

DESEMPENHO DE SISTEMA FILTRO ANAERÓBIO-SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO PARA O TRATAMENTO DAS ÁGUAS DO PROCESSAMENTO DOS FRUTOS DO CAFEIEIRO: I - REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA

Ronaldo Fia¹; Antonio T. de Matos²; Fátima R. L. Fia³; Edgar C. Abreu⁴; Felipe S. Nascimento⁴

¹ Engenheiro Agrícola e Ambiental, Pós-Doutorando em Engenharia Agrícola, DEA/UFV, ronaldo.fia@ufv.br.

² Engenheiro Agrícola, Professor Associado do Departamento de Engenharia Agrícola/UFV, atmatos@ufv.br

³ Engenheira Agrícola, Doutoranda em Engenharia Agrícola/UFV, fatima.luz@ufv.br

⁴ Graduandos em Engenharia Agrícola e Ambiental/UFV, edigard.abreu@ufv.br, felipskt@yahoo.com.br

RESUMO: Objetivou-se estudar no presente trabalho o desempenho de três sistemas de tratamento compostos por filtros anaeróbios seguidos de sistemas alagados construídos (SACs), submetidos a diferentes cargas orgânicas, no tratamento das águas residuárias do processamento dos frutos do cafeeiro (ARC). Os filtros foram confeccionados em PVC (1,5 m de altura e 0,35 m de diâmetro) e preenchidos com brita nº 2 e os SACs foram constituídos por caixas de madeira (1,5 m de comprimento, 0,4 m de altura e 0,5 m de largura) impermeabilizados por geomembrana de PEAD e preenchidos com brita “zero”. A ARC teve o pH corrigido com cal até valores próximos a 7,0 e a concentração de nutrientes alterada de forma a se obter uma relação DBO/N/P igual a 100/5/1. Como resultado, observou-se que a grande oscilação na carga hidráulica e orgânica fez com que os sistemas de tratamento utilizados neste trabalho operassem de forma instável. No entanto, os valores de pH afluente e efluente mantiveram-se dentro da faixa de valores adequados para que ocorresse a degradação biológica do material orgânico. Os sistemas não suportaram o choque de carga orgânica, o que reduziu a eficiência de remoção de matéria orgânica. Com base na análise de desempenho e nas condições operacionais empregadas, apenas o sistema que recebeu a menor carga orgânica, na terceira fase, foi eficaz na remoção de matéria orgânica.

Palavras-Chave: Filtros anaeróbios, sistemas alagados construídos, matéria orgânica, café.

PERFORMANCE OF ANAEROBIC FILTER SYSTEM-CONSTRUCTED WETLAND SYSTEM FOR TREATMENT OF WASTEWATER FROM COFFEE FRUIT PROCESSING I: REMOVAL OF ORGANIC MATERIAL

ABSTRACT: The objective of the present study was to evaluate the performance of three water treatment systems composed of anaerobic filters followed by constructed wetland systems (SACs), submitted to different organic loading for the treatment of wastewater from coffee fruit processing (ARC). The filters were constructed of PVC (1.5 m in height and 0.35 m in diameter) and filled with n. 2 crushed stone; SACs were constructed of wood boxes (1.5 m long, 0.4 m high and 0.5 m wide), made impermeable using a HDPE geomembrane and filled with “zero” crushed stone. The pH of the ARC was corrected with lime to values near 7.0 and nutrient concentration altered in order to obtain a BOD/N/P ratio equal to 500/5/1. It was observed that large oscillations in the hydraulic and organic loads made the treatment systems used in this work operated unstably. However, pH values of the affluent and effluent were maintained within the range of suitable values in order for biological degradation of organic material. The systems organic loading shocks which reduced organic removal efficiency. Based on the performance analysis and employed operational conditions, only the system which received the smallest organic load, in the third phase, effectively removed organic material.

Keywords: Anaerobic filters, constructed wetland systems, organic material, coffee.

INTRODUÇÃO

O Brasil colheu, em 2008, cerca de 46 milhões de sacas de café, e a primeira projeção para safra 2009 é de 38 milhões de sacas, estando essa produção concentrada na região sudeste do país, com destaque para os estados de Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo que, juntos, respondem por mais de 80% da produção nacional. A cafeicultura brasileira é uma das mais competitivas do mundo, posicionando o país em primeiro lugar no ranking mundial de produção e exportação de grãos (CONAB, 2009).

Diante de um mercado cada vez mais exigente, a busca por qualidade é, atualmente, uma das maiores preocupações nos diversos segmentos produtivos e, em especial, no agronegócio do café. A qualidade é essencial para o produto ganhar mercado e atender às novas exigências dos consumidores internos e externos. Em vista disso, o produtor brasileiro que quer dedicar-se a uma cafeicultura lucrativa deverá se especializar na produção de café de boa qualidade. Neste contexto, além de manter o potencial de qualidade do café recém-colhido, a lavagem e o processamento via úmida, em que, antes da secagem, o café é submetido às operações de descascamento, lavagem e degomagem ou retirada de parte da mucilagem, reduzem o custo energético de todo o processo. A lavagem e o processamento via úmida dos frutos do cafeeiro, apesar das inúmeras vantagens que apresentam, geram grande volume de águas

residuárias (ARC), com alto potencial poluente, necessitando de tratamento prévio antes do seu lançamento em cursos d'água (Matos & Lo Monaco, 2003).

Diversas pesquisas (Luiz, 2007; Bruno & Oliveira, 2008) enfocaram o tratamento destas águas em sistemas anaeróbios, os quais apresentam como vantagem o fato de requererem menor área. Entretanto, embora os processos anaeróbios de tratamento apresentem grande remoção de matéria orgânica biodegradável, com relativamente baixos custos, os seus efluentes não têm atendido as exigências da legislação ambiental, requerendo, nesses casos, pós-tratamento. Atualmente, diversos pesquisadores (Sousa *et al.*, 2000; Mant *et al.*, 2006; Mannarino *et al.*, 2006) vêm propondo o tratamento em sistemas “wetland” ou sistemas alagados construídos como alternativa de pós-tratamento de reatores anaeróbios.

Desta forma, no presente trabalho, objetivou-se estudar o desempenho de sistemas de tratamento compostos por filtros anaeróbios seguidos de sistemas alagados construídos (SACs), submetidos a diferentes cargas orgânicas, no tratamento das águas residuárias do processamento dos frutos do cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Área de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. Foram confeccionados três filtros anaeróbios, utilizando-se segmentos de tubo de PVC, de 0,35 m de diâmetro e comprimento de 1,5 m, com capacidade total de 139,5 L (Figura 1). Essas unidades foram preenchidas com meio suporte (brita de granito-gnaiss nº 2), perfazendo-se colunas de 1,0 m de altura sobre o fundo falso, o qual se encontrava distante a 0,2 m do fundo. Como inóculo, essencial para dar a “partida” nos reatores, foram utilizados 50 L de lodo proveniente do tanque anaeróbio de tratamento dos efluentes da suinocultura da UFV.

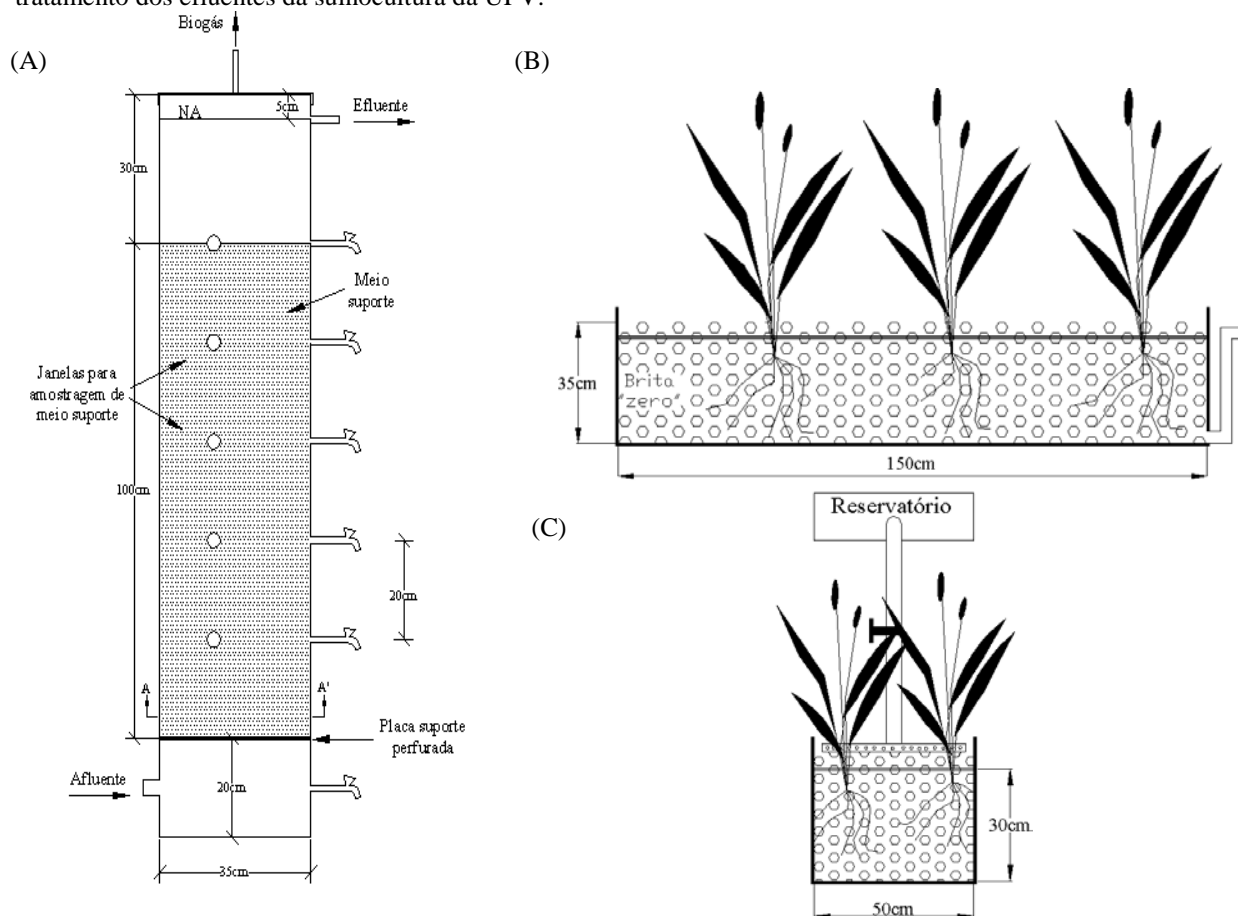


Figura 1. Esquema dos filtros anaeróbios (A) e corte longitudinal (B) e transversal (C) dos SACs.

Os efluentes dos três filtros (F_1 , F_2 e F_3) foram lançados respectivamente em três SACs (SAC_1 , SAC_2 e SAC_3) de escoamento subsuperficial horizontal, construídos em escala piloto, constituídos por caixas (0,4 m de altura x 0,5 m de largura x 1,5 m de comprimento) de madeira de pinus, impermeabilizadas por geomembrana de PEAD, posicionadas sobre o solo em declividade de $0,01 \text{ m m}^{-1}$ (Figura 1). Como meio suporte, utilizou-se brita nº “zero” (diâmetro $D_{60} = 7,0 \text{ mm}$ e volume de vazios inicial de $0,491 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Os SACs foram preenchidos com a brita até a altura de 0,35 m, deixando-se uma borda livre (não saturada) de 0,05 m, já que nível d’água foi mantido em 0,30 m. Em cada SAC, foi

plantada, nos primeiros 0,75 m do leito, a espécie alternantera (*Alternanthera phylloxeroides*) e nos últimos 0,75 m a taboa (*Typha* sp.).

O sistema foi operado sob temperatura ambiente e avaliado durante 130 dias, compreendendo os meses de junho a outubro, sendo divididos em três fases de operação, no tratamento da ARC, por períodos de 42, 46 e 42 dias, respectivamente. No período referente à partida do sistema, também denominada de primeira fase de operação, os filtros foram alimentados, simultaneamente, com o mesmo afluente (ARC diluída, na qual o pH foi corrigido com cal hidratada para valores próximos a 7,0). A partir da segunda fase, houve aumento diferenciado na carga orgânica aplicada nos filtros, tomando-se como referência a DQO. A aplicação da ARC em F₁ e F₂ foi feita de forma diluída, nas proporções de 50 e 75% (v/v), respectivamente, enquanto F₃ recebeu ARC sem diluição, sendo o tempo de residência hidráulica (TRH) mantido constante. A partir da segunda fase, além da correção do pH, fez-se a correção nutricional da ARC com uréia e superfosfato simples, para que se pudesse alcançar a proporção 100/5/1 de DBO/N/P. Na terceira fase, mantiveram-se as mesmas proporções de ARC na alimentação dos três filtros, entretanto, reduziu-se o TRH dos filtros e dos SACs pela metade.

Durante a primeira fase de condução do experimento, utilizou-se ARC proveniente da Área de Pré-processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas da UFV, produzida numa proporção de 5,5 litros de água para cada litro de fruto processado, pois não havia recirculação da água no processo. Na segunda e terceira fase de condução do experimento, a ARC foi proveniente do Sítio Jatobá, propriedade agrícola situada a 12 km da cidade de Viçosa, onde o consumo médio de água era de 2,5 L L⁻¹ de grãos processados, pois havia recirculação da água no processo. Os grãos eram lavados e descascados/despolidos, tendo parte da polpa removida. Os valores médios e desvio padrão das características operacionais dos filtros anaeróbios e dos SACs estão apresentados na Tabela 1.

Semanalmente, foram coletadas amostras afluentes e efluentes dos filtros e efluentes dos SACs para avaliação do pH; DBO, pelo método iodométrico; DQO, pelo método do refluxo aberto; e sólidos totais (ST), sólidos voláteis totais (SVT), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV), pelo método gravimétrico (APHA *et al.*, 1998). A temperatura do líquido foi acompanhada diariamente e obtida por meio de termômetro analógico de mercúrio.

Para efeito de análise estatística dos dados do monitoramento considerou-se um delineamento inteiramente ao acaso com três sistemas (F + SAC) e 3 fases e com o número de repetições igual ao número de amostragens. Procedeu-se, então, a análise de variância e as médias comparadas utilizando-se o teste de Tukey, adotando-se o nível de 10% de probabilidade.

Tabela 1. Características operacionais dos filtros anaeróbios e dos sistemas alagados construídos.

Fases	Variáveis	F ₁	SAC ₁	F ₂	SAC ₂	F ₃	SAC ₃
I	Q	0,052±0,018	0,048±0,005	0,053±0,020	0,049±0,004	0,049±0,023	0,049±0,008
	TRH	33,5±10,9	58,7±7,4	32,3±9,1	57,6±5,0	37,1±12,2	58,6±9,9
	COV	1,49±0,61	-	1,82±0,73	-	1,77±0,95	-
	TCO _A	-	1.058±586	-	805±280	-	798±409
II	Q	0,050±0,017	0,056±0,018	0,051±0,016	0,048±0,010	0,047±0,015	0,050±0,012
	TRH	35,1±12,8	54,4±13,7	34,2±11,5	61,0±13,4	37,2±12,2	59,5±14,2
	COV	5,60±2,26	-	8,30±2,55	-	12,99±6,84	-
	TCO _A	-	3.597±1.165	-	6.006±1.635	-	9.092±4.559
III	Q	0,031±0,011	0,027±0,007	0,029±0,007	0,023±0,005	0,032±0,011	0,025±0,005
	TRH	56,4±18,4	111,8±27,0	56,9±13,7	126,7±24,1	54,1±16,1	114,7±22,5
	COV	1,69±0,57	-	3,24±0,88	-	3,86±1,27	-
	TCO _A	-	1.507±213	-	2.2579±793	-	3.043±1.076

Q – vazão (m³ d⁻¹); TRH - tempo de residência hidráulica (h); COV – carga orgânica volumétrica (kg m⁻³ d⁻¹ de DQO); TCO_A – Taxa de carga orgânica tomada com base na área superficial (kg ha⁻¹ d⁻¹ de DQO). Foram coletadas 5 amostras em cada fase para cálculo da COV e TCO_A, a Q e o TRH foram monitorados diariamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema operou sob temperatura ambiente, que variou de 3,4 a 36,1 °C no período. Nas fases I, II e III, as temperaturas médias diárias do líquido foram de 17,6; 18,4 e 20,4°C, sendo esta faixa de temperatura considerada psicrófila para os microrganismos. A digestão anaeróbia na faixa psicrófila (0° a 20°C) é opção atrativa para o tratamento de despejos que possuam, como característica intrínseca, reduzida temperatura ou efluentes líquidos produzidos em períodos de baixas temperaturas ambiente, oferecendo vantagens técnicas e econômicas em relação aos tratamentos convencionais. A elevação da temperatura do efluente produzido em condições psicrófilas para condições mesofílicas ou termofílicas e sua manutenção nestas condições implicam no gasto de energia e, conseqüentemente, elevação nos custos de tratamento (Lettinga *et al.*, 2001). No entanto, em baixas temperaturas há necessidade de maior tempo de retenção da biomassa, reatores com maior volume e menores concentrações de matéria orgânica. Nestas temperaturas, a degradação dos ácidos graxos de cadeia longa, formados durante a digestão anaeróbia, é dificultada, sendo considerada um fator limitante do processo (Metcalf & Eddy, 2003). As variações de temperatura na água residuária podem afetar, também, o desempenho de tratamento em SACs, onde os processos biológicos são fortemente dependentes da temperatura, afetando a remoção de matéria orgânica solúvel e nitrogênio (Kadlec & Reddy, 2001).

Com relação à ocorrência de chuvas, foi registrada durante a fase experimental apenas uma precipitação de 15,4 mm, ocorrida no centésimo vigésimo primeiro dia após o início da condução do experimento, a qual não foi capaz de influenciar os resultados experimentais.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios de pH, DQO, DBO, ST, STV, SST e SSV afluentes (C_1 , C_2 e C_3) e efluentes dos filtros e dos SACs e, na Tabela 3, estão apresentados os valores médios de remoção de DQO, DBO, ST e SST no sistema filtro+SAC.

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão de DQO, DBO, ST, SVT, SST e SSV afluente e efluente dos filtros anaeróbios e dos sistemas alagados construídos.

FASE I							
	pH	DQO	DBO	ST	SVT	SST	SSV
C_1	6,69±0,43	1.985±908	1.292±474	2.487±1.642	1.597±1.600	166±139	152±137
F_1	7,05±0,49	1.430±657	1.019±505	1.763±617	919±532	56±43	39±49
SAC_1	7,21±0,38	748±409	473±382	1.344±354	460±267	34±8	19±6
C_2	6,80±0,45	2.109±943	1.401±509	2.610±1.125	1.704±991	135±82	122±70
F_2	7,07±0,42	1.248±388	965±300	1.873±598	886±279	61±41	44±30
SAC_2	7,25±0,31	824±389	537±317	1.371±742	544±227	25±21	11±15
C_3	6,81±0,59	2.140±955	1.183±408	3.036±2.711	2.202±2.819	126±83	114±78
F_3	6,98±0,37	1.267±628	722±366	1.867±500	887±390	97±53	76±42
SAC_3	7,36±0,59	736±487	384±283	1.474±702		30±13	21±12
FASE II							
Variáveis	pH	DQO	DBO	ST	SVT	SST	SSV
C_1	6,60±0,55	6.740±1.215	3.242±771	7.079±2.128	4.688±1.583	295±188	227±137
F_1	6,73±0,54	5.669±1.176	2.938±818	4.221±574	2.397±844	165±15	143±18
SAC_1	7,39±0,18	1.881±398	787±303	2.175±537	718±136	78±31	41±11
C_2	6,91±0,56	11.854±2.641	4.178±781	9.473±1.826	6.325±1.806	407±257	214±105
F_2	6,38±0,12	9.666±2.098	3.790±630	7.709±1.160	4.678±1.242	180±27	154±59
SAC_2	6,95±0,19	7.096±3.826	3.556±1.744	3.957±1.909	1.901±1.059	94±52	70±39
C_3	6,84±0,62	19.656±8.282	5.874±1.019	13.403±3.353	8.864±2.892	675±455	474±390
F_3	6,30±0,19	17.246±7.864	3.318±1.111	9.123±2.898	5.273±2.125	269±36	216±36
SAC_3	6,49±0,51	14.274±10.021	2.247±1.189	5.942±3.814	2.273±2.270	159±80	122±63
FASE III							
Variáveis	pH	DQO	DBO	ST	SVT	SST	SSV
C_1	7,45±0,61	4.253±730	2.500±1.241	2.660±501	1.396±184	170±19	124±20
F_1	7,74±0,12	1.669±1.081	1.336±1.105	1.841±754	736±408	87±33	63±32
SAC_1	7,71±0,26	587±323	359±283	1.306±457	284±63	48±22	16±10
C_2	7,82±0,17	6.946±523	3.250±972	5.530±697	3.022±562	81±40	41±11
F_2	7,35±0,37	5.549±1.312	2.772±874	3.659±597	2.471±878	102±22	67±15
SAC_2	7,84±0,11	1.786±1.066	1.355±1.144	2.116±466	696±247	61±29	33±18
C_3	7,87±0,22	9.230±1.255	4.399±1.012	6.870±1.780	3.622±713	92±27	44±12
F_3	7,13±0,51	7.828±1.303	1.617±1.337	4.316±1.404	2.597±411	134±43	63±32
SAC_3	7,50±0,23	5.940±2.789	1.085±879	3.802±1.345	1.869±1.014	89±38	45±22

DBO – demanda bioquímica de oxigênio; DQO - demanda química de oxigênio; ST - sólidos totais, SVT - sólidos voláteis totais; SST - sólidos suspensos totais; e SSV - sólidos suspensos voláteis.

Tabela 3. Eficiência (%) média de remoção e desvio padrão de DQO, DBO, ST, SVT, SST, SSV pelos sistemas filtro+SAC, nas três fases de operação do sistema.

Variáveis	F_1+SAC_1			F_2+SAC_2			F_3+SAC_3		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
DQO	55±35	70±10	85±9	57±28	40±32	75±13	59±32	22±45	32±35
DBO	57±37	73±18	86±8	57±27	12±52	61±28	65±22	6±49	39±30
ST	28±38	67±13	52±10	38±54	56±23	62±8	21±64	50±36	45±14
SST	63±31	67±17	72±13	81±14	74±15	24±23	66±21	67±30	0,9±42

DBO – demanda bioquímica de oxigênio; DQO - demanda química de oxigênio; ST - sólidos totais, e SST - sólidos suspensos totais.

As variações na vazão afluente (dados não apresentados) provocaram oscilações na estabilidade do sistema. Desta forma, não foram obtidas eficiências de remoção constantes, durante as três fases do experimento. Durante a primeira fase, as remoções médias de DQO e DBO foram semelhantes para os três sistemas ($P < 0,1$). Luiz et al. (2004), tratando águas residuárias do descascamento/despulpamento de frutos do cafeeiro, com concentrações de DQO total

média de 2.500 mg L^{-1} , em um sistema, em escala de bancada, composto por reator UASB de 11,7 L, TRH de 69 h e COV de $1,12 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO, seguido por lagoa aerada facultativa, obtiveram 80% de remoção de DQO. Silva & Campos (2005), tratando águas residuárias de descascamento/despulpamento de frutos do cafeeiro em um sistema de tratamento com reator UASB em escala de bancada (11,7 L), com TRH de 69 h e COV de $1,06 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO, seguido por lagoa aerada facultativa, com DQO afluente em torno de 3.250 mg L^{-1} , obtiveram eficiências de remoção de DQO total de 78%.

Com o aumento da carga orgânica aplicada na fase II, houve redução nas eficiências médias de remoção de DBO e DQO nos sistemas $F_2+\text{SAC}_2$ e $F_3+\text{SAC}_3$. Bello-Mendoza & Castillo-Rivera (1998) obtiveram redução drástica na eficiência de seu reator anaeróbio (22%) quando aumentou a COV de 1,89 para $2,59 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ de DQO. Entretanto, não foi observada redução na eficiência de $F_1+\text{SAC}_1$. Apesar do aumento da carga orgânica neste sistema, os valores aplicados, provavelmente, não foram suficientes para causar desestabilização do sistema. Em sistemas de tratamento adaptados ao efluente a ser tratado, o aumento na carga orgânica aplicada leva a aumento nas taxas de remoção de matéria orgânica. Jing *et al.* (2002), no tratamento de esgoto doméstico em SACs, encontraram relação próxima à linearidade entre o aumento da carga ($62 - 149 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de DQO) e aumento nas taxas de remoção de matéria orgânica (76 a 89%). Também em SACs utilizados no tratamento de águas provenientes do processamento do couro, Calheiros *et al.* (2007) obtiveram relação linear entre a carga aplicada ($332 \text{ a } 1.602 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de DQO) e a eficiência obtida (54 a 73%).

Houve tendência de recuperação dos sistemas de tratamento na fase III e isto foi devido ao aumento do TRH e, conseqüente, redução da COV aplicada. Além disso, houve redução da DQO da ARC utilizada para alimentar os filtros, devido ao período de armazenamento. Durante a terceira fase, $F_1+\text{SAC}_1$ apresentou eficiências médias de remoção de DQO e DBO consideradas razoáveis para sistemas com elevada carga e sob condições psicrófilas e estatisticamente diferentes dos demais ($P < 0,1$). Brasil *et al.* (2005), utilizando SACs no tratamento de esgoto doméstico pré-tratado em tanque séptico, obtiveram eficiências médias de remoção de DQO de 87%. No entanto, as cargas orgânicas aplicadas aos SACs foram bem menores que aquelas aplicadas neste trabalho, sendo a média igual a $285 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de DQO.

Durante a fase I, por se tratar de um período de adaptação do sistema, há arraste de lodo tanto pela instabilidade da vazão, quanto pela maior quantidade de células microbianas ainda não aderidas ao material suporte. A maior turbulência provoca maior deslocamento e remoção do biofilme, implicando em maior teor de sólidos na fase líquida e, provavelmente, maior teor de substâncias poliméricas extracelulares.

A perda de sólidos, observada nas três fases, pode ser também justificada, pela lavagem de biomassa, em razão de variações repentinas de carga hidráulica e pela menor decantabilidade dos sólidos, sob baixa temperatura, dado que a viscosidade do fluido mantém-se alta, o que acarreta menor velocidade de sedimentação da biomassa produzida, especialmente de microrganismos com crescimento suspenso (Lettinga *et al.*, 2001).

Luiz (2007), operando filtros anaeróbios para tratamento de ARC e TRH médio de 36,2 h, obteve menores eficiências médias de remoção de ST (17 a 31%), enquanto em relação a SST a variação na remoção média foi de 44 a 54%, nas duas últimas fases do seu trabalho. Segundo Lettinga *et al.* (2001), os filtros anaeróbios possuem desempenho razoável quanto à eficiência de remoção de sólidos suspensos, quando são aplicadas pequenas cargas de sólidos.

Houve significativa redução na concentração de SST na ARC lançada no sistema de tratamento, causada pela adição da cal, o que levou a coagulação/floculação do material particulado em suspensão, proporcionando a sedimentação dessas partículas e conseqüente clarificação da ARC. Na terceira fase, a redução nas eficiências de remoção dos sólidos em alguns sistemas pode ter sido ocasionada pela saturação do sistema e, também, devido ao corte dos vegetais, o que pode ter causado a senescência de parte do sistema radicular vegetal, sendo estas carregadas para fora do sistema (Fia *et al.*, 2008). Além disso, com o aumento do tempo de operação dos SACs ocorre a geração de material particulado advindo dos fragmentos e detritos produzidos pelas partes submersas e aéreas das plantas, o mesmo acontecendo com os microrganismos presentes no meio (Hussar, 2001). Segundo Brasil *et al.* (2005), parte dos sólidos em suspensão será incorporado à massa microbiana desenvolvida no meio, outra parte será acumulada no SAC, e provavelmente os sólidos remanescentes no efluente não são parte daqueles lançados no sistema, mas, certamente, são materiais convertidos ou produzidos no meio. As reduções nas eficiências de remoção de sólidos com o tempo podem estar associadas à degradação do material orgânico acumulado que, tal como relatado por Bavor *et al.* (1989), apresenta ciclo sazonal nos processos de acumulação e liberação de sólidos.

O sistema $F_1+\text{SAC}_1$ obteve, na Fase III, eficiência média de remoção de DQO e DBO acima de 85%, o que atende a legislação ambiental para disposição de efluentes em cursos d'água, desde que não altere a qualidade do corpo receptor. (COPAM, 2008). No entanto, vale ressaltar que este foi o primeiro trabalho realizado, no qual se utilizou sistemas compostos por filtros anaeróbios seguidos por SACs no tratamento da ARC e que os resultados mostram-se promissores, principalmente aqueles obtidos no sistema $F_1+\text{SAC}_1$. Anteriormente, somente trabalhos relacionados à digestão anaeróbia e à disposição destas águas no solo eram encontrados na literatura. Com os resultados obtidos neste trabalho, fica evidente a necessidade de se aumentar o TRH dos sistemas, para se aumentar a eficiência de remoção de matéria orgânica e, conseqüentemente, produzir efluentes em condições de serem dispostos no ambiente, visto que a diluição de águas residuárias para favorecer o seu tratamento não é permitida. Desta forma, pesquisas complementares devem ser desenvolvidas a fim de se obter parâmetros de projetos para o tratamento dessas águas residuárias.

CONCLUSÕES

O aumento nas taxas de carga orgânica aplicadas aos sistemas, proporcionou decréscimo na eficiência de remoção desta nos sistemas avaliados. Os tempos de residência hidráulica superiores a 160 h, em todos os sistemas de tratamento, durante a fase III, proporcionaram maiores eficiências na remoção de DQO e DBO, quando comparados aos tempos de residência hidráulica de, aproximadamente, 90 horas aplicado, nas fases I e II do experimento, exceto para o sistema F₃+SAC₃. Entretanto, nem mesmo o tempo de residência hidráulica de aproximadamente 160 horas foi suficiente para produzir efluentes no F₂+SAC₂ e F₃+SAC₃ que atendessem aos padrões de lançamento em corpos hídricos receptores, em conformidade com a legislação ambiental do Estado de Minas Gerais.

O sistema F₁+SAC₁, que recebeu a menor carga orgânica, apresentou desempenho satisfatório no que se refere à remoção de matéria orgânica atendendo, em parte, a legislação ambiental do Estado de Minas Gerais. As maiores eficiências na remoção de DBO e DQO foram, respectivamente, de 85 e 86%, na fase III.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA [AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION]; AWWA [AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION]; WEF [WATER ENVIRONMENT FEDERATION]. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th. ed. Washington. D.C.: APHA/AWWA/WEF, 1998, [s.n.].
- BAVOR, H.J.; ROSER, D.J.; FISHER, P.J.; SMALLS, I.C. Performance of solid matrix wetland systems viewed as fixed-film bioreactors. In: Hammer, D.A. (ed.). **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**. Chelsea: Lewis Publishers, p.646-656, 1989.
- BELLO-MENDOZA, R.; CASTILLO-RIVERA, M.F. Start-up of an anaerobic hybrid UASB/filter reactor treating wastewater from a coffee processing plant. **Anaerobe**, v. 4, p.219-225, 1998.
- BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES; A.A.; FERREIRA, P. A. Qualidade de efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.133-137, 2005.
- BRUNO, M.; OLIVEIRA, R.A. Tratamento anaeróbio de águas residuárias do beneficiamento de café por via úmida em reatores UASB em dois estágios. **Eng. Agríc.**, v.28, n.2, p.364-37, 2008.
- CALHEIROS, C. S. C.; RANGEL, A. O. S. S.; CASTRO, P. M. L. Constructed wetland systems vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater. **Water Research**, v.41, p.1790-1798, 2007.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Café Safra 2009**, primeira estimativa, janeiro/2009. Brasília: CONAB, 2009. 15p.
- COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1**, de 05 de Maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Acesso em: 16 jun. 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>.
- FIA, R.; MATOS, A.T., FERREIRA, P.A.; PEREIRA, P.E.; SCHUERY, F.C.; LUIZ, F.A.R. Desempenho agrônomico da *Thypha* sp. e *Alternanthera philoxeroides* Mart. utilizadas no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro em sistema alagado construído. **Engenharia na Agricultura**, v.16, n.4, p.436-448, 2008.
- HUSSAR, G.J. **Avaliação do desempenho de leitões cultivados no tratamento de águas residuárias de suinocultura**. Campinas: FEAGRI-UNICAMP, 2001. 118 p. (Dissertação de Mestrado).
- JING, S-R.; LIN, Y-F.; WANG, T-W.; LEE, D-Y. Microcosm wetlands for wastewater treatment with different hydraulic-loading - rates and macrophytes. **J. Environ. Quality**, v.31, p.690-696, 2002.
- KADLEC, R.H., REDDY, K.R. Temperature effects in treatment wetlands. **Water Environment Research**, v.73, p.543-547, 2001.
- LETTINGA, G.; REBAC, S.; ZEEMAN, G. Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment. **TRENDS in Biotechnology**, vol.19, n.9, p.363-370, 2001.
- LUIZ, F.A.R. **Desempenho de reatores anaeróbios de leito fixo no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro**. Viçosa: UFV, 2007. (Dissertação de mestrado).
- LUIZ, F.A.R.; CAMPOS, C.M.M.; CARMO, A.C. Partida de um reator UASB em escala laboratorial tratando efluente líquido proveniente do despolpamento do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33, CONBEA. São Pedro – SP, 2004. **Anais...** São Pedro – SP, 2004. (CD-ROM).
- MANNARINO, C.F.; FERREIRA, J.A.; CAMPOS, J.C.; RITTER, E. Wetlands para tratamento de lixiviados de aterros sanitários – experiências no aterro sanitário de Piraí e no aterro metropolitano de Gramacho (RJ). **Eng. sanit. ambient.** v.11, n.2, p.108-112, 2006.
- MANT, C.; COSTA, S.; WILLIAMS, J.; TAMBOURGI, E. Phytoremediation of Chromium by Model Constructed Wetlands. **Bioresour. Technol.**, v.97, n.15, p.1767-1772, 2006.
- MATOS, A.T.; LO MONACO, P.A. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro**. Viçosa: AEA-MG/DEA. 2003. 68p. (Boletim técnico).
- METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, Inc. 2003, 1819p.

- SILVA, B. A.; CAMPOS, C. M. M. Tratamento anaeróbio de efluentes líquidos gerados no beneficiamento úmido do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34, CONBEA. Canoas – RS, 2005. **Anais...** Canoas – RS, 2005. (CD-ROM).
- SOUSA, J.T.; VAN HAANDEL, A.C.; COSENTINO, P.R.S.; GUIMARÃES, A.V.A. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “wetlands” construídos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.87-91, 2000.
- VON SPERLING. M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005. 452p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.1).