

II-107 – TRATAMENTO AVANÇADO DE EFLUENTES DE REATORES ANAERÓBIOS POR FILTRAÇÃO ADSORTIVA EM ZEÓLITA

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, o reator anaeróbio do tipo UASB é largamente utilizado no Brasil, porém esta tecnologia 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-adsorvitiva, que é a combinação entre a flotação por ar dissolvido e a filtração em profundidade em meio granular com capacidade de adsorver o nitrogênio. 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-filtração-adsorvitiva em zeólita pode ser uma promissora alternativa para tratamento deste efluente. Sendo assim, o presente trabalho visou avaliar a eficiência de um sistema de flotação associado à filtração-adsorvitiva, utilizando zeólita como meio filtrante, para pós-tratamento de efluente de reator UASB. Para tal, foram realizados ensaios de coagulação/floculação, flotação e filtração-adsorvitiva com um floteeste adaptado com filtros adsorventes, utilizando efluente de reator anaeróbio 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 reuso, e remoção de 100 % do nitrogênio amoniacal. Desse modo, o sistema de flotação com a filtração adsorvitiva utilizando zeólita como meio filtrante mostrou-se eficiente na remoção de todos os parâmetros avaliados.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento Avançado, Filtração Adsorvitiva em Zeólita, Flotação, Reatores Anaeróbios.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano associado 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 aplicação de sistema de saneamento básico eficiente e que realize a coleta e o tratamento adequado do esgoto sanitário. Segundo a Pesquisa Nacional do Saneamento Básico (IBGE, 2010), cerca de 55,2% dos municípios brasileiros possuíam sistema de esgotamento sanitário, enquanto que apenas 28,5% dos municípios realizavam o tratamento do esgoto.

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. Nesse tipo de reator, em que a biodegradação da matéria orgânica ocorre pela ação dos microrganismos anaeróbios, sabe-se dos problemas em atender os limites permitidos pela legislação brasileira com relação aos parâmetros nitrogênio amoniacal e fósforo, bem como as estações com esse tipo de reator podem ter problemas com a quantidade de matéria orgânica nos seus efluentes (SOBRINHO e JORDÃO, 2001). Diante desta deficiência constata-se que é necessário implantar o pós-tratamento do efluente tratado em reatores anaeróbios.

Segundo Aisse *et al.* (2001), a flotação por ar dissolvido (FAD) é um método apropriado para pós-tratamento de efluente sanitário, podendo tratar o efluente e deixando-o com bons níveis de qualidade. A FAD ainda apresenta grandes vantagens devido à flexibilidade do processo, porque permite que se trabalhe numa faixa vazão de recirculação, e de pressão na câmara de saturação de ar, sendo possível o controle da quantidade de ar desprendida aliado ao pequeno tamanho das bolhas formadas (AISSE *et al.*, 2001).

A flotação combinada com agentes coagulantes pode remover sólidos em suspensão, matéria orgânica dissolvida e o 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 $\text{DBO}_{5,20}$ 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), suscitando o upgrade do processo de flotação por ar dissolvido, por exemplo, a floto-filtração, que une a flotação por ar dissolvido e a filtração em profundidade (Oliveira, 2007), ou a utilização de outros meios granulares como a zeólita (Milan, 1997; Sardá, 2006 e Wang, 2007) para aumentar a remoção do nitrogênio amoniacal.

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 promissora como alternativa para tratamento de esgoto sanitário.

Face ao 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 atenda às exigências da legislação brasileira e melhore a qualidade dos efluentes sanitários.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em um Laboratório de Saneamento de uma instituição de ensino superior onde o sistema de bancada foi montado e onde foram realizados os ensaios de coagulação, floculação e flotação para clarificação do efluente, antes de efetuar a filtração adsortiva, bem como as análises físicas e químicas do esgoto. Para o desenvolvimento dos experimentos, o efluente utilizado no estudo foi coletado de reator anaeróbio, tipo UASB.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Para o desenvolvimento dos ensaios de coagulação, floculação e flotação, foi utilizado um equipamento floteite, modelo 218 – 6LDB, no qual foram fixados os filtros adsorventes para que a combinação da flotação com a filtração adsortiva fosse testada. O sistema utilizado está apresentado na Figura 1.

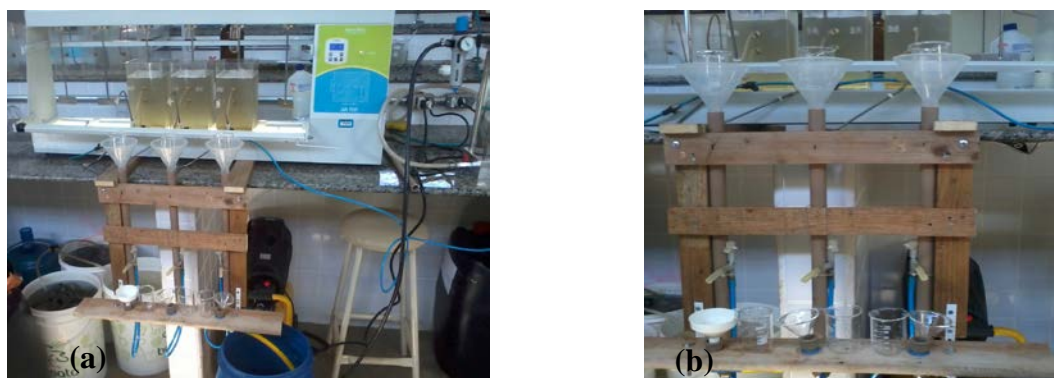


Figura 1: Sistema de bancada para pós-tratamento de efluentes: (a) Sistema completo de flotação e filtração adsortiva (b) Colunas para filtração adsortiva.

No desenvolvimento dos ensaios de coagulação, floculação e flotação, foram utilizados os seguintes parâmetros operacionais: gradiente de mistura rápida (G_{mr}) = 800 s⁻¹; tempo de mistura rápida (T_{mr}) = 15 s; gradiente de mistura lenta (G_{ml}) = 80 s⁻¹; tempo de mistura lenta (T_{ml}) = 10 min; pressão de saturação de ar (P_{sat}) = 5 bar; razão de recirculação (R) = 20 %; velocidade de flotação (V_f) = 16 cm.min⁻¹, seguindo recomendações de Ariano (2009). O tempo de coleta (T_{ci}) igual a 30 s foi definido pelo método de Dantas (2008) e o tempo de floculação (T_{ml}) utilizado, de 10 minutos, foi o recomendado pela NBR 12209/11. O Policloreto de alumínio (PAC) foi utilizado como coagulante.

As colunas de filtração foram confeccionadas em tubos de PVC de 20 mm de diâmetro e 50 cm de altura com três colunas em paralelo. O meio filtrante utilizado foi a zeólita, com 15,0 cm de altura. Este era mantido dentro da coluna por meio da combinação de uma tela plástica seguida de uma camada de cascalho de 3,0 cm. A zeólita teve suas características granulométricas estabelecidas a partir de estudos já realizados em colunas de adsorção por Kurama *et al.* (1996), com distribuição granulométrica entre 0,85 e 1,18 mm. A taxa de aplicação superficial utilizada era mantida na faixa de 200 a 300 m³. m⁻².d⁻¹, conforme recomendações de Metcalf & Eddy (2003).

AMOSTRAGEM E MÉTODOS ANALÍTICOS

Para avaliação da eficiência do sistema foram realizadas as análises físico-químicas para o efluente do reator UASB, o efluente do ensaio de flotação e o efluente final, após a filtração adsortiva em zeólita. Na Tabela 1, é apresentado o resumo das análises desenvolvidas em cada efluente citado. Todas as análises seguiram recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Tabela 1 – Resumo das análises realizadas em cada efluente estudado.

Análises	Efluente UASB	Efluente Flotado	Efluente da Filtração adsortiva
pH	X	NR	NR
Turbidez (NTU)	X	X	X
Cor Aparente (PtCo)	X	X	X
DQO bruta (mg/L)	X	X	X
Alcalinidade (mg de CaCO ₃ /L)	X	NR	NR
Nitrogênio Amoniacal (mgN/L)	X	X	X
ST (mg/L)	X	X	X
STF (mg/L)	X	X	X
STV (mg/L)	X	X	X

Legenda: X - análise realizada; NR - análise não realizada.

DESENVOLVIMENTO DOS EXPERIMENTOS

O efluente tratado de reator UASB após coletado era armazenado a 4°C para evitar a degradação do efluente, conforme recomendado por APHA (2005). Antes dos ensaios de flotação/adsorção, o efluente do reator UASB era caracterizado segundo os parâmetros apresentados na Tabela 1.

Após a caracterização do efluente do reator UASB, realizaram-se ensaios de coagulação/floculação, utilizando o PAC como coagulante em concentração de 90,0 mg/L de Al_2O_3 na forma de PAC, seguido de ensaio de flotação. Após os ensaios de flotação, as amostras eram coletadas simultaneamente dos três jarros em três béqueres de 100 mL. Em seguida, retiravam-se os béqueres e iniciava-se a filtração adsorviva por sete minutos, tempo de detenção do sistema, para então efetuar a coleta do efluente. Ao final de cada ensaio, era realizada a retro-lavagem das colunas adsorventes, como recomendado por Dantas (2008).

RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DO REATOR UASB

As análises realizadas no efluente do reator UASB estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização do efluente do reator UASB.

Parâmetro	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 (mg/L)	267	212	218	232	30
Alcalinidade (mg de $CaCO_3$ /L)	248	282	231	254	25
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	25	38	35	33	10
ST (mg/L)	607	570	418	532	99
STF (mg/L)	-	-	181	-	-
STV (mg/L)	-	-	237	-	-

Legenda: DP = Desvio Padrão

A partir da Tabela 2, pode ser verificado que os valores de pH para o efluente do reator UASB permaneceram próximo à neutralidade, dentro da faixa apropriada para a coagulação, entre 6,5 e 7,5 (AISSE, 2001). Além disso, a alcalinidade apresentou valor médio de 254 mg/L, indicando que não havia necessidade de corrigir o pH, uma vez que este valor é suficiente para a realização da coagulação sem a adição de alcalinizante. Logo, para este efluente, o ajuste de pH não foi necessário em nenhum dos ensaios.

Os valores de turbidez obtidos assemelharam-se aos verificados por Reali *et al.* (1998) igual a 104,0 NTU; já a cor aparente foi inferior ao valor encontrado pelo mesmo autor, que foi de 492,0 UC. Com relação aos resultados obtidos do parâmetro sólidos totais (ST), o efluente do reator UASB apresentou valor médio de 532,0 mg/L, maior que o valor médio obtido por Santos (2006), que foi de 376 mg/L. Nesta etapa do trabalho, devido a erros na metodologia de análise de sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STV), os resultados de dois dias de monitoramento foram descartados. No entanto, a partir das outras análises dos sólidos fixos e voláteis, pode-se inferir que o efluente do reator UASB possui menos sólidos fixos que sólidos voláteis.

O valor médio obtido para o parâmetro Demanda Química de Oxigênio (DQO), 232,0 mg/L, ficou próximo ao encontrado por Reali (1998) de 258 mg/L. É importante destacar que o uso de reator UASB apresenta boa remoção de matéria orgânica biodegradável (55 a 75%) e praticamente nenhuma eficiência de remoção de nitrogênio (SOBRINHO, 2001). O valor médio obtido para o parâmetro nitrogênio amoniacal, de 33,0 mg/L, é típico de efluentes de reatores anaeróbios. Sousa (2000) obteve valor médio para este parâmetro de 45 mg/L.

REMOÇÃO DE SÓLIDOS E NITROGÊNIO

Desempenho da flotação

Para a avaliação do desempenho da flotação, foram realizadas análises de nitrogênio amoniacal, ST, STF e STV no fluente flotado. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização do efluente flotado.

Parâmetro	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Média	Desvio padrão	Remoção (%)
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	23	33	28	28	5	14
ST (mg/L)	187	298	166	217	71	59
STF (mg/L)	-	-	146	-	-	19
STV (mg/L)	-	-	20	-	-	91

A partir da análise dos resultados apresentados na Tabela 3, pode-se observar que houve uma significativa remoção de sólidos totais com eficiência de remoção de 59%. No Experimento 3, houve maior eficiência de remoção de SV que de SF devido, provavelmente, à grande eficiência de remoção de matéria orgânica na flotação.

Com relação ao nitrogênio amoniacal, foi possível verificar uma pequena redução em sua concentração após o processo de flotação, porém esta remoção não foi significativa, uma vez que os efluentes da etapa de flotação permaneceram com concentração média de 28 mg/L. De acordo com Sobrinho (2001), uma ETE com reator anaeróbio seguido de flotação por ar dissolvido apresenta concentração de nitrogênio amoniacal superior a 25 mg/L.

Desempenho da filtração adsortiva

Os valores obtidos nos ensaios de filtração adsortiva estão apresentados na Tabela 4. A partir dos dados apresentados, pode-se observar que a filtração adsortiva proporcionou uma melhor qualidade do efluente final, apresentando características de acordo com os padrões de lançamento de efluentes exigidos pela legislação ambiental.

Tabela 4 - Caracterização do efluente final após filtração adsortiva.

Parâmetro	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Média	Desvio padrão	Remoção (%)
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0	0	0	0	0	100
ST (mg/L)	17	121	42	60	54	72
STF (mg/L)	-	-	33	-	-	77
STV (mg/L)	-	-	8	-	-	57

A remoção de sólidos na filtração adsortiva alcançou valores de 72% para sólidos totais, 77% para sólidos fixos e 57% para sólidos voláteis. Estas eficiências de remoção de sólidos foram consideradas satisfatórias e ocorreram devido à capacidade de retenção de partículas pelo meio granular composto pela zeólita.

Para os ensaios de adsorção de nitrogênio amoniacal, a eficiência foi muito elevada, alcançando 100 % em todas as análises. Resultado semelhante foi obtido por Sardá (2006), de 94%. Este padrão, além de atender às exigências da legislação brasileira para lançamento de efluentes em corpos d'água, permite que o efluente possa ser aproveitado para reuso. Comparando o efluente com a classificação de reuso da NBR 13969/97, o efluente final do presente trabalho pode ser aproveitado para lavagem de carros, pisos, calçadas e irrigação do jardim.

Alguns valores de desvio padrão deste trabalho apresentaram alta variação. Tal fato pode estar relacionado à amplitude das características do esgoto sanitário durante os experimentos.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A filtração adsorptiva é indicada para efetuar o tratamento avançado de efluentes de reatores anaeróbios.

A remoção dos sólidos foi satisfatória e pode-se inferir que a remoção ocorreu por mecanismos parecidos com os mecanismos de remoção de partículas em meio granular composto por areia.

A remoção do nitrogênio ocorreu principalmente por meio da adsorção pela zeólita e alcançou 100% de desempenho no sistema de floto-filtração-adsorptiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AISSE, M. M. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistema de flotação. In: Chernicharo, Carlos. A. de L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte, 2001.
2. APHA – AWWA – WPCF (2005). “Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater.” American Public Health Association 20th Edition, Washington DC.
3. CAMPOS, J. R., REALI, M. A. P., DOMBROSKI, S. A. G., MARCHETTO, M., & LIMA, M. R. A. (1996, November). Tratamento físico-químico por flotação de efluentes de reatores anaeróbios. In XXV Congresso Interamericano Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
4. METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. 4. Ed., Mc Graw Hill. New York, 2003.
5. 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.
6. REALI, M. A. P., PENETRA, R. G., & CAMPOS, J. R. (1998). Influência da floculação na flotação de efluentes de reatores anaeróbios (UASB). Gestión ambiental en el siglo XXI (pp. 1-8). APIS.
7. REALI, MARCO. A. P; PENETRA, ROGÉRIO. G; CAMPOS, JOSÉ. R. Influencia 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.
8. 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 (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, 2006.
9. 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 Agrônoma. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
10. SARDÁ, L. G. A utilização da zeólita na remoção de nutrientes do efluente de dejetos suínos. 2006. 40 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Agrônoma. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
11. 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.
12. SOUSA, J. T., VAN HAANDEL, A. C., DA SILVA COSENTINO, P. R., & GUIMARÃES, A. V. A. (2000). Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “wetlands” construídos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 4(1), 87-91.
13. 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.
14. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa nacional de saneamento básico. 219p. 2010.
15. OLIVEIRA, A.L. Floto-filtração como pós-tratamento do efluente de reator anaeróbio tratando esgoto sanitário. 2007. 233f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, 2007.
16. DANTAS, Ângela. Di B. Controle básico de ETAs 1 – Coagulação: nível 2: ReCESA, 2008.
17. KURAMA, H et al. Utilização de zeólitas no tratamento de efluentes inorgânicos. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 1996.