

I-259 - ENSAIO DE TRATABILIDADE PARA OTIMIZAÇÃO DA FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DO RIO CAPIBARIBE EM PERNAMBUCO

Joana Eliza de Santana⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de Pernambuco, com especialização em Engenharia Ambiental e Saneamento pela Estácio. Técnica em Química da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA.

Romero Correia Freire

Especialista em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos hídricos pelo IFCE/ANA, Especialista em vigilância e saúde ambiental pela UFRJ. Especialista em Saúde Pública pela UPE, Especialista no Ensino de Biologia pela UPE, Químico pela UFPE. Biólogo pela UPE. Tecnólogo em Gestão Ambiental pelo IFPE. Técnico em Química da Companhia Pernambucana de Saneamento.

Aldebarã Fausto Ferreira

Técnico em Eletrônica pelo IFPE. Engenheiro Química pela Universidade Federal de Pernambuco. Especialista em Gestão Integrada da Qualidade, Auditoria e Certificações pela FAFIRE. Mestre em Ciência dos Materiais pela UFPE. Doutorando em Química pela UFPE.

Mayra Angelina Quaresma Freire

Graduanda em Engenharia Civil pela UFPE.

Maurício Alves da Motta Sobrinho

Engenheiro Químico pela Universidade Católica de Pernambuco, mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande e doutor em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine - França. Professor Associado do Departamento de Engenharia Química da UFPE, Coordenador do PPG em Eng. Química e professor do PPG em Eng. Civil da UFPE. Pesquisador 2 do CNPq.

Endereço⁽¹⁾: Av. Cruz Cabugá, 1387, Santo Amaro – Recife/PE - CEP: 50040-905 - Brasil - Tel: (81) 34129728 - e-mail: joanasantana@compesa.com.br

RESUMO

O Rio Capibaribe, em Pernambuco, tem apresentado resultados positivos para a presença de cianobactérias. Estas ocasionam a formação de flocos de baixa densidade, fazendo com que ETAs convencionais com decantação tratem esse tipo de água com dificuldade, gerando custos maiores no processo. A flotação seguida da filtração é opção viável técnica e economicamente para o tratamento de águas com grande quantidade de algas. Posto isto, o presente trabalho apresenta os resultados obtidos da otimização da taxa de reciclo de um sistema de flotação, em função do tipo e dosagem do coagulante utilizado no processo, visando obter a máxima redução na cor, turbidez, ferro e manganês no tratamento da água do Rio Capibaribe em Pernambuco. Neste sentido, a melhor eficiência de remoção para os parâmetros citados foi de 99 %, 98%, 91% e 67%, respectivamente, mostrando que o processo de flotação por ar dissolvido é promissor no tratamento da água deste rio.

PALAVRAS-CHAVE: FAD, Taxa de recirculação, flotatestes, Rio Capibaribe, Flotação.

INTRODUÇÃO

A flotação é um processo de separação baseado na introdução de bolhas de gás, geralmente o ar, como meio de transporte para as partículas suspensas, sendo estas hidrofóbicas ou condicionadas. Anexadas às bolhas, estas partículas formam um aglomerado de densidade aparente menor que a água, levando-o a flutuar até a superfície, formando uma capa de lodo de espessura crescente que posteriormente é removida por raspadores superficiais (KYZAS; MATIS, 2018; RICHTER, 2009).

Dentre os processos de flotação mais utilizados, destacam-se a flotação por ar disperso ou induzido, a flotação eletrolítica ou eletroflotação e a flotação por ar dissolvido (FAD), que são diferenciados, basicamente, pelo método de geração de bolhas.

No tratamento de água para consumo, o tipo de flotação mais utilizado é a FAD, no qual as bolhas são geradas por redução da pressão de um fluxo de água saturado com ar. Os três processos básicos da flotação pressurizada são: com pressurização parcial do afluente, pressurização total do afluente, pressurização do efluente recirculado (Figura 1). Este último é o mais recomendado para tratamento de água que requerem a remoção de flocos com baixa densidade, como, por exemplo, flocos de águas cujo manancial tenha florações algais (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

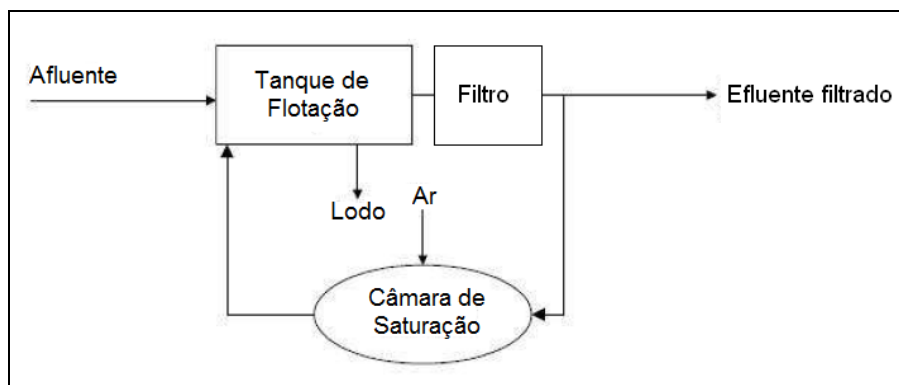


Figura 1: Flotação com pressurização do recirculado.

Fonte: Adaptado de Lopes (2008).

Levantamentos realizados por Girão (2004) e por Dantas (2010) mostram a presença de cianobactérias na água do Rio Capibaribe na altura de Surubim, causada, provavelmente, devido à falta de tratamento dos efluentes domésticos e industriais, além da lixiviação de fertilizantes provenientes de áreas ocupadas pela agricultura. Outro fator que estimula o desenvolvimento de cianobactérias é o clima da região nordeste, predominantemente quente e com alta taxa de insolação (LIMA, 2017).

Desta forma, a flotação seguida da filtração é uma rota viável técnica e economicamente, para o tratamento de águas com grandes quantidades de algas ou de cor elevada e baixa turbidez.

A principal vantagem da FAD são as altas taxas empregadas (entre 240 e 360 m³/m².dia). Se comparadas com a sedimentação, geralmente, chegam a ser 10 vezes maior, resultando assim em ETAs mais compactas. Outro fator favorável ao uso da FAD com pressurização do recirculado para clarificação de águas é a necessidade da vazão de recirculação ser relativamente pequena (7 a 15%). Além dessas, tem-se ainda que a concentração de sólidos no lodo chega a ser significativamente mais alta que na sedimentação, podendo apresentar teor de sólidos até 6 vezes maior que o da sedimentação (LOPES, 2008; DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

A FAD pode ser uma alternativa viável para o tratamento de água do Rio Capibaribe, situado no estado de Pernambuco. A justificativa baseia-se no fato das características climáticas e crescimento algal já citados, os quais proporcionam flocos com baixa densidade. Uma ETA convencional com decantação trata com dificuldade uma água bruta com tendência a formar flocos leves, necessitando a adição de mais coagulantes e de coadjuvantes para dar lastro aos flocos. A velocidade de flotação também é maior que a de decantação desta.

OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é otimizar a taxa de reciclo do sistema de flotação, juntamente com o tipo e dosagem do coagulante utilizado no processo para obtenção da máxima redução na cor, turbidez, ferro e manganês no tratamento da água do Rio Capibaribe em Pernambuco.

MATERIAIS E MÉTODOS

A água bruta, proveniente do Rio Capibaribe, nas imediações de Surubim/PE, foi caracterizada em função dos parâmetros de turbidez (Turbidímetro Hach 2100Q), cor aparente (Colorímetro Digimed DM-COR), manganês (Kit Colorimétrico da Merck) e ferro (Kit Colorimétrico da Hach modelo IR-18).

Para simular o processo de flotação, utilizou-se um flotatestes construído pela PoliControl com câmara de pressurização (fundo dos jarros com adaptação em tela de fibra com 30 furos para permitir a entrada de água saturada com ar 0,954 mm, correia ajustável, velocidade programável de 10 a 700 rpm, cubas quadradas em acrílico transparente com capacidade de 3,5 litros; saturador de 15 a 600 kPa, mangueira de sucção 5 mm por cuba, interligação do saturador e base dos reatores – 0,125 mm). Na Figura 2 encontra-se um exemplo de flotatestes. A alimentação da água bruta se dá pela abertura superior do vaso de flotação, onde são simuladas inicialmente a mistura rápida e a floculação. Foram utilizados como coagulantes o sulfato de alumínio e o cloreto férrico, preparados na concentração de 2% m/v, variando as dosagens de 15 a 25 mg/L. O gradiente da mistura rápida foi 800 s^{-1} e tempo de 20 s; o gradiente no floculador foi igual a 50 s^{-1} e tempo de detenção de 15 min. A água filtrada do Rio Capibaribe foi saturada com ar por 10 minutos, sob pressão de 5,0 atm. Em seguida foi feita a liberação da água com ar saturado na base da coluna, através da válvula agulha. A velocidade de flotação foi igual a 10 cm/min e o tempo de detenção foi igual a 10 minutos. A taxa de recirculação variou de 10 a 12%, marcada no reator do flotatestes (Figura 3a). A água clarificada foi amostrada através de uma saída (Figura 3b) para a determinação da cor e turbidez, ferro e manganês.

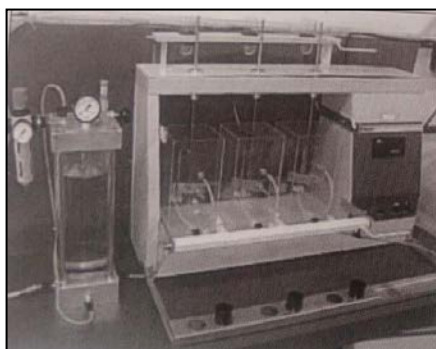


Figura 2: Exemplo de Flotatestes com câmara de pressurização.

Fonte: DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011.

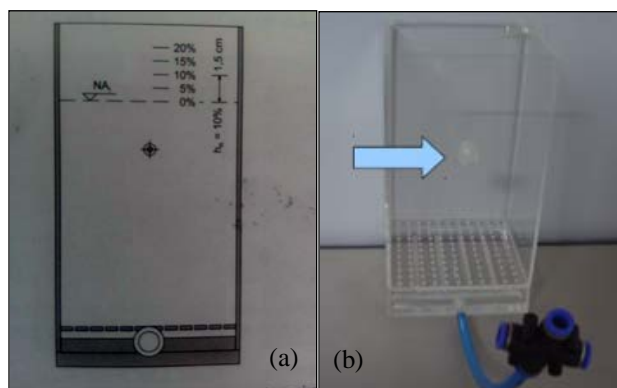


Figura 3: (a) Medição da taxa de reciclo. (b) Ponto amostragem para análise.

Fonte: (a) DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011. (b) PoliControl Equipamentos Analíticos.

RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 1 contém as principais características da água bruta estudada.

Tabela 1: Características da água bruta.

Cor (uC)	200
Turbidez (uT)	20
Fe (mg/L)	3,5
Mn (mg/L)	1,2

Os resultados obtidos com a variação do coagulante e sua dosagem e da taxa de recirculação estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados da água clarificada para a taxa de recirculação de 10%.

Sulfato de Alumínio					Cloreto Férrico				
Dosagem de coagulante (mg/L)	Cor (uC)	Turbidez (uT)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Dosagem de coagulante (mg/L)	Cor (uC)	Turbidez (uT)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
15	140	8,2	1,1	1,0	15	35	3,8	1,1	0,9
17	140	8	1,1	0,8	17	30	3,6	0,9	0,8
19	120	7,8	1,1	0,7	19	30	3,2	0,9	0,6
21	120	7,6	0,9	0,7	21	25	3	0,9	0,6
23	110	7,2	0,9	0,6	23	20	2,9	0,9	0,6
25	100	7,2	0,9	0,6	25	17	2,8	0,9	0,6

Tabela 3: Resultados da água clarificada para a taxa de recirculação de 11%.

Sulfato de Alumínio					Cloreto Férrico				
Dosagem de coagulante (mg/L)	Cor (uC)	Turbidez (uT)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Dosagem de coagulante (mg/L)	Cor (uC)	Turbidez (uT)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
15	110	7,2	0,9	0,7	15	18	2,5	0,8	0,7
17	110	7	0,7	0,7	17	17	2,3	0,5	0,7
19	100	6,9	0,5	0,7	19	16	2,1	0,4	0,7
21	97	6,9	0,5	0,7	21	16	1,9	0,4	0,7
23	95	6,8	0,4	0,7	23	14	1,9	0,4	0,7
25	95	6,8	0,3	0,7	25	12	1,8	0,3	0,7

Tabela 4: Resultados da água clarificada para a taxa de recirculação de 12%.

Sulfato de Alumínio					Cloreto Férrico				
Dosagem de coagulante (mg/L)	Cor (uC)	Turbidez (uT)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Dosagem de coagulante (mg/L)	Cor (uC)	Turbidez (uT)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
15	90	6,4	0,4	0,6	15	5	1,5	0,3	0,5
17	80	5,1	0,4	0,6	17	4	0,9	0,3	0,5
19	85	5,1	0,4	0,5	19	4	0,8	0,3	0,4
21	80	4,9	0,3	0,5	21	3	0,6	0,3	0,4
23	80	4,7	0,3	0,4	23	3	0,6	0,3	0,4
25	75	4,6	0,3	0,4	25	2	0,4	0,3	0,4

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Comparando os coagulantes, para a mesma vazão de reciclo, percebe-se que o cloreto férrico obteve resultados melhores que o sulfato de alumínio para todas as dosagens realizadas. Isso pode ser explicado devido ao fato de o cloreto férrico formar flocos mais rapidamente e, ao mesmo tempo, mais resistente ao cisalhamento que os de sulfato de alumínio como já mostrado no trabalho de Libânio *et al.* (1997).

Com o aumento da recirculação, a tendência é de diminuição nos valores dos parâmetros medidos, ou seja, a taxa de reciclo de 12% foi a que obteve melhores resultados. Uma maior taxa de reciclo fornece bolhas de diâmetro menores, como mostrado no trabalho de Takahashi, Miyahara e Mochizuki (1979). Bolhas menores

possuem maiores áreas de contato e, segundo Kitchener e Gochin (1981), bolhas maiores possuem velocidades ascensionais elevadas que podem romper os flocos formados ou até mesmo as interações entre flocos e bolhas.

Analisando as Tabelas 2, 3 e 4, percebe-se que o aumento da dosagem de coagulantes, para o mesmo coagulante e a uma mesma taxa de reciclo, proporciona uma maior eficiência na remoção dos parâmetros analisados.

Dentre todos os resultados, o que obteve os menores valores remanescentes dos parâmetros analisados foi o com a taxa de recirculação de 12% para o coagulante cloreto férrico com dosagem de 25 mg/L. Utilizando estas condições de ensaio, consegue-se enquadrar a cor e a turbidez, com porcentagens de remoção 99% e 98%, respectivamente. A remoção de ferro (91%) ficou no limite, sendo o máximo permitido igual a 0,3 mg/L de acordo com a Portaria de Consolidação nº 05, Anexo XX, de 28/09/2017 do Ministério da Saúde. O manganês ficou acima do preconizado pela referida Portaria, cujo valor máximo permitido é 0,1 mg/L, sendo a sua remoção igual a 67%. É importante destacar que a água final obtida, na qual foram feitas as análises, é uma água clarificada, estando uma etapa antes de passar pelos filtros, podendo haver redução dos parâmetros após filtração.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em resumo, foi demonstrado que o processo de flotação por ar dissolvido é promissor no tratamento de água do Rio Capibaribe. Para as condições analisadas, foi possível otimizar o processo de floculação segundo parâmetros de Cor, Turbidez, Ferro e Manganês dissolvidos, sendo a maior taxa de remoção de parâmetros obtida para taxa de recirculação de 12% com dosagem de 25 mg/L de Cloreto Férrico. A melhor eficiência de remoção de parâmetros foi para 99 % da Cor, 98% da Turbidez, 91% do Ferro e 67% do Manganês dissolvidos. Recomenda-se mais ensaios para otimização do gradiente juntamente com o tempo de detenção no floculador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2017.
2. DANTAS, E.W. Ecologia da comunidade de algas planctônicas em reservatórios de Pernambuco (Nordeste, Brasil). 2010. 143 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.
3. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. Métodos e técnicas de tratamento de água. — 2ª ed. Vol. 1 — São Carlos: RiMa, 2005.
4. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B.; VOLTAN, P.E.N. Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos: LDiBe, 2011.
5. GIRÃO, L.C.P. Uma análise de contribuição dos programas básicos ambientais como instrumento de gestão ambiental para a Barragem de Jucazinho localizada no município de Surubim-PE. 2004. 133 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.
6. KITCHENER, J.A.; GOCHIN, R.J. The mechanism of dissolved air flotation for potable water: basic analysis and a proposal. *Water Research*, v. 15, n. 5, p. 585-590, 1981.
7. KYZAS, G.; MATIS, K. Flotation in Water and Wastewater Treatment. *Processes*, [s.l.], v. 6, n. 8, p.116-132, 7 ago. 2018.
8. LIBÂNIO, M.; PEREIRA, M.M.; VORCARO, B.M.; REIS, R.C.; HELLER, L. Avaliação do emprego de sulfato de alumínio e do cloreto férrico na coagulação de águas naturais de turbidez média e cor elevada. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, Foz do Iguaçu. Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu: ABES, 1997.
9. LIMA, V.C.M. Cianobactérias em reservatórios do Estado de Pernambuco: ocorrência e toxicidade. *Holos*, [s.l.], v. 4, p.111-124, 19 set. 2017.
10. LOPES, F.M.F. Comparação da flotação por ar dissolvido e sedimentação no tratamento de águas – estudo em escala de bancada utilizando policloreto de alumínio. 2008. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso

- (Graduação) – Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
11. RICHTER, C.A. Água: métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo: Editora Blucher, 2009.
 12. TAKAHASHI, T.; MIYAHARA, T.; MOCHIZUKI, H. Fundamental study of bubble formation in dissolved air pressure flotation. Journal of Chemical Engineering of Japan, [s.l.], v. 12, n. 4, p.275-280, 1979.