

II-105 - SISTEMA COMBINADO DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO E FILTRAÇÃO ADSORTIVA EM ZEÓLITA PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE DE REATOR UASB

Luiz Eduardo Moraes Casagrande

Engenheiro Ambiental pelo Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – *Campus Londrina*.

Ana Paula Cosso Silva Araújo

Engenheira Ambiental formada na UTFPR-Londrina. Mestranda de Engenharia Ambiental, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - *Campus Londrina*.

Marcely Ferreira Nascimento

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (UNB). Professora do Instituto Federal de Brasília – *Campus Samambaia*.

Bruno de Oliveira Freitas⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (UNB). Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – *Campus Londrina*

Endereço⁽¹⁾: Rua Mangaba, 112 - Panorama - Londrina - PR - CEP: 86035-340 - Brasil - Tel: (43) 9631-5912 - e-mail: brunofreitas@utfpr.edu.br

RESUMO

Dentre as soluções existentes para efetuar o tratamento de esgoto, está o reator anaeróbico do tipo UASB, que, apesar de ser largamente utilizado no Brasil, apresenta problemas em atender aos limites estabelecidos pela legislação brasileira para lançamento de nitrogênio amoniacal, fósforo e matéria orgânica, fazendo com que o uso desse tipo de reator implique na necessidade de pós-tratamento do efluente. Em geral, o sistema combinado por reatores anaeróbios e flotação tem elevada eficiência (acima de 90%) na remoção de matéria orgânica, sólidos em suspensão e fósforo, entretanto apresenta baixa eficiência na remoção de nitrogênio. Para aumentar a eficiência de remoção desse parâmetro, surge como alternativa a floto-filtração, combinação entre a flotação por ar dissolvido e a filtração em profundidade. Diante do potencial de remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos apresentado pela flotação e da eficiência que a zeólita apresenta na remoção de amônia, a floto-adsorção em zeólita pode ser uma promissora alternativa para tratamento deste efluente. Sendo assim, o presente trabalho visa apresentar a pesquisa realizada para avaliar a eficiência de um sistema de flotação associado à filtração-adsortiva, utilizando zeólita como meio filtrante, no pós-tratamento de efluente de reator UASB. Para tal, foram realizados ensaios de coagulação/floculação, flotação e filtração-adsortiva em flote teste adaptado com filtros adsorventes, utilizando efluente de reator anaeróbico do tipo UASB. Os resultados dos parâmetros analisados obtidos neste estudo atenderam aos padrões estabelecidos pela legislação brasileira para lançamento de efluentes em corpos d'água, além de permitir que esse efluente possa ser aproveitado para reúso. Desse modo, o sistema de flotação com a filtração adsortiva utilizando zeólita como meio filtrante mostrou-se eficiente na remoção de todos os parâmetros avaliados.

PALAVRAS-CHAVE: Flotação por Ar Dissolvido, Filtração Adsorativa, Zeólita, Remoção de Nitrogênio.

INTRODUÇÃO

A expansão urbana associada ao crescimento populacional tem proporcionado o aumento da geração de esgoto sanitário nos centros urbanos. Uma das problemáticas que cerca esta questão está relacionada à implantação de sistema de saneamento básico eficiente que realize a coleta e o tratamento adequado do esgoto sanitário. Segundo a Pesquisa Nacional do Saneamento Básico, em 2008 cerca de 55,2% dos municípios brasileiros possuíam sistema de esgotamento sanitário e apenas 28,5% dos municípios realizavam o tratamento do esgoto (IBGE, 2008).

Dentre as soluções existentes para efetuar o tratamento de esgoto, o reator anaeróbio do tipo UASB tem sido largamente utilizado em todas as regiões do Brasil. Porém, nesse tipo de reator, em que a biodegradação da matéria orgânica ocorre pela ação dos microrganismos anaeróbios, tem-se problemas em atender aos limites estabelecidos pela legislação brasileira para lançamento de nitrogênio amoniacal e fósforo, além da elevada quantidade de matéria orgânica nos seus efluentes (Chernicharo *et al.*, 2001). Diante dessa deficiência, constata-se a grande necessidade de implantação de pós-tratamento do efluente de reatores anaeróbios.

Segundo Aisse *et al.* (2001), a flotação por ar dissolvido (FAD) é um método apropriado para pós-tratamento de efluente sanitário, alcançando bons níveis de qualidade, além de apresentar vantagens como a flexibilidade do processo, pois permite que se trabalhe em uma maior faixa de vazão de recirculação e de pressão, sendo possível o controle da quantidade de ar desprendida aliado ao pequeno tamanho das bolhas formadas.

A flotação, combinada com agentes coagulantes, pode remover sólidos em suspensão, matéria orgânica dissolvida e fósforo, além de proporcionar a redução dos teores de gases odoríferos e elevação do nível de oxigênio dissolvido, o que resulta num efluente de melhor qualidade (AISSE *et al.*, 2001).

Em geral, o sistema combinado por reatores anaeróbios e flotação tem uma eficiência acima de 90% na remoção de matéria orgânica (com $DBO_{5,20}$ residual menor que 40 mg/L), sólidos em suspensão (geralmente menor que 50 mg/L) e fósforo (menor que 1,0 mg/L) (Campos *et al.* 1996, Reali, 1998). Entretanto, a remoção do nitrogênio geralmente é baixa, variando entre 10 a 50% (SANTOS, 2006).

Nesse sentido, surge como alternativa para aumentar eficiência de remoção do nitrogênio amoniacal a floto-filtração, combinação entre a flotação por ar dissolvido e a filtração em profundidade (Oliveira, 2007) com utilização de zeólita como meio granular (Milan, 1997; Sardá, 2006 e Wang, 2007).

Diante das características do efluente de reatores anaeróbios, do potencial de remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos apresentados pela flotação e da eficiência que a zeólita apresenta na remoção de amônia, a associação dessas tecnologias pode ser uma promissora alternativa para tratamento de esgoto sanitário.

Em razão do exposto, a presente pesquisa visou avaliar a eficiência de um sistema de flotação associado à filtração-adsortiva no pós-tratamento de efluente de reator UASB, buscando uma alternativa que atendesse as exigências da legislação brasileira e melhorasse a qualidade dos efluentes sanitários.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho experimental foi desenvolvido no Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – *Campus* Londrina, onde o sistema de bancada foi montado para a realização dos ensaios de coagulação, floculação, flotação e filtração adsortiva. O efluente utilizado no estudo foi proveniente de reator anaeróbio do tipo UASB, da ETE Zona Norte da SANEPAR, localizada na cidade de Londrina-PR. Durante o desenvolvimento do estudo, foram realizadas coletas semanais de efluente do reator por um período de seis semanas.

A coleta de esgoto tratado era realizada em duas bombonas plásticas de 20 litros cada. Após a coleta, o esgoto tratado era armazenado na geladeira, a 4°C, até o momento da realização dos ensaios experimentais, para evitar a degradação do efluente, como recomendado por APHA (1998).

Antes da realização dos ensaios, eram caracterizados os seguintes parâmetros no esgoto tratado: pH, cor aparente, alcalinidade total, demanda química de oxigênio (DQO) total, turbidez e sólidos totais (ST), utilizando os métodos descritos na 20ª edição do Standard Methods (APHA, 1998).

Após a caracterização do efluente do reator UASB, eram realizados ensaios de coagulação/floculação e flotação, em flote (mostrado na Figura 1), utilizando o Policloreto de Alumínio (PAC) como coagulante, em concentrações pré-determinadas de 45,0; 67,5 e 90,0 mg/L de Al_2O_3 na forma de PAC, em valores de pH de 6,5, 7,27 e 7,5, para definição da dosagem e pH que proporcionariam a maior eficiência na redução de turbidez e cor após a flotação.

Na etapa de coagulação foi utilizado o gradiente de velocidade de 800 s^{-1} em um tempo de mistura rápida de 15 segundos. Após a mistura rápida, o gradiente de velocidade era reduzido para 80 s^{-1} , por um período de 10 minutos, simulando o processo de floculação, de acordo com as recomendações da NBR 12209/11. Para a etapa de flotação foi utilizada pressão de saturação de 5 bar, com taxa de recirculação de 20% e velocidade de flotação de $16 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$, condições utilizadas por Ariano (2009). O tempo de coleta de 30s foi calculado pelo método de Dantas (2008).



Figura 1: Floteste.

Para a realização dos ensaios de floto-adsorção, três filtros adsorventes foram adaptados a um floteste, conforme demonstrado na Figura 2. Os filtros foram confeccionados em tubos de PVC de 20 mm de diâmetro e 50 cm de altura e foram preenchidos com 3,0 cm de cascalho e 15,0 cm de zeólita com granulometria entre 0,85 e 1,18 mm.

A granulometria escolhida para o trabalho seguiu recomendações de Kurama *et al.* (1996), que, em estudos realizados em colunas de adsorção, concluíram que a granulometria inferior a 0,6 mm não permite permeabilidade apropriada para este tipo de ensaio. Os filtros foram operados a uma taxa de aplicação superficial de $200 \text{ a } 300 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, como recomendado por Metcalf e Eddy (2005) e Oliveira (2007).

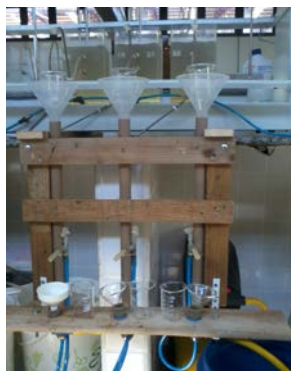


Figura 2: Colunas de filtração adsortiva.

Desse modo, após a flotação, o efluente prosseguia diretamente para o processo de filtração adsortiva. Antes e depois de cada experimento era realizada a retrolavagem dos filtros, como recomendado por Dantas (2008).

RESULTADOS

Para a avaliação da dosagem de PAC a ser utilizada, foram estudadas três diferentes concentrações do coagulante, visando analisar a influência das diferentes concentrações na redução das variáveis físicas: cor aparente e turbidez.

Na Tabela 1, são apresentados os valores dos parâmetros turbidez e cor do efluente do reator UASB após flotação obtidos para cada valor de pH e de concentração de coagulante analisados.

Tabela 1: Valores dos parâmetros turbidez e cor do efluente do reator UASB após flotação obtidos para cada valor de pH e concentração do coagulante PAC analisados.

pH	PAC (mL)	PAC (mg/L de Al_2O_3)	Turbidez residual (NTU)	Cor (PtCo)
6,5	0,5	45	2	8
	0,75	67,5	4	10
	1	90	17	65
7,27	0,5	45	3	12
	0,75	67,5	19	13
	1	90	2	9
7,5	0,5	45	4	12
	0,75	67,5	1	8
	1	90	1	8

A partir dos resultados apresentados na Tabela 1, foi escolhida a concentração de 90,0 mg/L de Al_2O_3 na forma de PAC como concentração ideal para a realização dos ensaios de flotação, em virtude dos valores baixos de turbidez e cor aparente residual obtidos para pH de 7,27 e de 7,5.

Após essas análises, foi definido que não haveria correção do pH, uma vez que este parâmetro já estava na faixa indicada por Aisse *et al.* (2001) para o processo de coagulação, em que pH deve variar 6,5 a 7,5.

A caracterização do efluente do reator UASB realizada antes de cada ensaio de flotação e filtração adsorbtiva está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Caracterização do efluente UASB.

Efluente UASB					
Parâmetros	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Média	Desvio padrão
pH	7,20	6,90	7,20	7,10	0,17
Turbidez (NTU)	68	105	79	84	19
Cor Aparente (PtCo)	295	194	361	283	84
DQO total (mg/L)	267	212	218	232	30
Alcalinidade (mg de $CaCO_3$ /L)	248	282	231	254	25
ST (mg/L)	607	570	418	532	99

Como pode ser verificado na Tabela 2, os valores de pH do efluente do reator UASB permaneceram próximos à neutralidade, entre 6,5 e 7,5, dentro da faixa apropriada para a coagulação (AISSE *et al.*, 2001), não necessitando assim de correção de pH.

Com relação aos resultados de sólidos totais, o efluente do reator UASB apresentou valor médio de 532 mg/L, ficando mais elevado que o valor médio obtido por Santos (2006) que foi de 376 mg/L. Já o valor médio de DQO obtido (232 mg/L), ficou próximo ao encontrado por Reali (1998), de 258 mg/L. É importante ressaltar que o reator UASB apresenta boa remoção de matéria orgânica biodegradável (55 a 75%) e praticamente nenhuma eficiência de remoção de nitrogênio (SOBRINHO, 2001).

Após a caracterização do efluente, eram realizados os ensaios de flotação, seguidos de filtração adsorbtiva. Na Tabela 3, são apresentados os valores médios de concentração e eficiência de remoção dos parâmetros analisados.

Tabela 3: Valores médios de concentração e eficiência de remoção dos parâmetros analisados.

Parâmetros	Afluente			Efluente			Remoção média (%)
	Nº de amostras	Média	Desvio padrão	Nº de amostras	Média	Desvio padrão	
Turbidez (NTU)	3	84,0	19	3	1,0	0,5	98
Cor Aparente (PtCo)	3	283	84	3	7	5	97
DQO total (mg/L)	6	232	30	6	22	2	90
ST (mg/L)	6	532	99	6	60	54	89

A partir dos valores apresentados na Tabela 3, observa-se que o efluente do reator UASB ao passar pelo sistema de pós-tratamento proposto atingiu um padrão de qualidade elevado, apresentando boa eficiência de remoção dos parâmetros analisados. Este padrão, além de atender às exigências da legislação brasileira relativa ao lançamento de efluentes em corpos d'água, permite que o efluente possa ser aproveitado para reuso. Considerando a classificação de reuso da NBR 13969/97, o efluente final obtido pode ser aproveitado para lavagem de carros, pisos, calçadas e irrigação de jardins, segundo a característica de turbidez exigida pela referida norma, que deve ser menor que 5,0 NTU.

Alguns resultados de desvio padrão deste trabalho apresentaram valores altos. Isto pode ter relação com a variação das características do esgoto sanitário durante as semanas de análises, uma vez que o efluente do reator UASB apresentou oscilações na qualidade ao longo do tempo de estudo.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- Das concentrações de Al_2O_3 de PAC avaliadas no sistema de floto-filtração, a concentração de 90 mg/L de Al_2O_3 de PAC proporcionou maior eficiência de remoção de turbidez residual, cor aparente, DQO e sólidos totais.
- O meio filtrante composto por zeólita é eficiente na redução de sólidos, assim como filtros compostos por areia, com a vantagem de remover o nitrogênio.
- A zeólita comercial utilizada apresenta boa capacidade de remoção de nitrogênio amoniacal, alcançando eficiência de remoção de 100% neste estudo.
- Os resultados obtidos neste estudo atendem aos padrões estabelecidos pela legislação brasileira relativa ao lançamento de efluentes em corpos d'água, permitindo ainda que o efluente possa ser aproveitado para reuso.
- O sistema de flotação com a filtração-adsortiva mostrou-se eficiente na remoção de todos os parâmetros avaliados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 ed. Washington: American Public Health Association, 1998.
2. ARIANO, G. C. Coagulação, floculação e flotação do efluente de reatores anaeróbios, tratando esgoto sanitário, com aplicação de diferentes dosagens de coagulante em função da variação da turbidez do esgoto afluente ao longo do dia. 2009.193 f. Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, 2009.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR12209 - Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 2011.
4. _____. NBR13969 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

5. _____. NBR1004 – Resíduos Sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004.
6. Campos, J. R.; Reali, M. A. P.; Dombroski, S. A. G.; Marchetto, M.; Lima, M. R. A. Tratamento físico-químico por flotação de efluentes de reatores anaeróbios. In XXV Congreso Interamericano Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1996.
7. DANTAS, A. D. Controle básico de ETAs 1 – Coagulação: nível 2: ReCESA, 2008.
8. METCALF e EDDY. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. 4. Ed., Mc Graw Hill. New York, 2003.
9. MILAN, Z.; SANCHEZ, E.; WEILAND, P.; DE LAS POZAS, C.; BORJA, R.; MAYARI, R.; ROVIROSA, N. (1997). Ammonia removal from anaerobically treated piggery manure by ion exchange in columns packed with homoionic zeolite. Chemical Engineering Journal, 66(1), 65-71.
10. OLIVEIRA, A. L. Floto-filtração como pós-tratamento do efluente de reator anaeróbio tratando esgoto sanitário. São Carlos, 2007. 209 p. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
11. REALI, M. A. P.; PENETRA, R. G.; CAMPOS, J. R. Influência da floculação na flotação de efluentes de reatores anaeróbios (UASB). Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos - SP, 1998.
12. SANTOS, H. R. Coagulação/Precipitação de efluentes de reatores anaeróbios de leito expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reatores UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação. 2006. 331f. Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, 2006.
13. SARDÁ, L. G. A utilização da zeólita na remoção de nutrientes do efluente de dejetos suínos. 2006. 40 f. Monografia. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Agrônômica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
14. SOBRINHO, P. A.; JORDÃO, E. P. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios – Uma análise crítica. In: Chernicharo, Carlos. A. de L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte, 2001.
15. WANG, Y., KMIYA, Y., & OKUHARA, T. (2007). Removal of low-concentration ammonia in water by ion-exchange using Na-mordenite. Water research, 41(2), 269-276.