

## **FILTROS ANAERÓBIOS COM FLUXO ASCENDENTE E FLUXO DESCENDENTE**

**Cícero Onofre de Andrade Neto, Henio Normando de Souza Melo e Manoel Lucas Filho**

*PROSAB-UFRN. Nucleo Tecnológico. Campus Universitário. Natal, RN. CEP: 59078-900. Telefone: 55<sup>+</sup> 84 211-9243. E-mail: prosab-rn@digicom.br*

### **RESUMO**

A busca de alternativas para o material de enchimento e o aperfeiçoamento de detalhes construtivos, incluindo o sentido do fluxo e a facilidade de remoção do excesso de lodo, são os aspectos que merecem maior atenção no desenvolvimento tecnológico dos filtros anaeróbios. Os filtros anaeróbios mais usuais têm fluxo ascendente ou descendente. Nos filtros de fluxo ascendente o leito é necessariamente submerso (afogado). Os de fluxo descendente podem trabalhar afogados ou não. Aparentemente, os filtros com fluxo descendente afogado assemelham-se funcionalmente aos de fluxo ascendente, mas pouco se conhece sobre os filtros anaeróbios de fluxo descendente com leito afogado. Apenas os filtros com fluxo ascendente têm sido significativamente aplicados ao tratamento de esgotos e pesquisados. Este trabalho analisa, comparativamente, o desempenho de dois filtros anaeróbios com volumes iguais, mesmo material de enchimento e o mesmo afluente e vazões, mas com sentido de fluxo diferentes, sendo um com fluxo ascendente e outro com fluxo descendente afogado. Os filtros receberam o efluente de um grande tanque séptico de câmaras em série, alimentado com esgoto essencialmente doméstico. Cada filtro tem 4,0 m de comprimento por 0,7 m de largura e profundidade de 1,2m. Foram cheios com anéis de eletroduto corrugado de plástico. Os dois filtros propiciaram bons resultados na remoção de matéria orgânica e sólidos, permitindo concluir que um filtro anaeróbio de fluxo descendente afogado pode propiciar eficiência equivalente a de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente, com as demais características operacionais semelhantes.

### **PALAVRAS CHAVE**

Filtros Anaeróbios, Fluxo Ascendente e Descendente, Tratamento de Esgotos.

### **INTRODUÇÃO**

Filtros anaeróbios são reatores biológicos com fluxo através do lodo aderido e retido em um leito fixo de material inerte. Portanto, apresentam as vantagens dos reatores anaeróbios com fluxo através do lodo ativo, inclusive na remoção da matéria orgânica dissolvida. Ademais: podem ser utilizados para esgotos concentrados ou diluídos; resistem bem às variações de vazão afluente; perdem pouco dos sólidos biológicos; permitem várias opções de forma, sentido de fluxo e materiais de enchimento; e têm construção e operação muito simples.

As principais limitações dos filtros anaeróbios decorrem do risco de obstrução do leito (entupimento ou colmatção dos interstícios) e do volume relativamente grande devido ao espaço ocupado pelo material inerte de enchimento.

As finalidades do material de enchimento são: permitir o acúmulo de grande quantidade de biomassa, com o conseqüente aumento do tempo de retenção celular; melhorar o contato entre os constituintes do despejo afluente e os sólidos biológicos contidos no reator; atuar como uma barreira física, evitando que os sólidos sejam carregados para fora do sistema de tratamento; e ajudar a promover a uniformização do escoamento no reator. (ANDRADE NETO *et al*, 1999b).

O material mais utilizado para enchimento de filtros anaeróbios no Brasil é a pedra britada Nº 4, que é um material muito pesado e relativamente caro, devido ao custo da classificação granulométrica. Outros materiais já foram estudados e experimentados no enchimento de filtros anaeróbios no Brasil: gomos de bambu (COUTO e FIGUEIREDO, 1993; NOUR *et al*, 2000); escória de alto forno de siderúrgicas (CHERNICHARO, 1997); vários tipos e granulometria de pedras (ANDRADE NETO *et al*, 1999c); tijolos cerâmicos vazados comuns e anéis de eletroduto corrugado de plástico (ANDRADE NETO *et al*, 2000). Estes estudos têm demonstrado que anéis de eletroduto (conduíte cortado) é um bom material para enchimento de filtros anaeróbios.

Os filtros anaeróbios mais usuais têm fluxo ascendente ou descendente. Nos filtros de fluxo ascendente o leito é necessariamente submerso (afogado). Os de fluxo descendente podem trabalhar afogados ou não. Aparentemente, os filtros com fluxo descendente afogado assemelham-se funcionalmente aos de fluxo ascendente, com algumas facilidades operacionais. Atualmente há entendimento entre vários autores de que, em filtros anaeróbios com leito submerso (afogado), independentemente do sentido do fluxo, a estabilização da matéria orgânica deve-se principalmente aos sólidos acumulados nos interstícios do material de enchimento.

Filtros anaeróbios constituem uma tecnologia ainda em franco desenvolvimento. A busca de alternativas para o material de enchimento, que é responsável pela maior parcela dos custos e pelo volume, e o aperfeiçoamento de detalhes construtivos, incluindo o sentido do fluxo e a facilidade de remoção do lodo em excesso, são os aspectos que merecem maior atenção.

Apenas os filtros com fluxo ascendente têm sido significativamente aplicados ao tratamento de esgotos e pesquisados. Pouco se conhece sobre os filtros anaeróbios de fluxo descendente com leito afogado (submersos).

Este trabalho analisa, comparativamente, o desempenho de dois filtros anaeróbios com volumes iguais, mesmo material de enchimento e o mesmo afluente e vazões, mas com sentido de fluxo diferentes, sendo um com fluxo ascendente e outro com fluxo descendente afogado.

## METODOLOGIA

Um sistema que associa decanto-digestor e filtros anaeróbios de fluxo ascendente e descendente afogados, em um arranjo compacto, vem sendo estudado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, no âmbito do PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico .

O sistema é constituído de um tanque séptico prismático retangular, com duas câmaras em série separadas por uma parede janelada, um pequeno filtro de pedras de fluxo ascendente acoplado ao tanque séptico com comunicação direta, e dois filtros anaeróbios afogados, que ladeiam o tanque séptico.

A Figura 1 mostra uma foto do sistema piloto da UFRN e as Figuras 2 e 3 mostram, respectivamente, cortes transversais esquemáticos do tanque séptico com o pequeno filtro acoplado e dos filtros anaeróbios que ladeiam o tanque séptico.



Figura 1 – O sistema piloto da UFRN, tanque séptico seguido de filtros anaeróbios

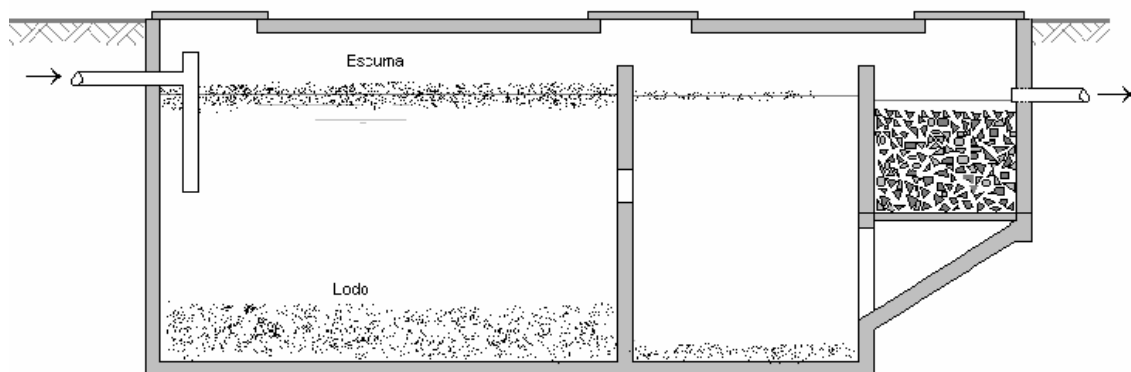


Figura 2 - Decanto-digestor com filtro acoplado (ANDRADE NETO et all, 1999a)

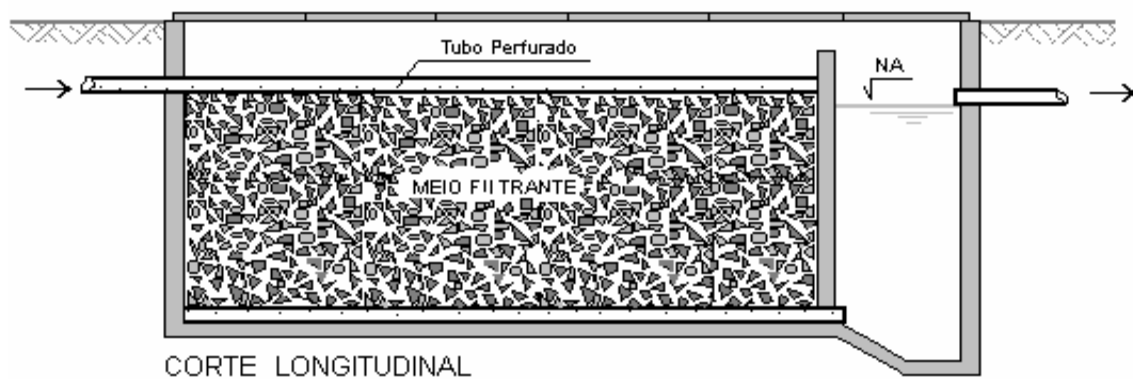


Figura 3 – Filtro anaeróbio afogado (ANDRADE NETO et all, 1999b)

O filtro acoplado ao tanque séptico comunica-se com o mesmo através de um fundo falso, abaixo do qual situa-se um fundo inclinado. Este fundo inclinado propicia o retorno de lodo ao tanque e evita a colmatção do leito. O objetivo deste pequeno filtro é, principalmente, complementar a retenção de sólidos suspensos, encaminhando para os filtros anaeróbios afogados um esgoto com maior parcela dissolvida.

O efluente do tanque séptico com o pequeno filtro acoplado afluí imediatamente aos filtros que o ladeiam. Nestas unidades os esgotos são distribuídos e coletados através de tubos perfurados, colocados sobre e sob o meio suporte (leito). O objetivo destes filtros é a remoção da matéria orgânica dissolvida, para complementar o tratamento, por ação biológica anaeróbia.

No final de cada filtro encontra-se um compartimento que tem várias finalidades: permite a drenagem do excesso de lodo; dá acesso aos tubos perfurados do fundo do filtro; serve, eventualmente, para tratamento complementar; e mantém o filtro afogado. Este compartimento à jusante do filtro objetiva, sobretudo, simplificar a operação. O lodo em excesso é removido automaticamente, através dos tubos perfurados, quando se esgota o compartimento a jusante dos filtros, porque isso provoca velocidades de fluxo bastante elevadas nos interstícios do leito.

Os filtros objeto deste trabalho compõem o sistema piloto utilizado em várias etapas de pesquisas na UFRN. Funcionam em paralelo, ambos recebendo esgoto proveniente de um grande tanque séptico de câmaras em série. Cada filtro tem 4,0 m de comprimento por 0,7 m de largura e profundidade média de 1,2m, construídos em alvenaria de tijolos revestida.

Os reatores experimentais da UFRN estão em operação desde agosto de 1997. Neste trabalho são apresentados e analisados os resultados referentes a dois dos filtros, obtidos nas etapas 5, 6 e 7, contempladas no Edital 2 do PROSAB, no período de dezembro de 1999 a julho de 2001.

Nas três etapas os filtros foram preenchidos com anéis de eletroduto corrugado de plástico (conduíte cortado) e um deles funcionou com fluxo ascendente e o outro com fluxo descendente afogado, nomeados FA e FD, respectivamente.

O sistema foi alimentado com esgoto essencialmente doméstico. Depois de passar pelo tanque séptico a vazão foi dividida em partes iguais destinadas a cada um dos filtros. A distribuição do afluente no leito dos filtros bem como a coleta do efluente foram feitas através de tubos perfurados convenientemente posicionados (sob e sobre o leito conforme o caso).

A primeira etapa desta pesquisa (etapa 5) foi desenvolvida no período de 17/12/99 a 20/06/00, com cada filtro recebendo vazão de 7,5 m<sup>3</sup>/dia. Na segunda etapa (etapa 6), desenvolvida no período de 21/06/00 a 22/12/00, cada filtro recebeu a vazão de 15 m<sup>3</sup>/dia. Na terceira etapa (etapa 7), desenvolvida no período de 21/02/01 a 28/06/01, cada filtro recebeu a vazão de 10 m<sup>3</sup>/dia. Considerando o índice de vazios do material de enchimento (89%), os tempos de detenção hidráulica calculados, nos filtros, foram: 9,5 horas na 1ª etapa, 4,8 horas na 2ª etapa e 7,2 horas na 3ª etapa.

Os estudos basearam-se na análise de amostras coletadas no efluente do tanque séptico (afluente dos filtros) e no efluente de cada filtro, uma vez por semana na 1ª etapa e duas vezes por semana na 2ª e na 3ª etapas, sempre às 8:30 horas. Os parâmetros analisados foram: Temperatura, pH, Ácidos Graxos Voláteis, Alcalinidade, Carbono Orgânico Total, DQO Total e Filtrada, Sólidos Totais, Suspensos e Sedimentáveis. As determinações seguiram métodos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 19ª edição (AWWA/APHA/WEF, 1995), com exceção da análise de AGV que seguiu o Método de Di Lallo & Albertison (1961).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa desenvolveu-se em clima quente e com pequenas variações de temperatura. Os valores de temperatura no afluente e nos efluentes dos filtros mantiveram-se sempre muito próximos. Na 1ª e na 3ª etapas a temperatura média foi de 29,0°C e na 2ª etapa 28 °C, tanto no afluente como nos efluentes dos filtros. Em todo o período a temperatura mínima (25,0°C) ocorreu na 2ª etapa e a máxima (30,5°C) na 1ª etapa.

Durante todo o período o pH variou de 6,3 a 7,4 no afluente e de 6,6 a 7,7 nos efluentes dos filtros e de um modo geral esteve próximo ao neutro.

A alcalinidade de bicarbonato nos efluentes dos filtros manteve-se sempre superior a do afluente. Os valores médios nos efluentes foram da ordem de 140 mg/L na 1ª etapa, 187 mg/L na 2ª etapa e 210 mg/L na 3ª etapa. A relação de alcalinidade manteve-se acima de 0,7 em ambos os filtros e nas três etapas. Isto indica que os filtros estiveram estáveis e poderiam receber maiores cargas de matéria orgânica.

A Tabela 1 mostra os valores médios das concentrações de DQO total, DQO filtrada, Carbono Orgânico Total e Sólidos Suspensos, com respectivas porcentagens de remoção, no afluente (EN) e nos efluentes dos filtros (FA e FD), nas três etapas das pesquisas. Também mostra as porcentagens de remoção de matéria orgânica considerando-se as concentrações da DQO total no afluente e da DQO filtrada no efluente (T/F).

Tabela 1 – Concentrações médias (mg/L) de DQOt, DQOf, COT e SS, com respectivas porcentagens de remoção, no afluente e nos efluentes dos filtros

Etapa	Ponto	DQOt		DQOf		T/F	COT		SS	
		Conc.	%Rem.	Conc.	%Rem.	%Rem.	Conc.	%Rem.	Conc.	%Rem.
5	EN	194,5	-	133,0	-	-	35,7	-	33	-
	FA	124,4	36,1	82,2	38,2	57,9	15,9	55,6	18	45,4
	FD	112,8	42,0	77,8	41,5	60,0	14,9	58,2	15	55,6
6	EN	209,8	-	144,5	-	-	35,0	-	40	-
	FA	108,2	48,4	75,2	48,0	64,2	12,2	65,3	17	57,0
	FD	108,2	48,4	75,6	47,7	64,0	12,6	64,0	16	60,0
7	EN	241,3	-	167,8	-	-	46,2	-	43	-
	FA	124,3	48,5	86,2	48,6	64,3	18,9	59,1	20	53,7
	FD	105,4	56,3	73,2	56,4	69,7	15,1	67,3	17	61,0

A Figura 4 mostra as concentrações de Sólidos Suspensos na entrada (ENT) comum aos filtros e nas saídas (efluentes de FD e FA) dos mesmos. Pode-se perceber que os filtros absorvem as variações do afluente propiciando efluentes mais estáveis. Ademais, os gráficos mostram, comparativamente, o comportamento de cada filtro quanto ao parâmetro enfocado, bem como a evolução ao longo do tempo.

O afluente apresentou baixos valores de concentração orgânica (DQOt: médias de 195 mg/L na 1ª etapa, 210 mg/L na 2ª etapa e 241 mg/L na 3ª etapa) e de sólidos suspensos (médias de 33 mg/L na 1ª etapa, 40 mg/L na 2ª etapa e 43 mg/L na 3ª etapa) pois era proveniente do tanque séptico, razoavelmente eficiente.

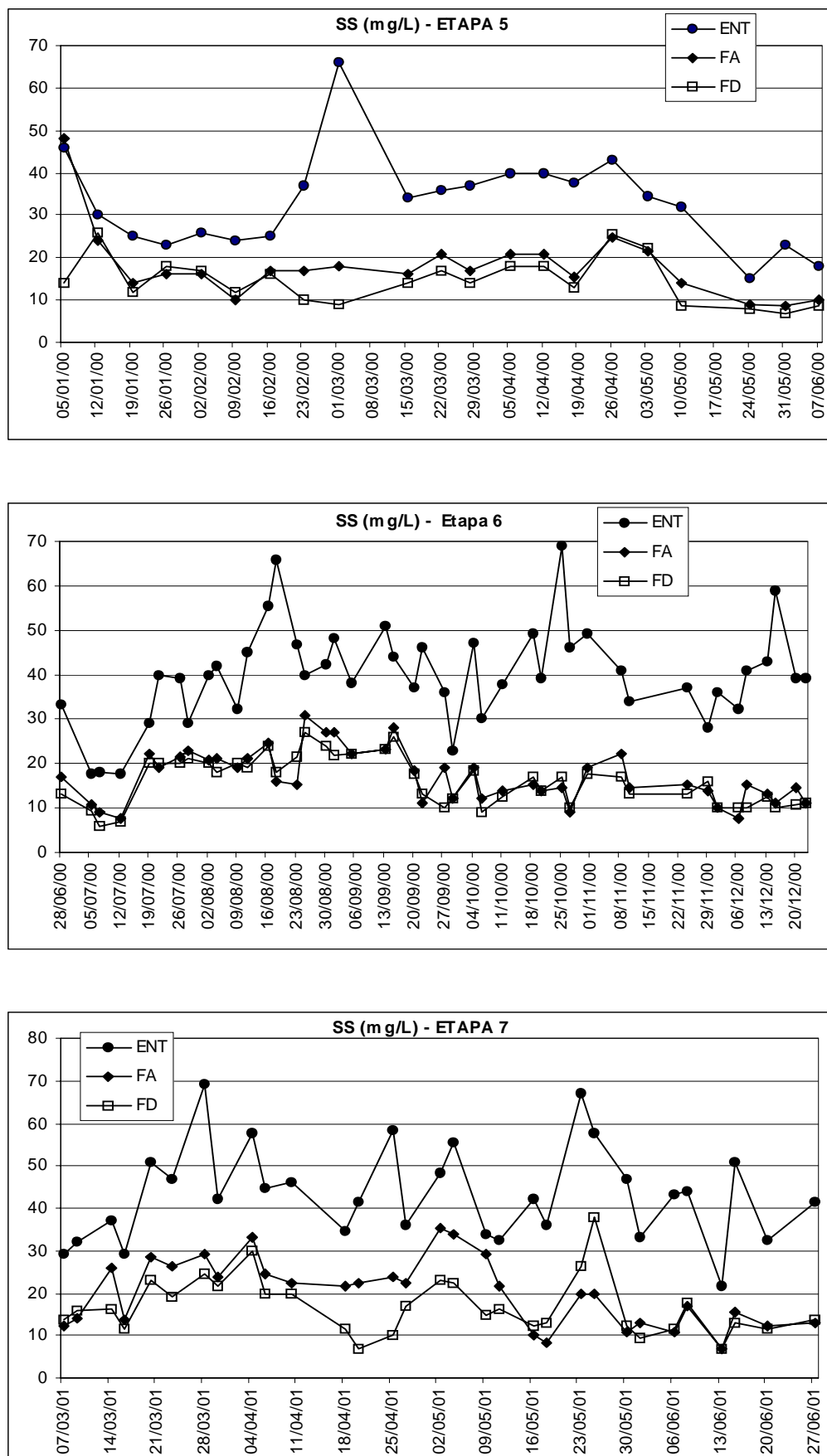


Figura 4 – Concentrações de Sólidos Suspensos na entrada e nas saídas dos filtros

Os filtros apresentaram resultados muito bons na remoção da DQO total e também na da parcela solúvel (DQO filtrada). Na 1ª etapa os efluentes de FA e FD apresentaram, respectivamente, 124 mg/L e 113 mg/L de DQOt e 82 mg/L e 78mg/L de DQOf. Na 2ª etapa, ambos os filtros apresentaram concentração média de 108 mg/L de DQOt, coincidentemente (ver gráficos), e para a DQOf médias próximas a 75 mg/L. Na 3ª etapa os efluentes de FA e FD apresentaram, respectivamente, 124 mg/L e 105 mg/L de DQOt e 86 mg/L e 73mg/L de DQOf, em médias. Considerando-se a remoção entre a DQOt afluente e a DQOf efluente: na 1ª etapa o filtro com fluxo descendente afogado propiciou 60% e o filtro com fluxo ascendente 58%; nos resultados da 2ª etapa, ambos os filtros propiciaram resultados próximos de 64%; e na 3ª etapa o filtro com fluxo ascendente manteve-se nos 64% mas o filtro com fluxo descendente afogado propiciou 70% na remoção da matéria orgânica, considerando-se DQOt afluente e DQOf efluente.

Os resultados de remoção de carbono orgânico total sobre amostras filtradas confirmaram a boa eficiência de ambos os filtros: concentrações médias nos efluentes da ordem de 15 mg/L na 1ª etapa, 13 mg/L na 2ª etapa e na 3ª etapa distinguem-se, FD com 15 mg/L e FA com 19 mg/L.

Com o acréscimo de carga na 2ª etapa (o dobro da vazão) os filtros mantiveram a performance e até mostraram maior eficiência na remoção de matéria orgânica e de sólidos. Isto confirma a capacidade dos filtros receberem maior carga e também mostra que, até certo limite, o aumento da carga e da concentração de lodo no interior dos filtros melhora a eficiência dos mesmos.

A melhor performance de ambos os filtros na segunda etapa em relação à primeira, deve-se, certamente, ao acúmulo de lodo ativo nos interstícios, com o passar do tempo.

De qualquer forma, todos os resultados de remoção de matéria orgânica, comparados entre os dois filtros, foram muito próximos, indicando que eles podem propiciar eficiência equivalente, tanto com fluxo ascendente como com fluxo descendente afogado. No caso investigado o filtro com fluxo descendente afogado mostrou-se mais eficaz.

Quanto à remoção de sólidos, o melhor desempenho dos filtros relacionou-se com os sólidos suspensos. As concentrações de SS nos efluentes de ambos permaneceram bastante baixas e estáveis (ver gráficos) durante todo o período estudado. As médias das concentrações de SS no efluente do filtro de fluxo descendente afogado foram melhores que no efluente do filtro com fluxo ascendente, sobretudo na 1ª etapa (15 e 18 mg/L, respectivamente), mas a pequena diferença na 2ª etapa (16 e 17 mg/L) não permite tirar conclusões definitivas, embora a melhor performance do filtro de fluxo descendente tenha sido confirmada na etapa 7 (3ª etapa).

Os filtros praticamente removeram todos os sólidos sedimentáveis mas no filtro com fluxo ascendente perdas eventuais de sólidos sedimentáveis foram mais frequentes, mesmo sendo raras.

## CONCLUSÕES

Ambos os filtros propiciaram resultados muito bons na remoção de matéria orgânica e sólidos.

Com o acréscimo de carga na 2ª etapa (o dobro da vazão) os filtros mostraram maior eficiência, confirmando a capacidade de ambos suportarem maior carga orgânica. A alta eficiência também ocorreu com a vazão de 10 m³/dia.

As eficiências na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos foram próximas nos dois filtros, mas o filtro com fluxo descendente afogado mostrou melhores resultados.

Pode-se concluir que um filtro anaeróbio de fluxo descendente afogado pode propiciar eficiência equivalente a de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente, com as demais características operacionais semelhantes.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE NETO, C. O. *Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários – Experiência Brasileira*. Rio de Janeiro, ABES, 301p. 1997.
- ANDRADE NETO, C. O., ALÉM SOBRINHO, P., MELO, H. N. S.; AISSE, M. M. Decanto-Digestores (pp. 117-138) in *Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo*. CAMPOS, J. R. (Coordenador) et all. Rio de Janeiro: ABES - Projeto PROSAB. 464 pp. 1999a.
- ANDRADE NETO, C. O.; CAMPOS, J. R.; ALÉM SOBRINHO, P.; CHERNICHARO, C. A. L.; NOUR, E. A. Filtros Anaeróbios (pp. 139-154) in *Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo*. CAMPOS, J. R. (Coordenador) et all. Rio de Janeiro: ABES - Projeto PROSAB. 464 p. 1999b.
- ANDRADE NETO, C. O.; MELO, H. N. S.; PEREIRA, M. G.; LUCAS FILHO, M.. Filtros Anaeróbios com Enchimento de Diferentes Materiais. p.75-86. In: *Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos*. CHERNICHARO, C. A. L. (Coordenador). Belo Horizonte, Projeto PROSAB. 220p. 2000.
- ANDRADE NETO, C.O.; PEREIRA M.G.; SANTOS, H.R.; MELO, H.N.S. Filtros Anaeróbios de Fluxo Descendente Afogados, com Diferentes Enchimentos. *Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro/RJ, ABES, p27-36. 1999c.
- AWWA/APHA/WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19<sup>th</sup> edition. Washington. 1995.
- CHERNICHARO, C.A.L. *Reatores anaeróbios*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG . Belo Horizonte. 246p. 1997.
- COUTO, L. C. C.; FIGUEIREDO, R. F. de. Filtro Anaeróbio com Bambu para Tratamento de Esgotos Domésticos. *Revista Ingenieria Sanitaria, AIDIS*. Vol. XLVII, Nº 1, jan-mar. 1993. p.77-81. 1993.
- DI LALLO, R.; ALBERTISON, O. E. Volatile Acids by direct filtration. *Journal Water Control Federation*, 33(4), p. 356-365. 1961.
- NOUR, E. A. A.; CORAUCCI FILHO, B.; FIGUEIREDO, R. F.; STEFANUTTI, R.; CAMARGO, S. A. R. Tratamento de Esgoto Sanitário por Filtro Anaeróbio Utilizando o Bambu como Meio Suporte. p.210-231. In: *Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo: coletânea de trabalhos técnicos*. CAMPOS, J. R. (Coordenador). São Carlos, Projeto PROSAB. 348p. 2000.