

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

INFLUÊNCIA DE UM DISPOSITIVO REGULADOR DE PICOS DE VAZÃO NA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM FILTROS ANAERÓBIOS

*Sofia Fernandes Lemos de Souza¹
Gilson Barbosa Athayde Júnior¹
José Dorivaldo Florêncio de Oliveira¹
Ysa Helena Diniz Moraes de Luna¹

*EFFECT OF A PEAK FLOW CONTROL DEVICE ON THE
ORGANIC MATTER REMOVAL EFFICIENCY IN ANAEROBIC
FILTER*

Recibido el 9 de marzo de 2015; Aceptado el 8 de febrero de 2016

Abstract

There are many technologies that seek efficient and cost compatible solutions to minimize the problem caused by fluctuations sewage discharge. In cases of low density occupation, or in peri-urban communities, where a sewerage system is difficult to implement, individual solutions can work satisfactory and economically. However, these solutions for effluent treatment are subject to more pronounced peak flow than the large systems, due to the proximity from their location to the sewage sources. The objective of this study was to evaluate the use of a device that provides limitation of peak flows in treatment efficiency in anaerobic filters filled with granite rocks (mesh 4) fed with septic tank effluent. It was conducted as comparative study between two identical filters, being only one of them preceded by the device that provides limitation of peak flows. Over the period of a year of monitoring, the inclusion of a peak flow control chamber, preceding one of the filters, provided an average reduction in peak flow of 48.6%, however, according with the chosen parameters, the removal efficiency of organic matter wasn't significantly influenced by using this device.

Keywords: Anaerobic filters, Hydraulic Shock, Sewage treatment.

¹ Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Brasil.

*Autor correspondente: Divisão de Obras, Prefeitura Universitária da Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Cidade Universitária, s/n, João Pessoa, Paraíba. CEP: 58051-900, Brasil. Email: sofiaufpb@gmail.com

Resumo

São muitas as tecnologias que buscam soluções eficientes e de custo compatível para minimizar o problema gerado pelo lançamento de efluentes. Em casos de baixa densidade de ocupação, ou ainda de comunidades periurbanas, onde um sistema coletivo de esgotamento sanitário é de difícil implantação, as soluções individuais podem funcionar satisfatória e economicamente. Entretanto, estas soluções de tratamento de efluentes são sujeitas a picos de vazão mais acentuados que os grandes sistemas, devido à proximidade da fonte geradora de esgoto. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do uso de um dispositivo regulador de picos de vazão na eficiência de remoção de parâmetros indicadores de matéria orgânica em filtros anaeróbios preenchidos com brita granítica Nº 4 alimentados com efluente de tanque séptico. Efetuou-se um estudo comparativo entre dois filtros, sendo apenas um deles precedido pelo dispositivo que proporciona limitação dos picos de vazão. Ao longo do período de um ano de monitoramento, a inclusão da caixa reguladora de vazão, antecedendo um dos filtros, proporcionou uma redução média na vazão de pico de 48.6%, entretanto, isto não influenciou significativamente a eficiência de remoção dos parâmetros indicadores de matéria orgânica.

Palavras-chave: Choque Hidráulico, Filtro anaeróbio, Tratamento de esgotos.

Introdução

Sistemas combinados de tanque séptico seguido de filtro anaeróbio caracterizam alternativa bastante simples para pequenas áreas desprovidas de redes coletoras de esgotos e podem alcançar até 75% de remoção de DBO₅ (ABNT, 1997). As intensidades e variações de vazões de águas residuárias destes sistemas individuais diferem significativamente daquelas de sistemas coletivos. Como os sistemas individuais pressupõem a solução no local de geração do efluente, os mesmos estão sujeitos a picos de vazão mais acentuados em relação aos reportados em sistemas coletivos, devido à proximidade com que são instalados das fontes geradoras de esgoto no primeiro sistema.

Resultados na literatura têm mostrado que o aumento de vazão além de poder influenciar na estrutura do biofilme, podem interferir no desempenho do tratamento (Stoodley *et al.*, 2002; Horn *et al.*, 2003; Telgmann *et al.*, 2004; Xavier *et al.*, 2005; Paul *et al.* 2012). Os choques hidráulicos podem causar inibição de microrganismos responsáveis pelo tratamento, levando à redução do desempenho do reator e em muitos casos resultando no acúmulo de AGV, na diminuição do pH no reator e no aumento de sólidos e de matéria orgânica nos efluentes (Borja & Banks, 1995; Chua *et al.*, 1997; Ribeiro *et al.*, 2001; Feng *et al.*, 2008).

Destaca-se que estes efeitos acima citados sobre a eficiência do tratamento foram observados em reatores tratando efluentes com concentração elevada de matéria orgânica submetidos a uma vazão mais elevada por período de dias. Por outro lado, estudos realizados em sistemas tratando esgotos menos concentrados (Camargo *et al.*, 2001; Andrade Neto *et al.*, 2001), parecem não ter detectado influência dos choques hidráulicos sobre eficiência do tratamento.

Salienta-se ainda que os estudos relatados baseiam-se em variações de vazão que parecem não ocorrer espontaneamente em sistemas individuais de tratamento, variações estas como exemplificadas por Fernandes (2012), as quais ocorrem em um curto intervalo de tempo, da ordem de poucos minutos.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é, a partir da aplicação de um dispositivo regulador dos picos de vazão simplificado e de baixo custo, investigar o efeito da limitação dos picos de vazão na eficiência de tratamento de esgotos sanitários com filtro anaeróbio alimentados com efluente de tanque séptico.

Metodologia

Descrição do sistema experimental

Esta pesquisa foi realizada num sistema de tratamento de esgoto instalado na Residência Universitária do Campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), na cidade de João Pessoa, Estado da Paraíba, Região Nordeste do Brasil.

A alimentação do sistema foi feita através de dois banheiros e o sistema de tratamento de esgoto era composto por: tanque séptico, caixa distribuidora de vazão e 3 reatores anaeróbios de fluxo ascendente. A presente pesquisa focou apenas nos reatores 1 e 2, não sendo o reator 3 seu objeto de estudo. Os reatores 1 e 2 eram filtros anaeróbios e doravante serão chamados de filtro 1 (F1) e filtro 2 (F2).

O esgoto passava primeiramente pelo tanque séptico. Em seguida o efluente passava por uma caixa de distribuição de vazão, cujo objetivo era garantir que as vazões afluentes aos filtros fossem iguais. Destinava-se a um primeiro compartimento e deste era transferido a outros três compartimentos em paralelo, cada um antecedendo a um dos filtros. Esta transferência era feita mediante um conjunto de três sifões, onde, à medida que o nível subia no compartimento inicial, ocorria o transbordamento simultâneo de recipientes cuidadosamente nivelados nos três compartimentos, para que ocorresse a divisão por igual da vazão. Por fim o esgoto passava através dos filtros. Estes foram preenchidos por brita nº 4 e ambos os filtros apresentaram índice de vazios de 49.3%. A vazão de dimensionamento foi de 360 L/d para o tanque séptico e 120 L/d para cada um dos filtros.

No interior da caixa distribuidora de vazão, antecedendo o filtro 1, foi implantada uma caixa reguladora dos picos de vazão. Tratava-se de uma caixa com volume calculado para comportar o maior pico de vazão observado por Fernandes (2012), que operou este sistema previamente (abril de 2011 – abril de 2012) e com orifício de saída dimensionado para liberar cerca de três vezes a vazão média geral de todas as observações feitas por este mesmo autor, anteriormente,

no presente sistema de tratamento. Desta forma, tratava-se de um filtro com limitação dos picos de vazão, filtro 1, e outro sem limitação de vazão, filtro 2. Ilustração do sistema de tratamento em estudo segue na Figura 01.

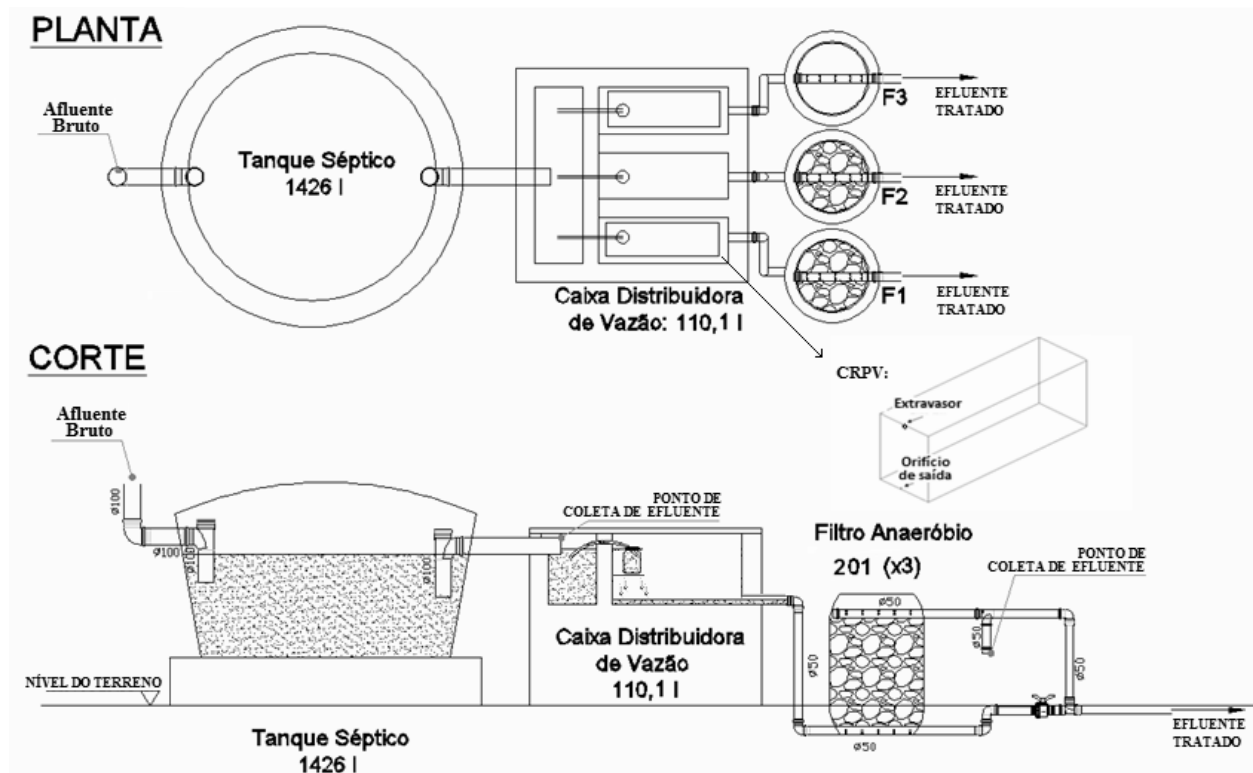


Figura 01. Esquema do sistema de tratamento experimental de esgoto

Para o dimensionamento da caixa reguladora dos picos de vazão (CRPV), foram utilizados dados apresentados por Fernandes (2012) referentes ao mesmo sistema utilizado nesta pesquisa. Segundo resultados obtidos pelo autor, nas medições de vazão realizadas, a contribuição diária média afluyente a cada um dos filtros foi de 198.87 l/d. O orifício de saída da caixa reguladora de vazão foi calculado para descarregar vazão máxima de aproximadamente três vezes esta vazão média ($Q_{saída,máx} = 3 Q_{méd} = 596.4 \text{ L/d}$).

Para cálculo do orifício de saída deste dispositivo foi utilizada a equação de Bernoulli para um escoamento sem viscosidade, incompressível e em regime permanente, em que, para $Q = 3Q_{méd}$ e considerando uma carga hidráulica de 24.61 cm ($H = 0.2461 \text{ m}$), coerente com o espaço disponível pelo sistema, obteve-se $d = 2.0 \text{ mm}$.

De acordo com as medições de vazão realizadas por Fernandes (2012) ao longo do dia, as vazões de pico atingiam cerca de até 18 vezes a vazão média. Portanto foi calculado o volume a ser armazenado no caso da vazão afluyente da caixa reguladora ser maior do que a de saída do orifício. Considerando uma vazão máxima de saída da caixa de três vezes a vazão média, o volume máximo a ser comportado seria de 33.38 L.

Monitoramento

O monitoramento do sistema foi efetuado de janeiro à dezembro de 2013. Neste período foram realizadas 16 medições de vazão e 11 coletas para análise da eficiência do tratamento de esgotos.

As vazões de alimentação dos filtros eram vazões espontâneas, geradas pelos habitantes no uso dos banheiros aos quais o sistema estava conectado. Estas medições em cada filtro eram realizada através de coletas do efluente dos filtros em baldes e posterior medição destes volumes armazenados através de provetas de 1 litro. O horário no qual cada volume era medido e a quantidade medida eram registrados em planilha, para possibilitar a determinação das vazões ao longo do tempo. Estas aferições eram executadas num período de 12 horas, entre 7 e 19 horas.

Destaca-se que, como as medições de vazão eram realizadas no período diurno (de 07 às 19 horas), foram feitas três medições de vazão num período de 24h para análise da contribuição no período noturno.

Foram analisadas as seguintes variáveis: temperatura, pH, alcalinidade, turbidez, amônia, DBO₅, DQO, sólidos sedimentáveis (SSed), sólidos suspensos (SS) e sólidos suspensos voláteis (SSV). Todas as análises foram realizadas no laboratório de saneamento da UFPB e obedeceram aos procedimentos metodológicos descritos no APHA, AWWA, WEF (1999).

Tratamento dos dados obtidos

Para realização do tratamento estatístico dos dados, os mesmos foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov modificado por Lilliefors a um nível de significância de 5% para verificação da distribuição normal (Sokal & Rohlf, 2012).

Foi feito o tratamento estatístico dos dados utilizando análise de variância. Neste trabalho, a ANOVA foi aplicada aos conjuntos de dados de um mesmo parâmetro analisado dos pontos de coleta ETS, F1 e F2. Os dados foram submetidos a este procedimento com a finalidade de se verificar a existência de diferenças significativas entre a média dos dados do ETS e cada um dos filtros (ETS x F1) e (ETS x F2), e entre os filtros (F1 x F2), ao nível de significância de 5%.

Resultados e discussões

Medições de Vazão

Exemplo de uma das medições de vazão efetuada nos filtros é mostrada na Figura 02.

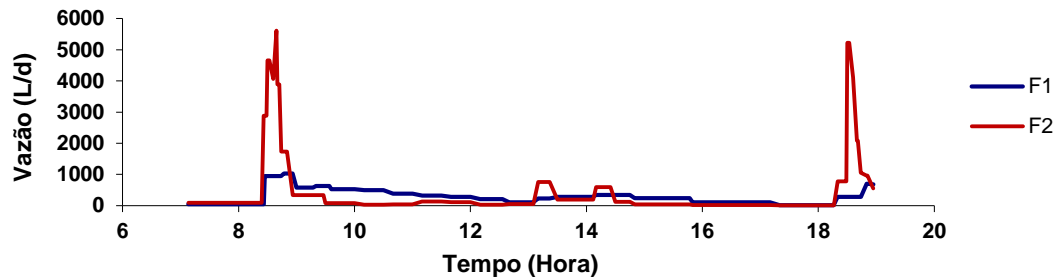


Figura 02: Gráfico de vazão nos filtros na medição de vazão realizada em 07/02/2013

O gráfico mostra que as vazões afluentes aos filtros variaram consideravelmente ao longo do dia e estas variações foram bem mais acentuadas no filtro 2, uma vez que este não possuía a caixa reguladora, responsável por descarregar gradualmente o volume que armazenou durante os períodos de vazão de pico. Isto indica que a CRPV funcionou como reguladora de variações de vazão e proporcionou amortecimento dos picos de vazão. O maior percentual de redução dos picos de vazão foi de 85.42% e o percentual médio foi de 48.60%.

No F2, foi constatada uma razão $Q_{pico}/Q_{méd}$ mínima de 3.61 e máxima de 41.46, mostrando que em sistemas individuais, nos quais a fonte geradora de esgoto está bastante próxima da unidade de tratamento, esta razão é bem mais acentuada que em estações de tratamento de esgotos coletivas, nas quais, segundo Azevedo Netto *et al.* (1998), valores usuais desta razão situam-se na faixa entre 1.65 e 3.22.

Nas medições de vazão, eram medidos os volumes afluentes ao sistema no período de 07 às 19 horas. Para análise da representatividade destes volumes medidos (de 07 às 19h) diante do volume total afluente num período de 24 h, foram realizadas três medições de vazão num período de 24 h e foi verificado que o volume afluente ao sistema no período diurno representou em média cerca de 50.50% do volume total afluente.

Com base nos volumes afluentes aos filtros obtidos nas medições de vazão, considerando o volume total recebido por cada um dos filtros e o período de acompanhamento do sistema, obteve-se vazão média diária de 241.43 L/d afluente ao filtro 1 e 237.51 L/d afluente ao filtro 2, cerca de duas vezes maior que a vazão prevista em dimensionamento, 120L/d. Recalculando o TDH para a vazão média total obtida, chegou-se aos valores apresentados na Tabela 01. Refere-

se a TDH aparente aquele calculado a partir do volume total dos filtros e o TDH real o que se baseia no volume útil dos filtros – volume total descontado o volume ocupado pelo material filtrante –, sendo, portanto menor.

Tabela 01. Tempo de detenção hidráulica para a vazão média real

Ponto de Coleta	Vazão média afluyente (L/d)	Volume total (L)	Índice de vazios (%)	Volume útil (L)	TDH real (dias)	TDH aparente (dias)
ETS + Caixa de distribuição	709.17*	1536.1	100%	1536.1	2.17	2.17
F1	241.43	201	49.3%	99.1	0.41	0.83
F2	237.51	201	49.3%	99.1	0.42	0.85

*Vazão calculada a partir da soma das vazões médias dos F1 e F2 e de um terceiro reator que não foi objeto de estudo desta pesquisa.

Parâmetros físico-químicos

Os dados foram submetidos, inicialmente, ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov a um nível de significância de 5%. Foi constatado que, com exceção dos dados de sólidos sedimentáveis do F1 e F2, os dados obtidos para os diversos parâmetros nos pontos de estudo possuíam distribuição normal.

Os valores de temperatura nos pontos de estudo variaram entre 24.2°C e 28.1°C no período estudado, mantendo-se na faixa mesófila (entre 20°C e 40°C), propícia ao bom desempenho de reatores anaeróbios. Além disso, na maior parte do período estudado, manteve-se dentro as temperaturas ótimas para atividade microbiana que segundo Metcalf & Eddy (1991) estão na faixa entre cerca de 25°C e 35°C.

O pH manteve-se na faixa entre 7.5 e 8.0 na maioria das aferições, estando, portanto, dentro da faixa na qual, segundo Chernicharo (2007), pode-se conseguir estabilidade na formação do metano que, de acordo com o autor, é entre 6.0 e 8.0. Desta forma, percebe-se que o efeito de maiores vazões de pico e, portanto, menores TDH nos momentos de pico no filtro 2, que não possui a CRPV, não resultou na redução do pH.

Foram encontrados valores de alcalinidade nos pontos de estudo – entre 190 e 339 mg/L no ETS e entre 212 e 338 mg/L no efluente dos filtros – indicando uma grande capacidade de tamponamento, protegendo o sistema contra variações de pH.

Com relação aos dados de nitrogênio amoniacal, os valores obtidos foram sempre muito próximos entre os pontos estudados e variaram entre cerca de 20 e 40 mg/L ao longo do período desta presente pesquisa. Segundo Chernicharo (2007), concentrações acima de 150

mg/L são apontados como tóxicas aos microrganismos metanogênicos, sugerindo, portanto, que as concentrações de nitrogênio amoniacal encontradas nesta presente pesquisa não exerceram efeito tóxico sobre os reatores.

No que se refere a estes parâmetros de análise das condições do ambiente do reator – pH, alcalinidade, temperatura e nitrogênio amoniacal – não foi verificada diferença significativa entre os pontos de estudo (ETS, F1 e F2) ao submeter os dados obtidos a um tratamento estatístico utilizando análise de variância para um nível de significância de 5%. Além disso, os resultados mantiveram-se dentro de faixas favoráveis ao desenvolvimento de digestão anaeróbia.

Apresentam-se a seguir gráficos do comportamento temporal e tipo *box-plot* dos dados de DBO₅ (Figuras 03 e 04, respectivamente), DQO (Figuras 05 e 06, respectivamente) e SSV (Figuras 07 e 08, respectivamente) obtidos ao longo do período de estudo. Os valores médio, máximo, mínimo e o desvio padrão destes parâmetros obtidos para cada um dos pontos – ETS, F1 e F2 – ao longo do período de estudo seguem na Tabela 02. Nesta mesma tabela pode-se observar a eficiência média de remoção de DBO₅, DQO e SSV para cada um dos filtros.

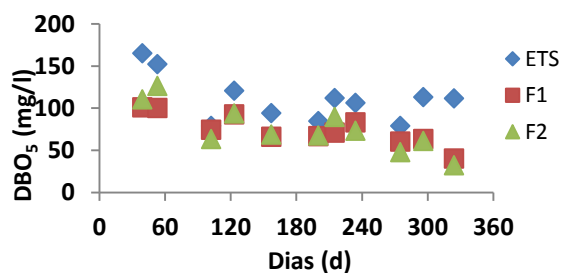


Figura 03. Comportamento temporal da DBO₅.

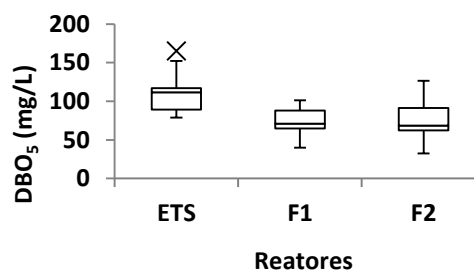


Figura 04. Gráficos boxplot com dados de DBO₅ do ETS, F1 e F2.

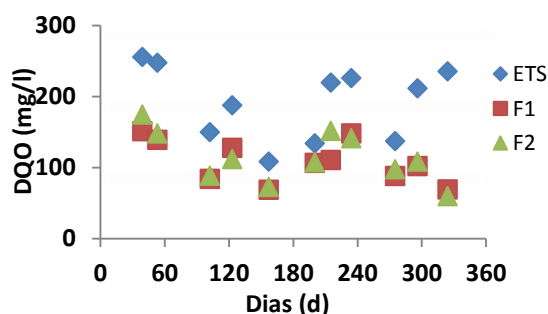


Figura 05. Comportamento temporal dos dados de DQO.

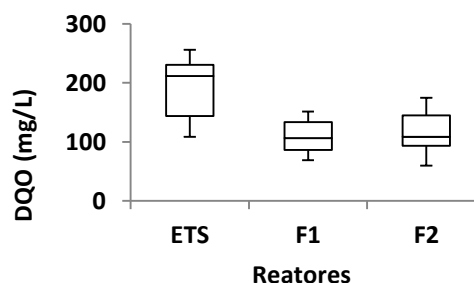


Figura 06. Gráficos boxplot com dados de DQO do ETS, F1 e F2.

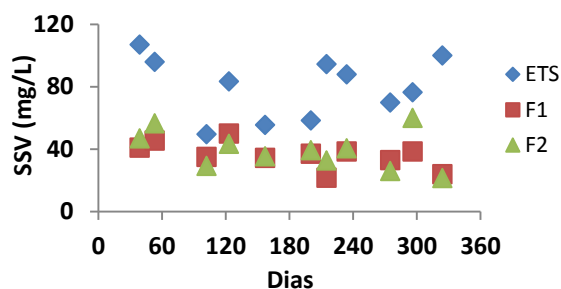


Figura 07. Comportamento temporal dos dados de SSV.

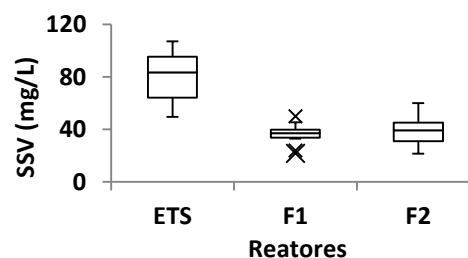


Figura 08. Gráfico boxplot com dados de sólidos suspensos voláteis do ETS, F1 e F2.

Tabela 02. Os valores médio, máximo, mínimo e o desvio padrão de DBO₅, DQO e SSV obtidos para cada um dos pontos de estudo e eficiência de remoção de DBO₅, DQO e SSV para cada um dos filtros (n = 11).

	DBO ₅			DQO			SSV		
	ETS	F1	F2	ETS	F1	F2	ETS	F1	F2
n*	11	11	11	11	11	11	11	11	11
\bar{x} * (mg/L)	111	74	76	192	109	115	80	36	39
Máx (mg/L)	165	101	127	256	151	175	107	50	60
Mín (mg/L)	79	40	32	109	69	60	50	22	22
σ * (mg/L)	28	19	27	51	30	36	19	8	12
Eficiência de remoção	-	33%	32%	-	43%	40%	-	55%	51%

* n: número de amostras; \bar{x} : Média; σ : Desvio padrão.

A média dos valores de DBO₅ obtida no efluente dos filtros foi de 106 mg/L e 113 mg/L na primeira e segunda coletas, respectivamente, e atingiu o menor valor na última coleta realizada, atingindo uma concentração média de 36 mg/L. Isto indica o funcionamento adequado do sistema anaeróbico após o período de partida necessário. Mesmo nos meses de temperaturas mais amenas, compreendidos entre junho e setembro, nos quais a temperatura média reduziu cerca de 2.7°C em relação à média dos valores de temperatura obtidos entre o mês da primeira coleta, fevereiro, e maio, os valores de DBO₅ se mantiveram estáveis.

Além disso, as concentrações obtidas na maioria das coletas estiveram dentro dos valores típicos esperados para efluente de filtro anaeróbico que, segundo Florencio *et al.* (2006), no que se refere à DBO₅, situam-se na faixa de 40 a 80 mg/L.

Os valores de eficiências de remoção de DBO₅ obtidos para os filtros nesta presente pesquisa foram menores que o obtido por Fernandes (2012), que constatou valor de 52% para filtro preenchido com brita. Entretanto, foram ligeiramente maiores que o obtido por Ávila (2005), de 28% para filtros anaeróbicos preenchidos com brita N^o4 com altura de leito de 2.09 m.

A maioria dos resultados da literatura mostram que os choques hidráulicos deterioram a qualidade do tratamento do esgoto (Guiot & Van Den Berg, 1984; Borja & Banks, 1995; Chua *et al.*, 1997; Ribeiro *et al.*, 2001). Entretanto, no presente estudo não foi constatada diferença significativa na eficiência de remoção de DBO_5 devido à inclusão de uma caixa reguladora dos picos de vazão, ao submeter os dados obtidos a um tratamento estatístico utilizando análise de variância para um nível de significância de 5%. Nos trabalhos referidos, os reatores foram submetidos a determinadas vazões e, durante períodos, estas vazões eram alteradas para avaliação dos efeitos do choque hidráulico. No caso de Chua *et al.* (1997) a vazão de operação era constante e foi alterada para uma outra também constante, porém mais elevada, por 7 dias para análise do choque hidráulico. Da mesma forma, Ribeiro *et al.* (2001), mantiveram a nova vazão de aplicação por 5 dias. No presente trabalho não houve manipulação das vazões afluentes aos reatores, as vazões foram espontâneas, com picos de poucos minutos, conforme ocorre em sistemas individuais de tratamento de esgoto (Metcalf & Eddy, 1991; Fernandes, 2012). A variação de vazão observada neste presente trabalho, apesar de mais intensa, ocorreu durante interstícios de tempo reduzidos, parecendo não ter alterado o equilíbrio entre os microrganismos integrantes do processo de digestão anaeróbia, tendo em vista que o sistema manteve-se equilibrado. Não foram observadas grandes variações de pH, sugerindo que os ácidos formados pelos microrganismos na digestão da matéria orgânica foram utilizados pelas bactérias metanogênicas.

Ademais, vale destacar que a carga orgânica afluyente é um importante fator que difere o sistema estudado da maioria dos casos analisados. A maior parte dos trabalhos referidos focam no tratamento de águas residuárias de indústrias, como por exemplo efluentes de indústrias alimentícias. Baseiam-se em reatores de filme fixo tratando esgotos sintéticos altamente concentrados, com concentração de DQO de mais de 3000 mg/L, enquanto que a concentração de DQO média de alimentação dos filtros no presente trabalho foi de 192 mg /L, cerca de 16 vezes menor - é importante lembrar que os filtros eram precedidos por um tanque séptico que certamente já removeu parte da matéria orgânica constituinte. Portanto, sob baixas cargas orgânicas, o efeito da carga hidráulica parece não ser significativo. Este resultado está de acordo com Camargo *et al.* (2001), que constataram que os filtros anaeróbios sofreram maior influência pela concentração de DQO no afluyente que pelas variações graduais no TDH. Além disso, estudo realizado por Andrade Neto *et al.* (2001) sobre o tratamento de filtros alimentados por efluente com DQO média de 215 mg/L mostrou que os reatores não só mantiveram a performance para diferentes TDH, como também até mostraram maior eficiência de remoção de matéria orgânica e de sólidos com o acréscimo da vazão. Segundo os autores, a melhor performance dos filtros, deve-se, certamente, ao acúmulo de lodo ativo nos interstícios, com o passar do tempo.

Neste presente trabalho, nas primeiras coletas realizadas, a eficiência de remoção de DBO_5 foram maiores no F1 em comparação com o F2, sugerindo que a limitação dos picos de vazão possivelmente facilitou a imobilização de biomassa no F1, aumentando a eficiência do tratamento. Conforme indicado na literatura (Escudié *et al.*, 2011), a partida de biorreatores mediante a aplicação de forças de cisalhamento menores permite a acumulação mais rápida de biomassa fixa no suporte. Entretanto, nas últimas coletas, ocorreu a inversão destes resultados, passando o F2 a ser o reator a apresentar maior eficiência. A redução da carga hidráulica deve ter interferido no controle da espessura do biofilme, favorecendo, possivelmente, a ocorrência de biofilmes mais espessos no F1. Como resultado, o F1 colmatou duas vezes mais do que o F2, no período de estudo. Este acúmulo reduz o volume efetivo do reator e diminui o número de biomassa ativa devido ao aumento de espaço morto no reator. Segundo Escudié *et al.* (2011), neste caso, parte do volume do reator pode funcionar como uma zona morta ou zona de água estagnada, com o líquido que flui através de vias preferenciais, diminuindo o tempo de detenção do substrato no reator, bem como o grau de contato entre substratos de entrada e as populações microbianas viáveis, afetando o desempenho do biorreator. Além disso, a ocorrência de biofilmes com espessura muito elevada prejudica o consumo do substrato ao longo do biofilme de forma que camadas mais internas se tornem deficientes de substrato, diminuindo a sua atividade e aderência com o meio suporte levando a biomassa a se desalojar (Von Sperling, 1996), podendo ter contribuído para a carga de matéria orgânica no efluente.

De forma semelhante à observada para DBO_5 , os valores de DQO obtidos no início da operação do sistema foram maiores e as maiores eficiências de remoção deste parâmetro foram obtidas nas últimas coletas realizadas, indicando o funcionamento adequado do sistema anaeróbio após o período de partida necessário.

Os valores de eficiências de remoção de DQO obtidos para os filtros nesta presente pesquisa foram semelhantes a resultados constatados por outros autores (Fernandes, 2012; Andrade Neto *et al.*, 2001).

Fernandes (2012) obteve valores de eficiência de remoção de DQO de 44%, 34% e 40% para filtros preenchidos com bucha vegetal, aparas de eletroduto corrugado e brita, respectivamente.

Andrade Neto *et al.* (2001), operando filtros anaeróbios preenchidos com eletroduto alimentados por efluente de tanque séptico, obtiveram valor médio de eficiência de remoção de DQO de 44%. Valor de remoção de 41% foi observado por Ávila (2005), na operação de filtro anaeróbio preenchido com brita N^o4 com altura 0.69m de altura de leito.

Com relação aos resultados de turbidez constatados, os dados obtidos mostram que desde o início do experimento a concentração deste parâmetro no efluente dos filtros foi menor que no afluente (efluente do tanque séptico). A média observada no ETS, 48 uT, foi cerca de duas vezes maior que as observadas nos filtros 1 e 2, que foram 24 e 26 uT, respectivamente. As eficiências de remoção de turbidez pelos filtros foram de 50% no F1 e 45% no F2. Estes valores foram maiores que os obtidos por Ávila (2005) em filtros anaeróbios preenchido com brita Nº 4 tratando efluente de tanque séptico, indicando funcionamento adequado do sistema. A autora obteve valores de eficiência de remoção de turbidez de 20%, 18%, 28% e 46% para alturas de leito de 0.69, 1.12, 1.68 e 2.09 m respectivamente.

Da mesma forma, os valores obtidos nesta pesquisa para eficiência de remoção de turbidez também foram superiores aos obtidos por Fernandes (2012), que constatou valores de 28%, 25% e 20%, para filtros preenchidos com bucha vegetal, brita e aparas de eletroduto corrugado, respectivamente, indicando o bom funcionamento do sistema.

No que se refere aos dados de sólidos sedimentáveis obtidos, percebe-se variação deste parâmetro no efluente do tanque séptico, entretanto, no efluente dos filtros 1 e 2 os seus valores foram geralmente nulos na maior parte das análises realizadas. Os filtros praticamente removeram todos os sólidos sedimentáveis. Resultado semelhante foi obtido por Andrade Neto *et al.* (2001) ao operarem um sistema de filtros anaeróbios alimentados por efluente de tanque séptico.

O percentual de remoção de sólidos sedimentáveis nos pontos F1 e F2 foram de 98% e 87%, respectivamente.

A variação na concentração de sólidos suspensos foi muito mais intensa que na de sólidos sedimentáveis, indicando que perdas de sólidos suspensos eram mais comuns. Além disso, foi observado que a variação deste parâmetro foi maior no F2 que no F1, podendo ser resultado de desprendimento de biomassa devido aos maiores picos de vazão aos quais o F2 esteve sujeito, diferentemente do F1, que tinha seus picos limitados pela CRPV.

Nota-se que a média dos dados de sólidos suspensos obtidos para o efluente do filtro 1 (38 mg/L) e para o filtro 2 (41 mg/L) estiveram próximas entre si, enquanto que a do efluente do tanque séptico (86 mg/L) esteve bem superior. Os percentuais de remoção de sólidos suspensos nos pontos F1 e F2 foram de 56% e 52%, respectivamente. Valores semelhantes de eficiência de remoção de sólidos suspensos foram obtidos por outros autores. Andrade Neto *et al.* (2001) constataram valor médio de 52% de eficiência de remoção ao operar um sistema de filtros anaeróbios alimentados por efluente de tanque séptico. Valor de 57% foi observado por Ávila (2005) em filtro anaeróbio preenchido com brita Nº 4, com altura do leito de 0.69m.

Destaca-se que nesta presente pesquisa foi constatado que mais de 90% dos SS eram SSV, indicando que o efluente era essencialmente orgânico.

Além disso, o mesmo comportamento observado nos dados de SS foi observado nos de SSV. Nota-se que a média dos dados de sólidos suspensos voláteis obtidos para o efluente do filtro 1 (36 mg/L) e para o filtro 2 (39 mg/L) estiveram próximas entre si, enquanto que a do efluente do tanque séptico (80 mg/L) esteve bem superior, cerca de duas vezes maior. Além disso, como também observado nas análises de SS, as observação dos dados de SSV mostram que a variação deste parâmetro foi mais intensa no F2 em comparação com o F1. O percentual de remoção de sólidos suspensos voláteis obtido pelos filtros foram de 55% e 51% para o filtro 1 e 2, respectivamente.

No que se refere à eficiência do tratamento, os dados obtidos para DBO₅, DQO, Turbidez, SS e SSV apresentaram diferença significativa entre o tanque séptico e cada um dos filtros ao serem submetidos a um tratamento estatístico utilizando análise de variância para um nível de significância de 5%, mostrando que a utilização de filtro anaeróbio no pós tratamento de tanque séptico melhora a qualidade do efluente. Por outro lado, para o mesmo nível de significância, o tratamento estatístico dos dados do F1 e do F2 mostra que a limitação dos picos de vazão não influenciou de forma significativa a eficiência do tratamento, no que se refere a estes dados estudados.

Obstrução dos Filtros

Ao longo do período de estudo ocorreram colmatações dos filtros tendo sido efetuada a descarga de fundo esvaziando-se parcialmente para desobstrução do leito sem perda significativa de biomassa. O entupimento do leito do F1 ocorreu aproximadamente numa frequência mensal. Como citado por Escudié *et al.* (2005), o principal problema desta tecnologia ainda é o entupimento do biorreator, e, de acordo com Escudié *et al.* (2011), para controle da quantidade de biofilme são indicados estudos da hidrodinâmica do reator, de modo a aumentar ou diminuir as forças de cisalhamento para controlar o crescimento do biofilme.

A limitação dos picos de vazão favoreceu a colmatação do leito do F1, tendo em vista que houve um total de 9 ocorrências de obstrução do leito deste filtro, cerca de duas vezes mais que o F2, no qual ocorreu um total de 4 obstruções do leito no período de estudo. A limitação dos picos de vazão proporcionada pela CRPV que antecede o F1 alterou o equilíbrio dinâmico entre o crescimento e o desprendimento do biofilme favorecendo a permanência no sistema de biofilmes espessos. As maiores forças de cisalhamento às quais o F2 estava sujeito parecem ter reduzido a espessura do biofilme, resultado este semelhante aos obtidos em outros trabalhos (Horn *et al.*, 2003; Xavier *et al.*, 2005; Paul *et al.*, 2012).

Conclusões

A inclusão da caixa reguladora de vazão antecedendo o filtro 1 proporcionou uma redução média dos picos de vazão de 48.6%. Porém, isto não influenciou significativamente a eficiência de remoção de DQO, DBO₅, SS, SSV e turbidez. Por outro lado, esta limitação dos picos de vazão resultou em um maior número de colmatações para o filtro com atenuação dos picos de vazão.

Desta forma, pode-se concluir que, apesar de a literatura relativa ao tema apontar para uma interferência da carga hidráulica sobre a eficiência do reator em casos de biomassas adaptadas a outro regime de vazão e biofiltros alimentados por cargas orgânicas mais elevadas que as estudadas nesta pesquisa, variações de vazão espontâneas decorrentes do uso de instalações sanitárias não influenciaram significativamente a eficiência do tratamento de filtros anaeróbios alimentados com concentração média de DQO de 192 mg/L.

Paralelamente, a inclusão da caixa reguladora ainda aumentou a ocorrência de obstrução do meio suporte, de modo que pode-se concluir que o uso do dispositivo regulador de picos de vazão não é necessário, podendo mesmo ser considerado indesejado em sistemas tanque séptico – filtro anaeróbio.

Referencias bibliográficas

- Andrade Neto, C.O., Melo, H.N.S., Lucas Filho, M. (2001) Filtros Anaeróbios com Fluxo Ascendente e Fluxo Descendente. Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos. Belo Horizonte: *Projeto PROSAB*, **2**, 185-192.
- APHA, AWWA, WEF, (1999). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20ª Ed. Washington.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1997) *NBR 13.969: Tanques Sépticos Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos Projeto, Construção e Operação*. Rio de Janeiro, 60 pp.
- Ávila, R.O. (2005) Avaliação do Desempenho de Sistemas Tanque Séptico-Filtro Anaeróbio com Diferentes Tipos de Meio Suporte. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) COPPE/UFRJ. 166 p. Rio de Janeiro.
- Azevedo Netto, J.M., Fernandez, M.F., Araújo, R., Ito, A.E. (1998) Manual de Hidráulica. 8.ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher.
- Borja, R., Banks, C.J. (1995) Response of an anaerobic fluidized bed reactor treating ice-cream wastewater to organic, hydraulic, temperature and pH shocks. *Journal of Biotechnology*, **39**(3), 251-259.
- Camargo, S.A.R., Nour, E.A.A., Coraucci Filho, B., Broleze, S.T. (2001) Desempenho de um filtro anaeróbio com enchimento de bambu para tratamento de esgotos sanitários à diferentes tempos de detenção hidráulico. In: *21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. João Pessoa, Brasil, v. 01.
- Chernicharo, C.A.L. (2007). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios. Vol. 5. 2. ed. Belo Horizonte. DESA/UFMG, 380 pp.
- Chua, H., Hu, W.F., Yu, P.H.F., Cheung, M.W.L. (1997) Responses of an anaerobic fixed-film reactor to hydraulic shock loadings. *Bioresour. Technol*, **61**, 79-83.
- Escudié, R., Conte, T., Steyer, J.P., Delgenès, J.P. (2005) Hydrodynamic and biokinetic models of an anaerobic fixed-bed reactor. *Process Biochemistry*, **40**(7), 2311-2323.
- Escudié, R., Cresson, R., Delgenès, J.P., Bernet, N. (2011) Control of start-up and operation of anaerobic biofilm reactors: An overview of 15 years of research. *Water Research*, N. 45, 1-10.

- Fernandes, W.V. (2012) *Uso da luffa cylindrica como meio suporte para crescimento bacteriano em filtro anaeróbio tratando esgotos domésticos*. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. UFPB. João Pessoa.
- Feng, H.-J., Hu, L.-F., Shan, D., Fang, C.-R., Shen, D.-G. (2008) Effects of temperature and hydraulic residence time (HRT) on treatment of dilute wastewater in a carrier anaerobic baffled reactor. *Biomedical and Environmental Sciences* **21**(6), 460-466.
- Florencio, L., Bastos, R.K.X., Aisse, M.M. (2006) Reuso das águas de esgoto sanitário inclusive desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esse fim. Projeto PROSAB. 427 p. Rio de Janeiro: ABES.
- Guiot, S.R., Van Den Berg, L. (1984) Performance and biomass retention of an upflow anaerobic reactor combining a sludge blanket and a filter. *Biotechnology Letters*, **6**(3), 161-164.
- Horn, H., Reiff, H., Morgenroth, E. (2003) Simulation of growth and detachment in biofilm systems under defined hydrodynamic conditions. *Biotechnology and Bioengineering*, **81**(5), 607-617.
- Metcalf & Eddy. (1991) *Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse*. 3ª.ed. Nova Iorque: McGraw - Hill, International Editions.
- Paul, E., Ochoa, J.C., Pechaud, Y., Liu, Y., Liné, A. (2012) Effect of shear stress and growth conditions on detachment and physical properties of biofilms. *Water Research*, **46**(17), 5499-5508.
- Ribeiro, N.J., Pires, O.C., Mota, M., Ferreira, E.C., Alves, M.M. (2001) Influence of up-flow velocity on the performance of an anaerobic filter under oleic acid overloads. *Biotechnology Letters*, **23**(22), 1833-1839.
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J. (2012) *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 4th ed. New York: W. H. Freeman.
- Stoodley, P., Cargo, R., Rupp, C.J., Wilson, S., Klapper, I. (2002) Biofilm material properties as related to shear-induced deformation and detachment phenomena. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol*, **29** (6), 361-367.
- Telgmann, U., Horn, H., Morgenroth, E. (2004) Influence of growth history on sloughing and erosion from biofilms. *Water Research*, **38**(17), 3671-3684.
- Von Sperling, M. (1996) *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Princípios básicos do tratamento de esgotos*. Vol. 2. 3ª.ed. Belo Horizonte. DESA/UFMG, 211 pp.
- Xavier, J.D., Picioreanu, C., Van Loosdrecht, M.C.M. (2005) A general description of detachment for multidimensional modelling of biofilms. *Biotechnolog*, **91**, 651-659.