para o tratamento de esgotos em países de clima tropical, que apresentam condições climáticas ideais para sua utilização. No entanto, as elevadas concentrações de algas formadas naturalmente, configuram uma desvantagem do sistema, pois deterioram a qualidade do efluente final por fatores estéticos ou até de toxicidade, limitando o seu reuso e a sua disposição final.

Araújo (2011) verificou em 10 séries de lagoas de estabilização no Rio Grande do Norte, que todas atingiram a remoção mínima de 60% quando a DBO medida nos efluentes finais estava baseada em amostras filtradas (DBO filtrada). No entanto, destaca-se que, na prática, os efluentes não são filtrados antes da disposição final, ocasionando o lançamento de algas ricas em nutrientes em corpos hídricos receptores, podendo comprometer as suas qualidades e aos múltiplos usos de suas águas.

Dessa forma, técnicas de tratamento complementar (pós-tratamento) tais como a filtração, a coagulação química e posterior sedimentação ou flotação se fazem necessárias, e vêm sendo empregadas no sentido de remover algas do efluente final antes da sua disposição no meio ambiente ou de seu reuso. Além disso, apesar de a Resolução CONAMA nº 430/11 não especificar a necessidade de pós-tratamento desse tipo de efluente, no Estado do Rio Grande do Norte o órgão ambiental já começa a exigir que o mesmo seja feito.

Algumas dificuldades são encontradas para a remoção de algas, como o seu tamanho reduzido (1 a 20  $\mu\text{m}$ ); a baixa gravidade específica das células; e a concentração relativamente diluída das suspensões contendo algas (RANCE BARE *et al.*, 1975). Desse modo, uma alternativa que se adequa ao pós-tratamento de efluentes de lagoas de estabilização é a flotação que, de acordo com Metcalf & Eddy (2004), é uma técnica que remove com mais eficiência partículas pequenas em um menor período de tempo.

Dentre os tipos de flotação, uma que tem sido utilizada como pós-tratamento é a flotação por ar dissolvido (FAD), em que ocorre a injeção de uma água saturada com ar sob pressão no tanque de flotação, que se encontra à pressão atmosférica, ocorrendo a liberação de microbolhas. Segundo Lacerda *et al.* (1997), este tipo de flotação é o mais recomendado por minimizar a ruptura dos flocos formados na etapa de coagulação/floculação.

Segundo Teixeira & Rosa (2006), coagulantes tais como sulfato de alumínio, sulfato férrico, cloreto férrico e coagulantes polimerizados, como o cloreto de polialumínio (PACl) têm mostrado resultados satisfatórios no tratamento de efluentes ricos em algas. Além do uso do coagulante certo, para que o processo de FAD seja adequadamente eficiente, é necessário que se garanta as condições ótimas de pH de coagulação e de dosagem do coagulante (EDZWALD & WINGLER, 1990), de maneira que os flocos formados tenham características adequadas (tamanho, densidade e carga) para proporcionar uma melhor agregação entre as microbolhas de ar e os flocos.

Assim, o presente trabalho faz parte de uma série de estudos que objetiva a determinação dos parâmetros operacionais de FAD para estações de tratamento no RN. Na pesquisa completa, são pesquisados outros tipos de coagulantes químicos, bem como a sua ação nos efluentes de lagoas facultativas e de maturação. Dentro desse contexto, o objetivo do presente trabalho é determinar quais são os fatores que mais influenciam no processo de flotação a ar dissolvido aplicado a lagoas de estabilização, mais especificamente a uma lagoa primária.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Considerando o objetivo de pós-tratar o efluente utilizando a flotação por ar dissolvido como método de pós-tratamento, foram realizados ensaios de coagulação, floculação e posterior flotação em unidade de batelada em escala de bancada, com o uso do flotateste. Para tanto, foi utilizado efluente da lagoa facultativa primária da ETE Ponta Negra, localizada em Natal, RN. A ETE conta com tratamento preliminar com uma calha Parshall contendo medidor de vazão, gradeamento e duas caixas de areia em paralelo funcionando alternadamente, lagoas de estabilização em série, sendo uma lagoa facultativa primária e duas de maturação e disposição do efluente final no solo por valas de infiltração.

As amostras foram coletadas semanalmente no período da manhã. Para realização dos ensaios foi utilizado o equipamento flotateste, que consta de 3 jarros com capacidade de 5 litros cada, mais a câmara de saturação com capacidade para 4 litros, todas confeccionadas em acrílico para permitir melhor observação do processo. Para cada um dos três reatores (chamados aqui colunas de flotação) há uma palheta metálica interligada ao misturador com mostrador digital que é capaz de empregar uma rotação programável.

Em função dos objetivos da pesquisa foi realizado um planejamento experimental variando os parâmetros: pH, concentração de coagulante, concentração de polímero e taxa de circulação da água saturada (Tabela 1). Segundo Finch & Smith (1986), um planejamento experimental permite extrair eficientemente a informação desejada utilizando um número mínimo de testes. Estes parâmetros foram variados em três níveis (-, 0, +) em todas as etapas realizadas, e aplicados ao coagulante sulfato de alumínio, para a determinação das condições ótimas de remoção de sólidos suspensos. Os ensaios foram planejados em fatorial aleatório de  $3^{4-1}$  (27 ensaios), sendo realizados em duplicata. Os ensaios foram agregados de acordo com o parâmetro pH, para facilitar o

desenvolvimento dos experimentos. Para correção do pH das amostras foram utilizados ácido sulfúrico e hidróxido de sódio.

**Tabela 1 – Variáveis controladas no processo.**

Variável	Níveis		
	-	0	+
<b>pH</b>	5,5	6,5	7,5
<b>Concentração <math>\text{Al}(\text{SO}_4)_3</math> (mg/l)</b>	100	125	150
<b>Concentração polímero (mg/l)</b>	0	1	2
<b>Taxa de recirculação (%)</b>	10	20	30

Foram adotadas concentrações relativamente altas de sulfato de alumínio devido à dificuldade encontrada para coagular algas e também pelo fato de os flocos formados por elas apresentarem instabilidade. Para dar início aos testes, foram separadas parcelas de 2 litros do efluente e corrigidos seus valores de pH. Após isso, as amostras foram colocadas em cada coluna de flotação do equipamento e submetidas aos processos de coagulação e floculação (mistura rápida e mistura lenta), com todas as variáveis obedecendo ao planejamento experimental. O tempo e a rotação utilizados na mistura rápida (30 segundos a  $500 \text{ s}^{-1}$ ) e lenta (15 minutos e  $80 \text{ s}^{-1}$ ) foram mantidos fixos em todos os experimentos.

Após os 15 minutos de floculação, a água saturada era liberada e eram esperados 10 minutos para que todas as bolhas subissem à superfície. Ao final do processo, uma amostra de 250 mL do clarificado foi coletada. Para avaliação dos resultados e comparação com os dados do esgoto coletado, foram feitas análises de sólidos suspensos, cor, turbidez, DQO e clorofila “a” com o efluente clarificado pela flotação, como mostrado na Tabela 2 a seguir. Como as características do efluente da lagoa de estabilização variam, os resultados serão expressos em porcentagem de remoção em relação ao efluente coletado.

**Tabela 2 – Testes utilizados para caracterizar o efluente bruto da lagoa facultativa e o efluente após a FAD.**

VARIÁVEIS	UNIDADE	MÉTODOS	FONTE
<b>Clorofila “a”</b>	$\mu\text{g/L}$	Extração com metanol a quente	APHA; AWWA; WEF, 2005
<b>Cor</b>	Uh	Colorimétrico	
<b>DQO</b>	$\text{mg.L}^{-1}$	Refluxo fechado	
<b>pH</b>	-	Potenciométrico	
<b>Sólidos suspensos</b>	$\text{mg.L}^{-1}$	Espectrofotométrico	
<b>Turbidez</b>	uT	Turbidímetro	

Os dados obtidos durante o monitoramento foram tratados estatisticamente, utilizando-se a estatística descritiva e, principalmente, através dos diagramas de Pareto para determinar os fatores de maior importância para eficiência do processo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características médias do efluente da lagoa facultativa primária, durante a realização dos experimento, está apresentada na Tabela 3.

Realizou-se o processo de flotação com dosagens de sulfato de alumínio de 100, 125 e 150 mg/L corrigindo o pH para 5,5, 6,5 e 7,5 com ácido sulfúrico e hidróxido de sódio, adicionando ou não diferentes concentrações de polímero (1 e 2 mg/l) e flotando com diferentes taxas de recirculação da água saturada (10, 20 e 30%) afim de verificar a eficiência de remoção de algas para diferentes valores das referidas variáveis operacionais.

Cada ensaio para testar as condições em que a flotação de algas ocorre com mais eficiência foi realizado duas vezes, mantendo-se fixos as rotações e tempos de mistura. Após realização dos ensaios de FAD nos efluentes, foram obtidos resultados satisfatórios quanto à remoção de algas, o que está de acordo com resultados de pesquisas como as de Vlaski *et al.* (1996) e Valade *et al.* (1996), que mostram que a flotação a ar dissolvido é um processo de tratamento eficiente em remoção de algas e/ou turbidez, mesmo com alterações nos parâmetros envolvidos no processo. A Tabela 4 destaca a estatística descritiva dos resultados de eficiências de remoção obtidos.

**Tabela 3. Características do efluente da lagoa facultativa primária.**

Parâmetro	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
pH	6,61	7,09	7,38	0,23
Turbidez (uT)	185	417	660	136
Sólidos Suspensos (mg/L)	220	392	660	118
Cor (uH)	1055	1955	3170	556
DQO (mg/L)	321	456	520	54
Clorofila “a” (mg/L)	1,50	2,09	2,71	0,33

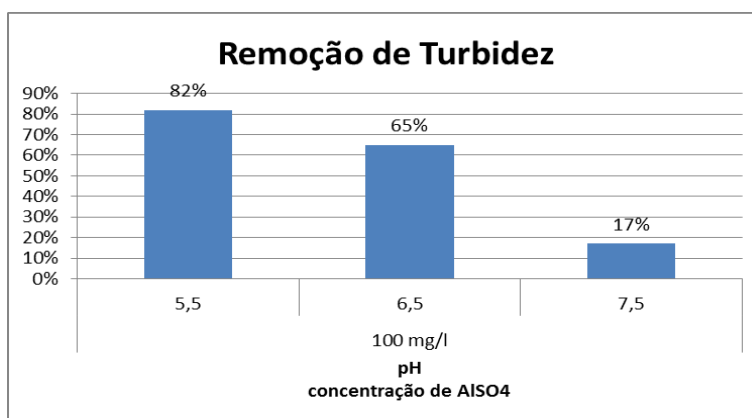
**Tabela 4 – Eficiências de remoção após flotação de efluente da lagoa facultativa com sulfato de alumínio**

Característica	Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Desvio padrão
Turbidez	-30,3	40,2	74,6	61,8	90,6	95,3	34,7
Sólidos Suspensos	-20,91	39,5	74,6	62,4	90,6	95,8	33,2
Cor	2,37	54,6	73,8	70,4	89,2	94,6	22,4
DQO	12,4	47,8	66,9	63,9	80,0	95,3	22,9
Clorofila “a”	21,9	79,2	85,5	82,2	92,3	97,4	15,5

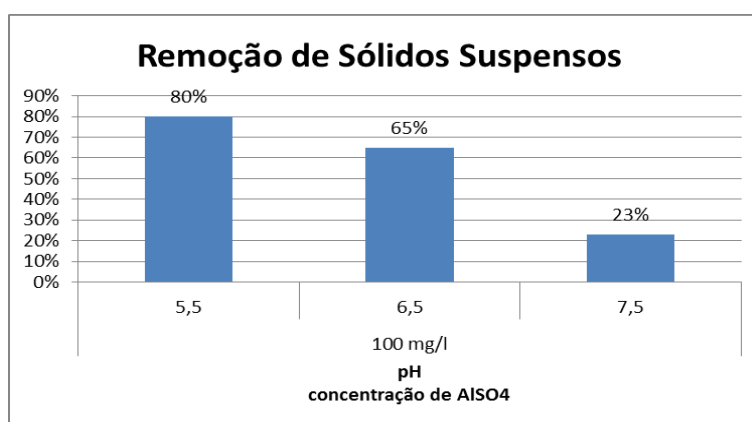
Através desses dados é possível perceber que 50% dos resultados estão acima de 66% (valores de mediana), o que demonstra a eficiência do processo no pós-tratamento desse tipo de efluente. Foram encontrados alguns valores negativos como mínimos que, no caso, representam o aumento da turbidez e dos sólidos suspensos. Tal fato pode ser explicado devido a erros no laboratório ou também devido à adição de reagentes que não geraram flocos adequados, consequentemente não havendo a flotação dos sólidos.

Os valores máximos de eficiência foram bastante satisfatórios, apresentando valores de remoção de algas superior a 95%, resultando em concentrações de turbidez, sólidos suspensos e DQO, de 21 uT 18 mg/L e 32 mg/L, respectivamente.

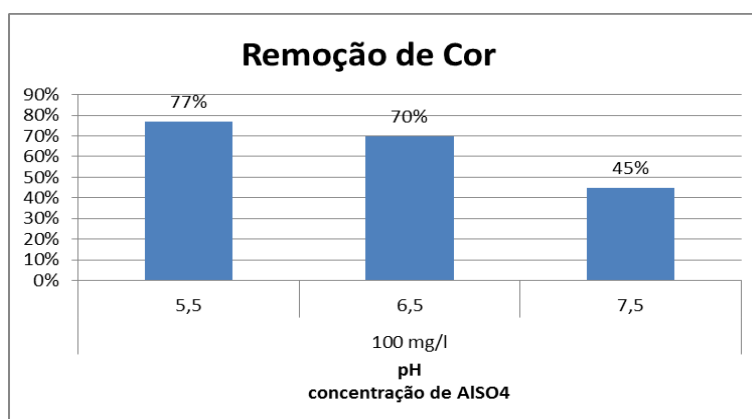
Verificou-se que os testes realizados com pH 5,5 foram os que apresentaram melhor remoção das algas, independentemente dos outros fatores que foram variados, resultando em um efluente clarificado que alcançou valores de remoção de turbidez, por exemplo, superiores a 90%. Isso comprova o fato de o sulfato de alumínio possuir uma faixa ótima de pH de remoção em que as reações químicas para a floculação ocorrem. Tais resultados são ilustrados pelas figuras 1, 2 e 3 a seguir.



**Figura 1 – Eficiência de remoção de turbidez comparado ao valor bruto por faixa de pH testado e 100 mg/l de concentração de coagulante.**



**Figura 2 – Eficiência de remoção de sólidos suspensos comparados ao valor do bruto por pH testado e 100 mg/l de concentração do coagulante.**

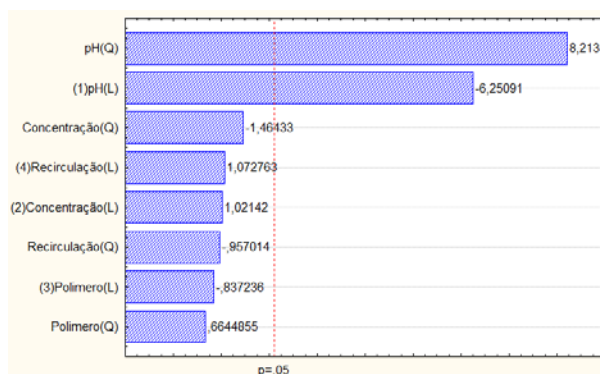


**Figura 3 – Eficiências de remoção de cor comparadas ao efluente bruto por pH testado e uma concentração de 100 mg/l de sulfato de alumínio.**

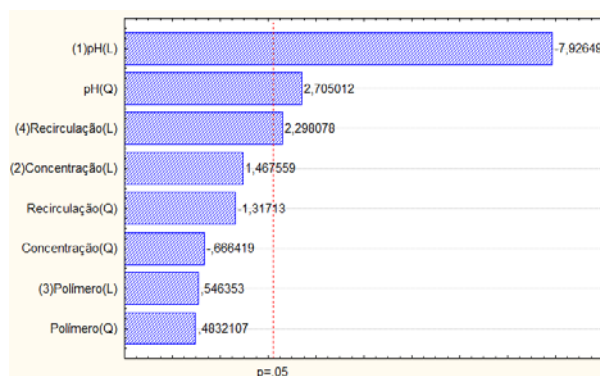
Os resultados obtidos estão de acordo com aqueles relatados por Teixeira & Rosa (2006), que alcançaram eficiências de remoção de turbidez e clorofila “a” para remoção de algas entre 77 e 99% utilizando-se o processo de coagulação-floculação-flotação a ar dissolvido, concluindo, ainda, que esse processo é mais eficiente na remoção de clorofila “a” do que a sedimentação.

Assim, após análise dos resultados, verifica-se que a variável pH é a que mais intervém no processo, tanto individualmente quanto quando combinada com os outros fatores. Tal fato pode ser verificado quando se

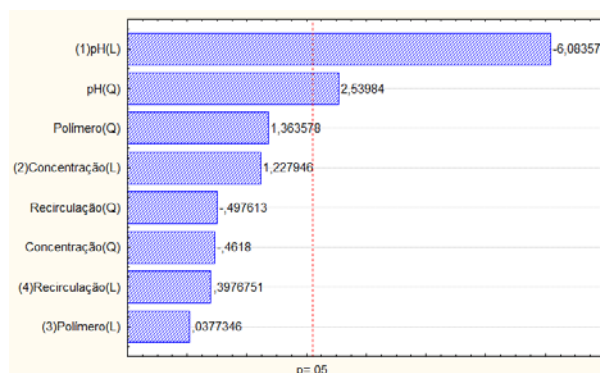
plotam os gráficos de Pareto dos efeitos padronizados, que mostram verticalmente a influência de cada variável na remoção de cada parâmetro. Para todos os indicadores de resposta o pH aparece com maior significância. Nas figuras 4, 5 e 6 a seguir são mostrados os gráficos de Pareto para as variáveis Turbidez, Sólidos Suspensos e Cor.



**Figura 4 – Diagrama de Pareto para a turbidez.**



**Figura 5 – Diagrama de Pareto para sólidos suspensos.**



**Figura 6 – Diagrama de Pareto para a cor.**

Nesse tipo de gráfico, as variáveis com maior influência no processo são representadas como barras horizontais na região superior e mais extensas do que as outras. Nos casos em estudo, o pH aparece como fator de maior influência no processo, tanto em sua versão linear quanto em sua versão quadrática (devido ao planejamento experimental ter sido com 3 fatores, os mesmos são decompostos dessa maneira), não deixando dúvidas sobre a sua relevância nos resultados de eficiência de remoção utilizando-se flotação a ar dissolvido.

Esses resultados são similares às conclusões de Finch & Smith (1986), que encontraram que pH e a dose de coagulante são fatores significantes na remoção de coliformes fecais de uma lagoa de estabilização, onde eles obtiveram uma remoção de sólidos suspensos de 90%.

Tais resultados representam também que, uma vez que o pH é a variável principal nesse processo, mesmo com menores concentrações de coagulante, sem adição de polímero e menor taxa de circulação da água saturada, os resultados obtidos serão adequados. Dessa maneira, conclui-se que uma vez corrigido o pH, é possível reduzir custos no sistema referentes a produtos químicos e energia e mesmo assim obter eficiência satisfatória na remoção de algas por flotação.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos como parte do trabalho, pode-se concluir que:

O tratamento físico-químico por flotação a ar dissolvido demonstrou ser eficiente quanto à remoção de cor, clorofila a, DQO, sólidos suspensos e turbidez, garantindo a qualidade do efluente final, visando o cumprimento dos padrões de lançamento e, consequentemente, a preservação do corpo receptor e do meio ambiente. A maior remoção de microalgas foi obtida para a água floculada com pH 5,5, expressando um resultado de até 95% de eficiência.

O pH é a variável com maior influência no processo, permitindo a redução de custos como energia e coagulantes, uma vez que seja corrigido para os valores adequados.

Recomenda-se que sejam feitos estudos variando-se outros fatores, tais como investigando outros coagulantes, como no trabalho realizado por Teixeira & Rosa (2006), tempo e gradiente de velocidade nas misturas lenta e rápida, influência dos tipos de alga, dentre outros fatores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO, A. L. C. **Avaliação operacional e da eficiência de lagoas de estabilização no estado do RN:** programa de pesquisa em saúde e saneamento. Natal: FUNASA, 2011.
2. EDZWALD, J.K.; WINGLER, B.J. Chemical and physical aspects of dissolved air flotation for the removal of algae. Jour. Water SRT - Aqua, v.39, pp. 24-35, 1990.
3. FINCH, G. R.; SMITH, D. W. Batch coagulation of a lagoon for fecal coliform reductions. War. Res. v.20(1), pp. 105-112, 1986.
4. LACERDA, M. R. S.; MARQUES, S. F. S.; BRANDÃO, C. C. S. A influência do pH de coagulação e do tempo de floculação na flotação por ar dissolvido de águas de baixa turbidez e com presença de algas. In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais..., 1997;
5. METCALF; EDDY. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. Brasil: McGraw-Hill, 2004.
6. PENETRA, R.G.; REALI, M.A.P.; FORESTI, E & CAMPOS, J.R. Post-Treatment of Effluents from Anaerobic Reactor Treating Domestic Sewage by Dissolved-Air Flotation. Wat. Sci. Tech.,40(08), 137-143, 1999.
7. RANCE BARE, W. F.; JONES, N. B.; MIDDLEBROOKS, E. J. Algae removal using dissolved air flotation. Journal Water Pollution Control Federation, v. 47, n. 1., pp. 153-169, 1975.
8. 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, n. 52, 2006.
9. VALADE, M.; EDZWALD, J. K.; TOBIASON, J. E.; DAHLQUIST, J.; HEDEBERG, T.; AMATO, T. Particle removal by flotation and filtration: pretreatments effects. Jour. AWWA, v. 88, n. 12, 35-47, 1996.
10. VLASKI, A.; VAN BREEMEN, A. N.; ALAERTS, G. J. The algae problem in the Netherlands from a water treatment perspective. Jour. Water SRT – Aqua, v. 45, n.4, pp. 184-194, 1996.