

## II-136 - ELIMINAÇÃO DE EXCESSO DE BIOFILME EM BIOFILTROS AERADOS SUBMERSOS E SEU TRATAMENTO EM FILTROS PLANTADOS COM MACRÓFITAS DE FLUXO VERTICAL

**Sandra Regina Alexandre Ramos<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

**Maria Elisa Magri**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Engenharia Ambiental da UFSC (PPGEA/UFSC). Doutoranda em Engenharia Ambiental PPGEA/UFSC.

**Joceli Gorresen Zaguini Francisco**

Formada em ciências contábeis pela Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALE). Técnica Ambiental pelo Centro Educacional Professor Padre Quirino (POSITEC). Bolsista DTI-III – CNPq – UFSC.

**Luiz Sérgio Philippi**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Saneamento Ambiental pela Université de Montpellier I (França). Pós-doutor pela Université de Montpellier II (França). Professor Voluntário do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Campus Universitário, Trindade - UFSC. Depto de Engenharia Sanitária e Ambiental – Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado - Florianópolis - SC – CEP: 88040-970 - Brasil - Tel: + 55 (48) 3721.7696 - e-mail: [sandra.rramos@hotmail.com](mailto:sandra.rramos@hotmail.com)

### RESUMO

A aplicação de biofiltros aerados submersos para o tratamento de efluentes sanitários vem sendo uma prática bastante vantajosa no que diz respeito à adequação aos padrões de lançamento e legislações ambientais vigentes. No entanto, estes sistemas ao longo do tempo apresentam alguns problemas operacionais, como desprendimento de excesso de biofilme e colmatção do meio suporte. Estes problemas podem ser minimizados se operações regulares de limpeza do leito filtrante forem aplicadas. No entanto, estas operações tendem a solucionar os problemas de excesso de biofilme no reator, mas tendem também, a interferir negativamente no processo de nitrificação do mesmo, e consequentemente, em sua eficiência. Dentro desta perspectiva, este trabalho teve como objetivo avaliar as técnicas de retrolavagem e descarga de fundo como alternativas de limpeza de dois biofiltros aerados submersos (BAS1 e BAS2) e a influência destes processos sobre a eficiência dos mesmos, principalmente, no processo de nitrificação. Somado a isto, foram avaliados dois filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical (FP) no tratamento do efluente gerado pela ação de limpeza. O sistema analisado era composto por dois biofiltros preenchidos com cascas de ostras como meio suporte, onde a técnica de retrolavagem foi aplicada ao BAS1 e a técnica de descarga de fundo ao BAS2. Nos filtros plantados com macrófitas foram utilizadas as plantas da espécie *Zizaniopsis bonariensis* conhecidas como Junco brasileiro. Os BAS operaram com uma carga orgânica volumétrica média de 372 gDQO/m<sup>3</sup>.dia e 80 L de efluente eram retirados semanalmente de cada biofiltro e aplicados nos filtros plantados. O FP1 recebeu o efluente de limpeza do BAS1 e o FP2, o efluente de limpeza retirado do BAS2. Estas aplicações resultaram em uma taxa média de aplicação superficial para o FP1 de 12,3 kgST/m<sup>2</sup>.ano e para o FP2 de 50,6 kgST/m<sup>2</sup>.ano. Durante o monitoramento, foram avaliados os seguintes parâmetros: pH, alcalinidade, DQOt, sólidos totais, sólidos suspensos e série nitrogenada (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). A técnica de retrolavagem se mostrou favorável quando analisada a eficiência do reator, principalmente, no processo de nitrificação. No entanto, a descarga de fundo não se apresentou tão favorável, quando analisados os processos de remoção de matéria carbonácea e nitrogenada. Em relação às eficiências dos filtros plantados, estes se apresentaram como uma boa alternativa para o tratamento do efluente de limpeza dos biofiltros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biofiltro Aerado Submerso, Biofilme, Retrolavagem, Descarga de Fundo, Filtros Plantados.

## INTRODUÇÃO

É de consenso geral que a adequação dos serviços de saneamento básico e o atendimento amplo dos mesmos a população reflete positivamente na saúde e bem-estar da sociedade e do meio ambiente.

Dentre as inúmeras tecnologias utilizadas para o tratamento de efluentes, a aplicação de biofiltros aerados submersos no tratamento de esgotos sanitários vem se tornando uma prática muito vantajosa, principalmente, no que diz respeito aos padrões de lançamento e legislações ambientais vigentes.

O biofiltro aerado submerso – BAS consiste basicamente em um reator aeróbio preenchido com material suporte, formado por uma fase líquida (efluente), uma fase gasosa (ar introduzido) e uma fase sólida (material de preenchimento). Neste material, ocorre a formação de uma camada de microorganismos, denominada de biofilme. O biofilme pode ser definido como uma associação de microorganismos como bactérias, fungos, leveduras que crescem aderidos sobre uma superfície sólida (Yendo, 2003), o qual é de suma importância para processos biológicos de remoção de matéria orgânica e transformação dos compostos nitrogenados nos biofiltros aerados submersos.

No entanto, o crescimento demasiado de biofilme aumenta a perda de carga (colmatação) do leito filtrante e ocasiona o seu desprendimento do meio suporte. Este episódio de desprendimento natural de biofilme prejudica a eficiência do tratamento, pois sobrecarrega o efluente em termos de concentração de sólidos e pode contribuir para que os microorganismos responsáveis pelo processo de nitrificação sejam “varridos” do sistema.

Portanto, faz-se necessário o estudo e avaliação de estratégias operacionais, (limpeza do reator) que minimizem os problemas ocorridos em biofiltros aerados submersos, como o desprendimento de biofilme e colmatação, sem que haja perda destes microorganismos. Estas estratégias, se bem controladas, tendem a minimizar os problemas operacionais que causam redução na eficiência do biofiltro, tornando-o uma alternativa ainda mais promissora no tratamento de efluentes sanitários.

Como alternativa para o tratamento do efluente gerado no processo de limpeza dos reatores, foram avaliados dois filtros plantados de fluxo vertical (FP). Estes sistemas destacam-se pela sua grande aplicabilidade no tratamento de vários tipos de efluentes, além de apresentarem vantagens como simplicidade construtiva e baixo custo operacional. Considerando as características do efluente de limpeza dos biofiltros, composto pelo lodo aeróbio e biofilme, os FP foram dimensionados para o tratamento de lodo de esgoto. Nos últimos anos, os filtros plantados têm sido objeto de investigação de inúmeras pesquisas, apresentando-se como boas alternativas para o tratamento tanto de efluentes sanitários, quanto para o tratamento de lodo.

Por fim, este trabalho teve como principais objetivos avaliar as técnicas de retrolavagem e descarga de fundo como técnicas de eliminação de excesso de biofilme em dois biofiltros aerados submersos e analisar o comportamento de dois filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical no tratamento do efluente de limpeza gerado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de tratamento estudado, com instalações no campus universitário da Universidade Federal de Santa Catarina, era composto por duas linhas de operação:

**Linha Convencional:** Destinada ao tratamento dos efluentes brutos domésticos, era constituída por uma Caixa de Esgoto Bruto, um Decanto-Digestor (DD) seguido de dois biofiltros aerados submersos (BAS). Essas unidades foram confeccionadas em uma mesma caixa de polietileno de 3000L, onde os biofiltros perfaziam um volume útil de 240L, cada um. Como material de preenchimento, em ambos os reatores, BAS1 e BAS2, foram utilizadas cascas de ostras (Figura 01), as quais diferenciavam entre si em função de seu diâmetro longitudinal e do tempo de uso no tratamento. Vale ressaltar, que este sistema foi estudado anteriormente por Magri (2009), cujo principal objetivo foi a avaliar a eficiência dos biofiltros aerados submersos frente aos processos de remoção concomitante de matéria orgânica e transformação dos compostos nitrogenados. Segundo Magri (2009), em geral, os reatores tiveram seus desempenhos sem diferença estatística, ou seja, apesar da utilização de material suporte com dimensões diferentes, estatisticamente, os reatores puderam ser considerados iguais.

De acordo com o trabalho de Magri (2009), o decanto-digestor recebeu uma concentração média afluente (esgoto bruto) em termos de DQOt e SS<sub>t</sub> de 339,6 mg/L e 132,7 mg/L, respectivamente. Os biofiltros operaram segundo uma Carga Orgânica Volumétrica de 372,3 g.DQO/m<sup>3</sup>.dia, com um tempo de detenção hidráulica de 7,5h e uma vazão de 26,4 L/h, cada um.



**Figura 01:** Vista do meio suporte dos biofiltros aerados submersos

Considerando as unidades do sistema convencional, neste trabalho foram avaliados somente os dois BAS (entrada e saídas), visto que um dos objetivos deste trabalho foi o estudo do comportamento destes reatores após a aplicação das operações de limpeza.

**Linha de Eliminação de Biofilme:** Composta por duas caixas de acumulação de efluente de limpeza (EL), dois filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical e duas caixas coletoras de líquido percolado, todas confeccionadas em caixas de polietileno.

Os filtros plantados tinham uma área superficial de 0,15 m<sup>2</sup> e 0,50 m de leito filtrante (areia e brita). Foram dimensionados segundo uma taxa de aplicação superficial de 200 kgST/m<sup>2</sup>.dia, valor este próximo ao recomendado por diferentes pesquisadores para o tratamento de lodo em FP, dentre eles, Kim e Smith (1997) e Nielsen (2003), Nielsen (2005). A justificativa para a utilização de filtros plantados para o tratamento de lodo está baseada na alta concentração de sólidos totais presente no efluente de limpeza, sendo este composto pelo biofilme desprendido do meio suporte e pelo lodo aeróbio formado nos biofiltros.

As macrófitas utilizadas nos filtros eram da espécie *Zizaniopsis bonariensis*, conhecidas como Junco brasileiro e foram retiradas do Centro de Treinamento da Epagri – CETRE. Este fator foi muito importante para a aclimação mais rápida das plantas, visto que estas faziam parte de uma unidade experimental para tratamento de lodo de tanque séptico.

Também foi instalada uma tubulação de ventilação em cada filtro para permitir a oxigenação do material filtrante até as camadas mais profundas, as quais possuíam um terminal de ventilação para impedir as interferências da chuva no processo de oxigenação.

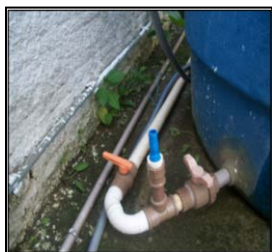
Durante duas semanas, com o intuito de promover a aclimação das macrófitas dos filtros plantados, fez-se a aplicação diária de 40 L ou 0,27 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia de esgoto pré-tratado, retirados do decanto-digestor.

Neste estudo, foram realizadas quatro operações de eliminação de biofilme nos biofiltros aerados submersos e, consequentemente, quatro aplicações em batelada nos filtros plantados com macrófitas.

A retrolavagem foi aplicada ao BAS1, enquanto a descarga de fundo foi aplicada ao BAS2. A primeira técnica era realizada por meio da injeção de intensas descargas de ar e água na base do reator (Figura 02) para promover o desprendimento de biofilme. Em movimento ascensional, o efluente saía pela superfície do mesmo e era recolhido na caixa de acumulação 1 (CA1). Após homogeneização do efluente, este era aplicado no filtro plantado 1 (FP1) (Figura 04).

Com relação ao BAS2, o desprendimento de biofilme era realizado por meio de intensas descargas de ar do próprio sistema de aeração dos reatores, sem a utilização de água. Enquanto a agitação da fase líquida ocorria, a descarga de fundo era iniciada, onde o efluente do reator saía pela base do mesmo após abertura do registro

de saída (Figura 03). Este era então recolhido na caixa de acumulação 2 (CA2), homogeneizado e aplicado no filtro plantado 2 (FP2) (Figura 04).



**Figura 02:** Injeção de água para a retrolavagem.



**Figura 03:** Saída da descarga de fundo.



**Figura 04:** Filtros plantados 1 e 2.

Nas operações de limpeza, um volume de 80L foi retirado semanalmente de cada BAS e aplicado nos filtros plantados. Estas operações resultaram em taxas de aplicação superficial diferentes a cada semana para ambos os filtros, de acordo com a concentração de sólidos totais retirados no efluente de limpeza dos BAS. O FP1 e o FP2 operaram com uma taxa de aplicação superficial (TAS) média de 12,3 kgST/m<sup>2</sup>ano e 50,6 kgST/m<sup>2</sup>ano, respectivamente. Após um tempo de detenção hidráulica de sete dias, as saídas dos filtros plantados eram abertas e o líquido percolado recolhido nas respectivas caixas coletoras de percolado, CP1 e CP2.

Para avaliação da eficiência dos biofiltros 1 e 2, foram analisados os resultados obtidos para o efluente do decanto-digestor (entrada dos BAS) e efluentes dos biofiltros, com o intuito de avaliar a influência das técnicas de eliminação de excesso de biofilme sobre os processos de remoção de matéria carbonácea e nitrificação nos reatores. Os filtros plantados foram avaliados, analisando-se suas eficiências na remoção de DQO, sólidos totais e matéria nitrogenada dos efluentes de limpeza de cada biofiltro, observando-se as diferentes taxas superficiais aplicadas em cada um.

Os parâmetros avaliados durante o monitoramento foram: pH, alcalinidade, DQO total, série de sólidos (sólidos totais, fixos e voláteis), sólidos suspensos totais e série nitrogenada (nitrogênio amoniacal, nitrogênio nítrico e nitrogênio nítrico) segundo o *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995).

## RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados analíticos da fase de monitoramento do sistema durante os 4 ciclos de operação em batelada (que tiveram a duração de 43 dias). A tabela 1 apresenta as concentrações médias e respectivos desvios-padrão obtidos para os pontos analisados: Saída do DD, Saída do BAS1 e Saída do BAS2.

Vale destacar que, ambos os biofiltros, tiveram seus efluentes avaliados sempre antes da aplicação das operações de limpeza e após três dias da realização destas. Os gráficos apresentados trazem destacados os dias em que foram aplicadas as operações de limpeza dos reatores, ou seja, no 8º, 22º, 29º e 36º dias de operação.

**Tabela 01: Resultados laboratoriais obtidos para os pontos de entrada e saída dos biofiltros aerados submersos.**

| Parâmetro                                   | Dados | Decanto-Digestor | BAS1  | BAS2   |
|---|-------|------------------|-------|--------|
| Potencial hidrogeniônico                    | Média | 6,84             | 6,98  | 7,29   |
|   | DP    | 0,3              | 0,5   | 0,4    |
| Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L) | Média | 237,50           | 77,05 | 189,19 |
|   | DP    | 33,8             | 46,6  | 55,4   |
| DQO total (mg/L)                            | Média | 443,20           | 56,10 | 133,00 |
|   | DP    | 271,16           | 58,36 | 91,08  |
| Sólidos Suspensos (mg/L)                    | Média | 136,96           | 15,56 | 55,13  |
|   | DP    | 94,9             | 14,9  | 34,0   |
| Nitrogênio Amoniacal (mg/L)                 | Média | 46,43            | 7,77  | 32,91  |
|   | DP    | 11,1             | 12,5  | 16,2   |
| Nitrogênio Nitrito (mg/L)                   | Média | 0,00             | 0,45  | 0,20   |
|   | DP    | 0,0              | 0,7   | 0,3    |
| Nitrogênio Nitrato (mg/L)                   | Média | 0,13             | 17,41 | 4,21   |
|   | DP    | 0,1              | 8,9   | 10,2   |

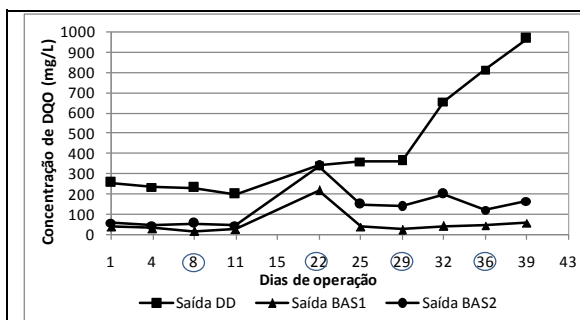
Considerando os valores apresentados na tabela 1, pode-se concluir que o BAS1 foi mais eficiente na remoção de matéria orgânica carbonácea na forma de DQO do que o BAS2, bem como suportou melhor as variações de carga orgânica afluyente. O BAS1 obteve percentuais médios de remoção de DQOt de 87% enquanto o BAS2 apresentou 70% de eficiência. Desta forma, após a análise dos resultados obtidos, percebeu-se que após a aplicação das operações de limpeza, as técnicas de retrolavagem e descarga de fundo influenciaram positivamente na eficiência dos reatores, em termos de remoção de matéria orgânica carbonácea medida na forma de DQO.

Com relação à remoção de sólidos suspensos pôde-se concluir que o BAS1 também foi mais eficiente do que o BAS2 após a aplicação das técnicas de limpeza, em termos de remoção de SS. Segundo a análise dos resultados, o BAS1 e BAS2 apresentaram uma eficiência média de 89 e 60%, respectivamente.

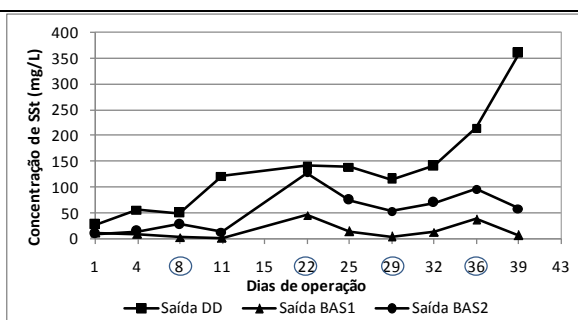
Conforme apresentam as figuras 5 e 6, no período anterior a 2ª operação de eliminação de excesso de biofilme, os reatores tiveram a alimentação do sistema suspensa devido a alguns problemas de operação, justificando assim, a perda de eficiência registrada nos biofiltros.

Os percentuais de remoção de matéria orgânica carbonácea, medidos na forma de DQOt e SS, mostraram-se ótimos resultados quando comparados a outros trabalhos. Carvalho Júnior e Povinelli (2004) operaram um sistema piloto composto por um reator anaeróbio compartimentado seguido de um biofiltro aerado submerso com espuma de poliuretano como meio suporte. Neste sistema, o BAS alcançou uma eficiência média de 75% na remoção de DQO e 77% na remoção de SST. Bastos et al., (2005), avaliaram um sistema composto por um reator UASB seguido de um BAS. Estes autores analisaram a influência da aplicação dos diferentes intervalos da retrolavagem sobre a eficiência do biofiltro. Quando avaliada a eficiência do reator, com um intervalo entre duas retrolavagens de 7 dias, este sistema apresentou uma eficiência média na remoção de DQO e SST de 42% e 55%, respectivamente. Ao comparar os resultados obtidos neste trabalho ao desenvolvido por Magri (2009), neste estudo, os biofiltros apresentaram-se mais eficientes na remoção de matéria orgânica carbonácea. Naquele trabalho, o BAS1 obteve uma eficiência média de remoção de DQO de 64%, porém não se mostrou eficiente na remoção de SS, apresentando um efluente com uma concentração média 50% mais elevada do que a concentração média afluyente. No que diz respeito à eficiência do BAS2, este apresentou, naquele trabalho, uma eficiência média de remoção de DQO também de 64% e de SS de 25%.





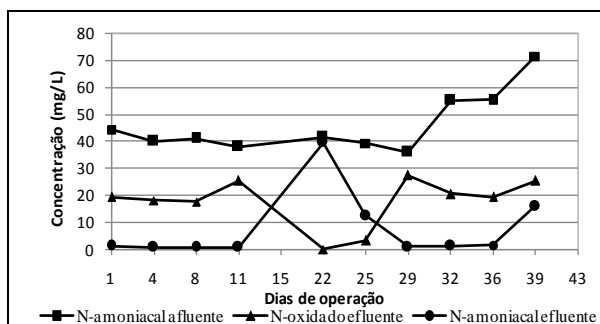
**Figura 5: Série temporal das concentrações de DQOt nos pontos de entrada e saída do BAS1 e BAS2, com destaque para os dias de realização das operações de limpeza nos reatores**



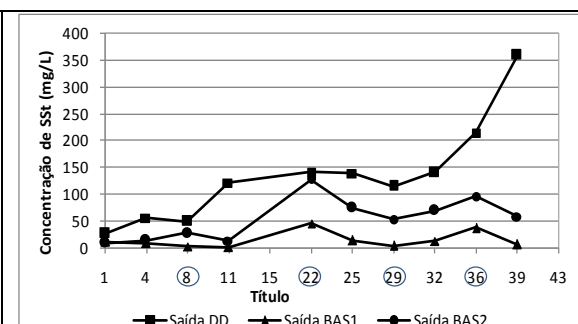
**Figura 6: Série temporal das concentrações de SSs nos pontos de entrada e saída do BAS1 e BAS2, com destaque para os dias de realização das operações de limpeza nos reatores**

Com relação à remoção de matéria nitrogenada, pôde-se observar que o BAS1 apresentou uma eficiência média de remoção de nitrogênio amoniacal de 83%.

A figura 7 apresenta a série temporal das concentrações de nitrogênio amoniacal afluente, nitrogênio oxidado ( $\text{N-NO}_2^-$  e  $\text{N-NO}_3^-$ ) e nitrogênio amoniacal efluente ao BAS1.



**Figura 7: Série temporal das concentrações de N-amoniacal afluente, N-oxidado e N-amoniacal efluente nos pontos de entrada e saída do BAS1, com destaque para os dias de realização das operações de limpeza nos reatores**



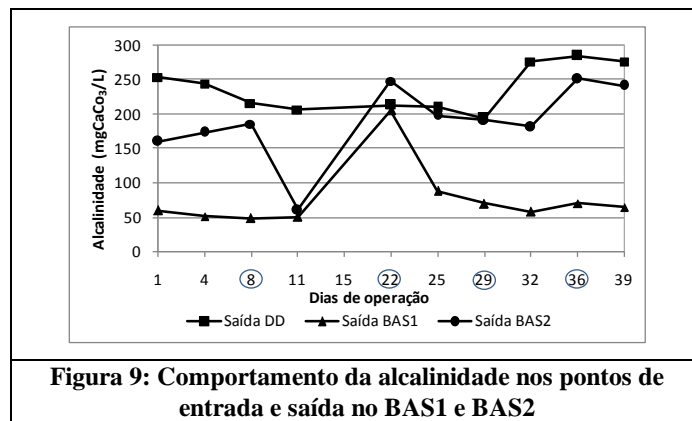
**Figura 8: Série temporal das concentrações de N-amoniacal, N-oxidado e N-amoniacal efluente nos pontos de entrada e saída do BAS2, com destaque para os dias de realização das operações de limpeza nos reatores**

Em relação ao BAS2, durante todo o período de monitoramento, à exceção do 11º dia, o reator não obteve desempenho positivo na oxidação do nitrogênio amoniacal, apresentando um efluente com concentração de N-oxidado ( $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ ) muito inferior ao apresentado pelo BAS1 (figura 8).

Como dito anteriormente, antes do segundo processo de eliminação de biofilme, todo o sistema teve sua alimentação suspensa, provocando uma baixa eficiência na remoção de N-amoniacal. Neste caso, o desprendimento de biomassa observado nos reatores pode ter contribuído para estes resultados. Em sistemas onde há a presença de bactérias heterotróficas e autotróficas, a relação C:N é um fator limitante às taxas de crescimento das bactérias nitrificantes. O desprendimento de biomassa ativa, indicado pelo aumento na concentração de sólidos suspensos e DQOt, proporcionou a elevação da carga orgânica. Segundo Carvalho Junior (2004), dependendo da carga orgânica aplicada, pode ocorrer a predominância dos organismos heterotróficos sobre os autotróficos, devido ao fato das bactérias nitrificantes crescerem mais lentamente que as heterotróficas.

Diante destes resultados, percebeu-se que a descarga de fundo aplicada ao biofiltro 2 pode ter contribuído para a baixa eficiência deste reator, principalmente nos processos de nitrificação ao carrear biomassa ativa para fora do sistema. Este ruim desempenho do BAS2 pode ser melhor evidenciado quando analisado o parâmetro alcalinidade dos efluentes dos reatores, representados na figura 9. Quando analisadas as concentrações de alcalinidade efluentes dos biofiltros, foi possível perceber a baixa atividade nitrificante ocorrida no BAS2, visto

que neste reator, praticamente não houve redução na concentração da alcalinidade, diferentemente do observado no BAS1.



No entanto, devido ao pouco tempo de monitoramento e considerando que nos dois biofiltros foram aplicadas as mesmas condições operacionais (COV e TDH), este desempenho do BAS2 pode ter ocorrido devido também, a sua própria instabilidade, fato este evidenciado em estudos anteriores deste mesmo sistema e não necessariamente devido à aplicação da descarga de fundo.

### Avaliação dos Filtros Plantados com Macrófitas

#### Remoção de Matéria Orgânica Carbonácea nos Filtros Plantados com Macrófitas

Os resultados obtidos para as quatro operações de limpeza, referentes às concentrações médias de DQOt, ST, SS, N-amoniaco, N-nitrito e N-nitrato para os pontos de entrada e saída (líquido percolado) dos dois filtros plantados são apresentados na tabela 2.

**Tabela 2: Concentrações médias de DQOt, ST, SS,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  obtidos para os pontos de entrada e saída do FP1 e FP2.**

| Parâmetros                  | Dados | Entrada FP1 | Saída FP1 | Entrada FP2 | Saída FP2 |
|-----------------------------|-------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| DQO total (mg/L)            | média | 123,3       | 25,8      | 1483,5      | 38,0      |
|                             | DP    | 81,8        | 20,1      | 1595,0      | 28,7      |
| Sólidos Totais (mg/L)       | média | 479,7       | 291,2     | 1977,8      | 451,5     |
|                             | DP    | 101,2       | 51,1      | 1669,5      | 335,7     |
| Sólidos Suspensos (mg/L)    | mg/L  | 138,0       | 35,1      | 1124,6      | 17,0      |
|                             | média | 94,4        | 11,7      | 830,9       | 8,0       |
| Nitrogênio Amoniacal (mg/L) | mg/L  | 9,7         | 1,8       | 29,3        | 4,6       |
|                             | DP    | 17,2        | 1,6       | 6,3         | 1,7       |
| Nitrogênio Nitrito (mg/L)   | mg/L  | 0,4         | 0,1       | 0,3         | 0,0       |
|                             | DP    | 0,7         | 0,3       | 0,2         | 0,1       |
| Nitrogênio Nitrato (mg/L)   | mg/L  | 10,1        | 5,0       | 1,5         | 2,9       |
|                             | DP    | 7,9         | 6,4       | 1,3         | 2,8       |

Como pode ser observado na tabela 2, os efluentes de limpeza retirados dos dois biofiltros e aplicados nos filtros plantados apresentaram elevada variação em termos de concentração de DQOt durante o período de monitoramento. De acordo com os valores obtidos, verifica-se que o FP1 obteve uma eficiência média de remoção de DQOt de 79%, enquanto o FP2 apresentou uma eficiência média de 97%.

Com relação à remoção de ST, o FP1 apresentou uma eficiência média na remoção de ST de 39% e o FP2 obteve uma eficiência média de 77%. Já em termos de remoção de sólidos suspensos, o FP1 obteve uma eficiência média de remoção de SS de 74%, enquanto o FP2 apresentou uma eficiência média de 98%.

Koottatep (1999a) e Suntti (2010) estudaram filtros plantados com macrófitas para tratamento de lodo de tanque séptico. Estes autores conseguiram em suas experiências, uma eficiência média de 81% e 92% na remoção de ST, respectivamente.

Considerando as diferentes taxas de aplicação superficial aplicadas a cada semana nos filtros, nenhuma delas esteve acima da TAS teórica de 200 kgST/m<sup>2</sup>ano.

Os resultados apresentados comprovam que o FP2 obteve uma melhor eficiência na remoção de DQOt, ST e SS do que o FP1, embora no filtro plantado 2 tenha sido aplicada uma taxa superficial maior (50,6 KgST/m<sup>2</sup>.ano) do que o filtro plantado 1 (12,3 kgST/m<sup>2</sup>ano).

Dentre os sólidos totais, verificou-se que o efluente aplicado no FP1, apresentou a fração inorgânica maior, representando em média 62% dos sólidos, diferentemente do FP2, onde a fração orgânica representou a maior parcela dos sólidos, cerca de 53%. Esta parcela de sólidos voláteis maior que a fração fixa no efluente de limpeza do biofiltro 2, pode estar relacionado à eliminação de biomassa ativa do reator, observado nos processos de remoção de matéria carbonácea e nitrificação. Com relação ao efluente de limpeza do BAS1, o perfil de sólidos apresentado sugere que neste reator, o processo de retrolavagem poderia estar eliminando uma biomassa inativa, sem muita importância para o processo de tratamento.

Conforme apresentado na tabela 2, o FP1 apresentou uma eficiência média de remoção de amônia de 81%. No entanto, este percentual de remoção ocorrido não foi devido somente ao processo de nitrificação, visto que a concentração média de nitrato afluente ao FP1 (10,1 mg/L) foi maior do que a concentração média efluente (5,0 mg/L).

Uma das justificativas para esta redução da concentração de nitrato observada no líquido percolado do filtro 1 pode estar relacionada ao processo de desnitrificação. É possível que entre os interstícios do leito filtrante ocorra a formação de zonas anóxicas, favorecendo a redução de nitratos. Segundo Philippi e Sezerino (2004), referenciando Cooper et. al. (1996), se o material filtrante for submetido à alimentação intermitente, como o ocorrido neste trabalho, a amônia pode ser rapidamente removida da massa líquida devido a adsorção no material filtrante.

Com relação à eficiência do FP2 na remoção de amônia, verificou-se que este apresentou melhor desempenho quando comparado ao FP1. De acordo com a tabela 2 foi possível afirmar que o FP2 obteve uma remoção média de nitrogênio amoniacal de 84%. De forma semelhante ao FP1, observa-se que o processo de nitrificação no FP2 não foi o principal meio de remoção deste percentual de amônia, uma vez que deste percentual, apenas 10% foram oxidados a nitrito e nitrato.

## CONCLUSÕES

Como conclusões e recomendações obtidas com a avaliação do sistema, pode-se destacar:

- As operações de eliminação de excesso de biofilme aplicadas no BAS1 e BAS2 apresentaram resultados diferentes, quando analisados os percentuais de remoção de matéria carbonácea e nitrificação nos dois biofiltros;
- No que diz respeito à transformação dos compostos nitrogenados e remoção de matéria orgânica, foi possível observar que a operação de retrolavagem mostrou-se mais positiva ao BAS1 quando comparada à descarga de fundo no BAS2. A partir da verificação das maiores concentrações de SS e ST no efluente de limpeza do biofiltro 2, pôde-se perceber que provavelmente, a descarga de fundo aplicada neste reator pudesse estar carreando biomassa ativa do sistema, inclusive pela maior proporção de sólidos totais voláteis apresentadas no efluente de limpeza. É importante destacar que, este baixo desempenho do BAS2 pode ter sido influenciado também pela sua própria instabilidade e não somente devido à aplicação da operação de limpeza;
- Considerando as diferenças entre as operações de retrolavagem e descarga de fundo, pôde-se avaliar que esta última apresentou-se muito mais “agressiva” ao processo de eliminação de biofilme quando comparada à técnica de retrolavagem, visto a maior concentração de SS e ST no efluente do BAS2;



- Em relação aos filtros plantados, O FP2 foi o que apresentou os melhores resultados, apresentando valores médios de remoção de matéria orgânica, sólidos totais e matéria nitrogenada de 97%, 77% e 84%, respectivamente, embora observado que a TAS média utilizada neste filtro foi maior que a taxa aplicada ao FP1, devido à maior concentração de sólidos totais presentes no efluente de limpeza do BAS2.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA – American Public Health Association. (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19º ed. Washington: APHA-AWWA-WEF.
2. CARVALHO JÚNIOR, O de. **Aprimoramento de um Biofiltro Aerado Submerso Empregado no Pós-Tratamento do Efluente de Reator Anaeróbio Compartimentado**. 2004. 103f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, 2004.
3. CARVALHO JR. O; POVINELLI, J. **Biofiltro Aeróbio Submerso Empregado no Pós-Tratamento do Efluente de Reator Anaeróbio Compartimentado**. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, 2005, Campo Grande. ABES, p. 1-11, 2005.
4. COOPER, P.; JOB, G. D.; GREEN, M. B.; SHUTES, R. B. E. **Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**. Swindon: WRC plc. 1996.184p.
5. KIM, B. J.; SMITH, E. D. **Evaluation of sludge dewatering reed beds: a niche for small systems**. Wat. Sci. Tech. Vol. 35, n.º 6, p. 21-28, 1997.
6. KOOTTATEP, T.; POLPRASERT, C.; OANH, N. T. K. **Results of the 2-year observations and lessons learnt from operating experience of the AIT constructed wetlands**. In: International Seminar on Constructed wetlands: a promising technology for septage management and treatment. Thailand EAWAG/SANDEC, 1999b. 9 p.
7. MAGRI, M. E. **Nitrificação e pré-desnitrificação de esgoto sanitário no sistema: tanque anóxico + decanto-digestor + biofiltro aerado submerso com cascas de ostras como meio suporte**. 2009. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, 2009..
8. NIELSEN, S. **Sludge drying reed beds**. Wat. Sci. Tech. Vol. 48, nº 5, p. 101-109, 2003.
9. NIELSEN, S. **Sludge Reed Bed Facilities: Operation and Problems**. *Water Science and Technology*, 51(9), 99-107, 2005.
10. PHILIPPI, L.S; SEZERINO, P.H. **Aplicação de Sistemas Tipo Wetlands no Tratamento de Águas Residuárias: Utilização de Filtros Plantados com Macrófitas**. 1. Ed. Florianópolis: Edição do autor, 2004. 144p.
11. SUNTTI, C. **Desaguamento de Lodo de Tanque Séptico em Filtros Plantados com Macrófitas**. 2010. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.
12. YENDO, A. Y. **Uso de um Biofiltro Aerado Submerso como Unidade de Pós - Tratamento de Efluente de Tratamento Anaeróbio de Curtume**. 2003.131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Ênfase em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2003.