

DESEMPENHO AGRONÔMICO DA *Typha* sp. E *Alternanthera philoxeroides* Mart UTILIZADAS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA LAVAGEM E DESCASCAMENTO/DESPOLPA DOS FRUTOS DO CAFEIEIRO EM SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO

Ronaldo Fia¹, Antonio Teixeira de Matos², Paulo Afonso Ferreira³, Pedro Emílio Pereira Teodoro⁴, Filipe Cruz Schuery⁴, Fátima Aparecida Resende Luiz⁵

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo estudar o desempenho agronômico da taboa (*Typha* sp.) e da alternantera (*Alternanthera philoxeroides* Mart) assim como a remoção de nutrientes por estas espécies, quando cultivadas em sistemas alagados construídos de escoamento subsuperficial horizontal (SACESFs), utilizados no tratamento das águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro (ARC). Para isso, foram quantificadas as seguintes variáveis, na água residuária: nitrogênio, fósforo, potássio e compostos fenólicos, bem como no tecido vegetal, os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e sódio. As plantas cultivadas não se adaptaram às condições de exposição a altas cargas orgânicas e de nutrientes, não apresentando bom desempenho agronômico em termos de produtividade de matéria seca e extração de nutrientes, exceto aquelas cultivadas no SAC^F₁ (SACESF que recebeu ARC diluída 50% (v/v) com correção de pH e nutrientes e após passar por digestão em filtro anaeróbico). A taboa extraiu, aproximadamente 0,58, 5,55 e 1,30% de todo o N, P e K aplicado no SAC^F₁. A alternantera foi a espécie vegetal que apresentou maior capacidade extratora de nutrientes, chegando a extrair aproximadamente 4,6, 28,8 e 9,1% de todo o N, P e K aplicado no SAC^F₁.

Palavras-chave: águas residuárias, café, sistemas alagados construídos, taboa, alternantera.

ABSTRACT

Agronomic Performance Of *Typha* Sp. And *Alternanthera Philoxeroides* Mart Used For Treatment Of Wastewater From The Washing And Pulping/Husking Of Coffee Cherries Under Constructed Wetland System

This study was done to evaluate the agronomical performance of and nutrient removal by macrophyte (*Typha* sp.) and alternantera (*Alternanthera philoxeroides* Mart) grown in subsurface flow constructed wetlands (SACESFs), used in the treatment of wastewater from the coffee cherry processing (ARC). The pH, N, P, K and phenolic compounds of the ARC were determined while the macronutrients (N, P, K, Ca, Mg) and sodium were quantified in the aerial plant mass. In general the development and adaptation of macrophyte was poor, in terms of dry matter yield and nutrient extraction, except that grown in SAC^F₁ (SACESF received diluted ARC 50% (v/v), with corrected pH and nutrients after digestion in an anaerobic filter). The macrophyte removed about 0.58, 5.55 and 1.30% of the N, P and K from the SAC^F₁, while alternantera removed higher quantities of nutrients, e.g. about 4.6, 28.8 and 9.1% N, P and K.

Keywords: coffee wastewater, coffee, constructed wetland, cattail, alligator weed.

Recebido para publicação em 27.06.2008

¹ Engenheiro Agrícola e Ambiental, Pós-doutorando em Engenharia Agrícola/UFV, E-mail: rfia@vicosa.ufv.br

² Engenheiro Agrícola, Professor do Departamento de Engenharia Agrícola/UFV, E-mail: atmatos@ufv.br

³ Engenheiro Agrônomo, Professor do Departamento de Engenharia Agrícola/UFV

⁴ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental/UFV

⁵ Engenheira Agrícola, Doutoranda em Engenharia Agrícola/UFV

INTRODUÇÃO

O café é um produto agrícola cujo cultivo é de grande importância socioeconômica para o Estado de Minas Gerais e para o Brasil, tanto em relação ao mercado de trabalho como na disponibilização de empregos diretos e indiretos, na fixação de mão-de-obra no meio rural e na geração de impostos (SILVA, 1999). Quanto melhor a qualidade dos grãos de café melhor será a bebida produzida e isso determinará seu preço no mercado e a aceitação do produto no comércio internacional. No entanto, o Brasil pouco participa do mercado mundial de cafés especiais, mercado em grande crescimento. A qualidade dos grãos é, por sua vez, determinada por cuidados da pré-colheita dos frutos até a torrefação dos grãos (RIGUEIRA *et al.*, 2007).

A qualidade do café é alcançada, em parte, com a operação de lavagem e separação dos frutos. Nas operações unitárias realizadas durante o preparo dos frutos do cafeeiro por via úmida, obtêm-se cafés descascados, gerando-se, em média, de acordo com Rolz *et al.* (1982), *apud* Aranda-Delgado & Barois (1999), 4 toneladas de água residuária para produção de 1 tonelada de frutos processados. A água residuária (ARC), constituída pelas águas provenientes de todas as operações de pré-processamento e do processamento é, dentre todos os resíduos, o que provoca maior impacto ao ambiente. Possui grande quantidade de sólidos e açúcares e outros materiais orgânicos solúveis (MATOS *et al.*, 2006). Logo, lançar estas águas residuária diretamente no meio ambiente, torna-se prática inadequada, além de caracterizar uma agressão à harmonia do meio ambiente (Campos, 1993 *apud* MATOS *et al.*, 2003a; MATOS & LO MONACO, 2003).

Existe pouca informação sobre métodos e variáveis de projeto de sistemas de tratamento das águas residuárias provenientes do processamento dos frutos do cafeeiro. Dentre os sistemas frequentemente empregados no tratamento de águas residuárias agroindustriais podem ser citados os sistemas alagados construídos (MATOS *et al.*, 2008; FREITAS, 2006). O uso de sistemas alagados construídos tem sido proposto como um método de tratamento para efluentes líquidos, devido a sua grande capacidade de reduzir a carga orgânica e substâncias tóxicas (GOPAL, 1999). Os baixos custos de implantação e operação, aliados à tecnologia relativamente simples, também são fatores que têm contribuído para a utilização

crescente dos sistemas alagados em diversas partes do mundo (Mulamootil *et al.*, 1998, *apud* MANNARINO *et al.*, 2006).

Os sistemas alagados são artificialmente projetados para utilizar plantas aquáticas (macrófitas) em substratos (como areia, solo ou brita), onde ocorre a formação de biofilme que agrega populações variadas de microrganismos que, por meio de processos biológicos, químicos e físicos, possibilitam o tratamento das águas residuárias, podendo ser classificados como tratamento secundário (SOUZA *et al.*, 2000; MATOS *et al.*, 2003b).

Seidel, na Alemanha, e Volverton, nos Estados Unidos, apresentaram os primeiros resultados decorrentes do uso de plantas aquáticas vasculares na depuração de águas servidas de origem doméstica e industrial por volta de 1955 (BLAKE, 1982). Neste trabalho, os autores observaram que as plantas do gênero *Spiricus*, *Typha* e *Phalaris* apresentaram propriedades depuradoras úteis no controle da carga poluidora de águas residuárias.

A vegetação implantada nesses tanques construídos atua como extratora de macro e micronutrientes necessários ao seu crescimento, além de facilitar a transferência de gases (O₂, CH₄, CO₂, N₂O e H₂S) entre a atmosfera e o solo líquido, permitindo a formação de sítios aeróbios em torno de rizomas e raízes. Estas plantas também favorecem o desenvolvimento dos filmes biologicamente ativos que propiciam a degradação dos compostos orgânicos, depurando o meio (MARQUES, 1999).

Há muitos registros na literatura de estudos e experiências de utilização de sistemas alagados naturais ou construídos na remoção de nutrientes e contaminantes de esgotos urbanos e industriais. Os resultados desses trabalhos são bastante variáveis em função, basicamente, dos tipos de espécies químicas presentes nesses efluentes, da carga dos mesmos ao sistema alagável e do tipo de sistema alagado utilizado (SALATTI, 2003). No entanto, ainda são escassos os dados com relação à aplicabilidade desse sistema no tratamento da ARC, tomando-se desejável o aprimoramento de tecnologias com vistas à otimização desses sistemas de tratamento.

No presente trabalho, teve-se como objetivos estudar o comportamento agrônomico e a extração de nutrientes pela *Typha* sp. e pela *Alternanthera philoxeroides* Mart, no tratamento da ARC em sistemas alagados construídos.

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 (UFV), Viçosa-MG, com coordenadas geográficas de 20° 45' de latitude sul, 42° 45' de longitude oeste, e altitude de 650 m.

O experimento foi constituído por nove Sistemas Alagados Construídos, doravante denominados Sistemas Alagados de Escoamento Subsuperficial Horizontal (SACESF), para tratamento das águas residuárias do processamento dos frutos do cafeeiro. Os leitos, construídos em escala piloto, foram constituídos por caixas de madeira de pinus, impermeabilizadas internamente com geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD), com 0,5 mm de espessura, nas dimensões de 0,4 m de altura x 0,5 m de largura x 1,5 m de comprimento, assentadas sobre o solo, em declividade de 0,01 m m⁻¹. Como meio suporte, utilizou-se brita “zero” (diâmetro D-60 = 7,0 mm, coeficiente de uniformidade - CU D60/D10 = 1,6 e volume de vazios inicial de 0,491 m³ m⁻³). Os SACESFs foram preenchidos com a brita até a altura de 0,35 m, deixando-se uma borda livre de 0,05 m. O nível d'água foi mantido a 0,05 m abaixo da superfície do material suporte

Para o plantio da vegetação, os SACESFs foram saturados com esgoto doméstico e água residuária da suinocultura diluída em água do sistema de abastecimento da UFV, na proporção 10/10/80 (v/v/v), respectivamente. Em cada SACESF, implementou-se, nos primeiros 0,75 m,

a espécie alternantera (*Alternanthera philoxeroides* Mart) e nos últimos 0,75 m a taboa (*Typha* sp.). No que se refere à taboa, foram utilizados propágulos vegetativos (rizomas) cujo tamanho variou de 0,30 a 1,0 m de comprimento, retirando quase todo o sistema radicular e a parte aérea. No caso da alternantera, foram plantados segmentos de caule com quatro nós, sendo retiradas quase todas as folhas das plantas. Os segmentos de caule foram introduzidos no substrato (0,10 m), ficando parcialmente cobertos com pequena camada de brita. A densidade de plantio foi de 16 propágulos por m² (6 propágulos por SACESF) para taboa e de 21,3 propágulos por m² (8 propágulos por SACESF) para alternantera.

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 fases de condução do experimento, a ARC foi proveniente do Sítio Jatobá, propriedade agrícola situada a 12 km da cidade de Viçosa. O transporte da ARC foi realizado por meio de um carro-pipa, a cada quinze dias, sendo a água residuária armazenada em um reservatório, situado próximo ao experimento. O consumo médio de água no Sítio Jatobá era de 2,5 L L⁻¹ de grãos processados, pois havia recirculação da água no processo. Os grãos eram lavados e descascados/despulpados, tendo parte da polpa removida. As variações nas principais características da ARC ao longo de todo período experimental estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Valores médios das principais características da ARC utilizada durante as três fases* de monitoramento do sistema

Variáveis	Fases		
	I (42 dias)	II (46 dias)	III (42 dias)
pH	4,0±0,4	3,7±0,2	4,2±0,4
DQO (mg L ⁻¹)	12.241±8.100	20.770±3.034	10.151±2.191
DBO (mg L ⁻¹)	7.475±7.044	10.186±2.350	4.912±1.356
Compostos fenólicos (mg L ⁻¹)	75,8±29,4	123,6±34,1	79,5±9,4
N (mg L ⁻¹)	120±58	208±69	122±20
P (mg L ⁻¹)	14,6±5,1	21,3±4,1	9,2±2,9
K (mg L ⁻¹)	310±3,2	488±3,0	406±0,4

Em cada fase foram realizadas cinco amostragens para realização das análises.

Após dois meses de implantação do sistema, iniciou-se a aplicação da ARC, sendo o experimento conduzido em três fases.

Na fase I, considerada fase de adaptação do sistema à ARC, aplicou-se ARC diluída SACESFs. Nesta fase, três SACESFs receberam ARC diluída, três receberam ARC diluída e com correção de pH (elevação do pH até próximo de 7,0); e nos três últimos SACESFs, aplicou-se os efluentes de filtros anaeróbios, os quais foram alimentados com ARC diluída e correção de pH.

Na segunda fase, aumentou-se a carga orgânica aplicada, sendo o sistema conduzido por três vias (Figura 3.3):

1 – A ARC foi lançada diretamente nos SACESFs, em três concentrações diferentes: 50% v/v, 75% v/v e 100%, sendo os três SACESFs denominados SAC₁, SAC₂ e SAC₃, respectivamente.

2 – A ARC recebeu correção com cal hidratada (Ca(OH)₂) até pH aproximadamente 7 e correção nutricional (DBO/N/P = 100/5/1) e foi lançada em três concentrações: 50% v/v, 75% v/v e 100%, sendo os três SACESFs denominados SAC^{*}₁, SAC^{*}₂ e SAC^{*}₃, respectivamente.

3 – A ARC recebeu correção com cal hidratada até pH aproximadamente 7 e correção nutricional (DBO/N/P = 100/5/1) e foi aplicada em filtros anaeróbios, em três concentrações: 50% v/v, 75% v/v e 100%; sendo posteriormente os efluentes lançadas nos SACESFs, respectivamente denominados SAC^F₁, SAC^F₂ e SAC^F₃, como pós-tratamento.

Na fase III, procedeu-se da mesma forma que na fase II, com exceção do tempo de residência hidráulico (TRH) que foi aumentado em duas vezes.

Para diluição da ARC, utilizou-se água do sistema de abastecimento da Universidade. A correção do pH se deu por meio da adição de cal hidratada (Ca(OH)₂), e a correção nutricional pela adição de uréia e superfosfato simples de modo a conseguir uma relação

DBO/N/P de 100/5/1, ideal para o tratamento biológico de efluentes (JORDÃO & PESSOA, 1995)

Ao final de cada fase, foi realizado o corte dos vegetais, a fim de se avaliar a produtividade e os teores de nutrientes na parte aérea da vegetação. As amostras foram colocadas em sacos de papel e levadas à estufa, sob temperatura de 65°C, com circulação de ar, até atingir massa constante (pré-secagem). Em seguida, as amostras foram trituradas em moinho e armazenadas para posterior quantificação do conteúdo de matéria seca e realização da análise nutricional. Parte da amostra triturada foi retirada e colocada em estufa, sob temperatura de 103-105°C, até ser atingida constância na massa, retirando-se, assim, a água residual e, com isso, obtendo-se a matéria seca total, em cada tratamento. Além da matéria seca, nos vegetais, foram quantificados os teores de N, P, K, Na, Ca e Mg seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1999).

A quantificação dos aportes de nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) foi obtida por meio de valores de concentrações determinadas no afluente ao sistema, feitas em 15 amostragens, realizadas semanalmente e depois multiplicadas pelos volumes de afluentes diários, que foram determinados por medições diretas. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água e Química dos Resíduos do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os SACESFs operaram, nas fases I, II e III, numa faixa de temperatura considerada psicrófila (inferiores a 20°C). Para as respectivas fases, as temperaturas médias diárias do líquido foram iguais a 17,6; 18,4 e 20,4°C, sendo os extremos mínimos e máximos registrados de 13,8 e 24,4°C.

Nenhuma das espécies avaliadas (*Typha* sp e *Alternanthera philoxeroides* Mart) apresentaram problemas de adaptação nos SACESFs, antes de serem submetidas a aplicação da ARC. No entanto, o desenvolvimento foi lento, o que se deve provavelmente ao fato do plantio ter sido feito próximo ao início do inverno (mês de abril e maio). Com a adição da ARC, mesmo diluída (fase I), houve amarelecimento de parte do tecido vegetal, no entanto não houve senescência das espécies. Com o início da segunda fase e a aplicação diferenciada das cargas orgânicas, houve amarelecimento acentuado do tecido foliar vegetal, sendo que as espécies cultivadas nos SACs, SAC^{*}₂, SAC^{*}₃ e SAC^F₃ apresentaram morte de toda a parte aérea. Com a redução da carga orgânica aplicada na fase III, houve tendência de rebrotamento das espécies nos SAC^{*}₁ e SAC^F₁ e SAC^F₂, embora continuasse a aparecer os sintomas de fitotoxicidade (folhas amareladas). Mesmo assim, houve comprometimento da produção de matéria seca, que favorece a absorção de nutrientes presentes na água residuária.

Na Figura 1, estão apresentados os valores médios da produtividade de matéria seca da taboa e da alternantera, em t ha⁻¹, cultivadas nos SACESFs, nas três fases experimentais.

O aumento das cargas orgânicas aplicadas aos SACESFs afetou a produção de matéria seca, tanto da taboa quanto da alternantera. No primeiro corte, a biomassa obtida foi àquela acumulada durante a fase de implantação, época em que se realizou o plantio e a adição de esgoto doméstico mais dejetos suíno diluídos (45 dias), e na fase I (42 dias), quando foi aplicada ARC diluída nos sistemas. Durante a fase II (46 dias) houve comprometimento na produção de biomassa vegetal, devido às altas cargas orgânicas aplicadas e a conseqüente fitotoxicidade da ARC aplicada. No entanto, destacam-se as produções obtidas nos SAC^{*}₁, SAC^{*}₂, SAC^F₁, SAC^F₂ e SAC^F₃. Na fase III (42 dias) observou-se recuperação na produtividade ou aumento na produção de matéria seca da taboa, nos SAC₁, SAC^{*}₁ e SAC^F₁, e da alternantera, nos SAC^{*}₁, SAC₂, SAC^F₂, SAC^F₃. Nos SAC₃ e SAC^{*}₃, houve morte de todas as plantas.

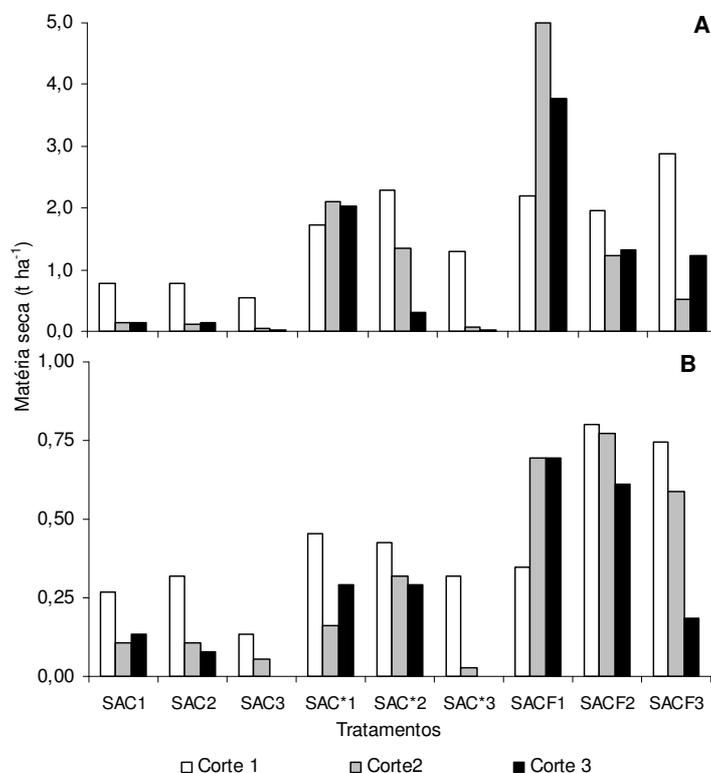


Figura 1. Valores médios da produtividade de matéria seca da alternantera (A) e da taboa (B) cultivadas nos SACESFs, obtidos nos três cortes realizados

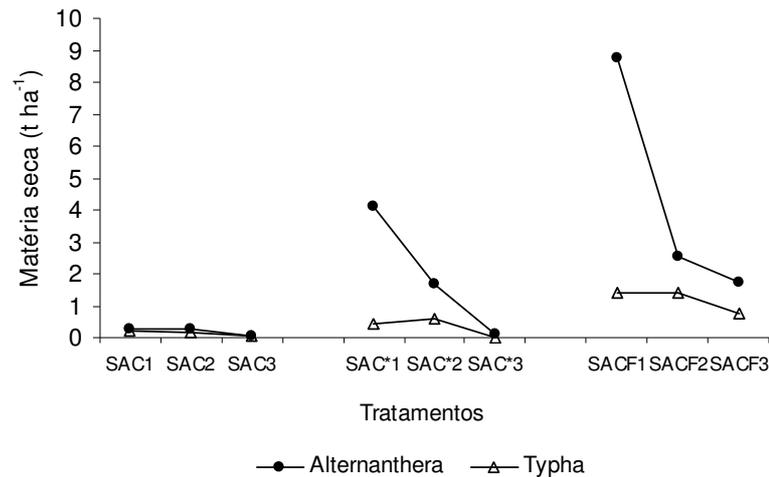


Figura 2. Valores médios da produtividade de matéria seca obtidos nos cortes 2 e 3, evidenciando o efeito da carga orgânica aplicada sobre a produção de matéria seca, dentro do mesmo tratamento

Freitas (2006) obteve produtividades médias de matéria seca superiores a 16 t ha⁻¹ e 20 t ha⁻¹ de taboa e alternanthera, respectivamente, cultivadas por aproximadamente 100 dias em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. Brasil *et al.* (2007b) obtiveram produtividade pouco superior a 7 t ha⁻¹ de matéria seca de taboa cultivada em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de esgoto doméstico, sendo o período de cultivo, antes da realização do corte, de 226 dias. Apesar das maiores produtividades obtidas por esses autores, as espécies foram cultivadas por períodos superiores ao período de cultivo realizado neste trabalho e compreenderam épocas de condições climáticas mais adequadas ao desenvolvimento das plantas.

Na Figura 2, está apresentada a produtividade de matéria seca somando-se os valores obtidos no corte 2 e 3 (88 dias), evidenciando o efeito da carga orgânica (sub-índices 1, 2 e 3) aplicada na produção de matéria seca das plantas, dentro do mesmo tratamento (sem correção de pH, com correção de pH e com correção de pH mais tratamento prévio em filtros anaeróbios). Neste gráfico, optou-se por não somar a matéria seca obtida no corte 1, pois neste foi removida a biomassa produzida durante esta fase e o período de adaptação, no qual foi feita a adição de esgoto doméstico e dejetos suínos para o desenvolvimento inicial das plantas.

Nota-se, na Figura 2, que houve decréscimo na produção de matéria seca com o aumento da carga orgânica aplicada. Este fato também foi evidenciado por Sohsalam *et al.* (2008), que verificaram que a aplicação de cargas orgânicas superiores a 612 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO, referentes a melaço em tratamento em sistemas alagados construídos, causou a senescência das espécies vegetais implantadas (*Cyperus involucratus*, *Typha augustifolia* e *Thalia dealbata* J. Fraser). Torna-se importante ressaltar que, além da elevada carga orgânica, os efluentes do processamento da cana-de-açúcar são ricos em potássio (SOHSALAM *et al.*, 2008), o que pode levar à morte dos vegetais em virtude da diminuição do potencial osmótico no meio. Outro fator é a concentração de compostos fenólicos que podem causar fitotoxicidade às espécies vegetais, levando-as à morte. Wang *et al.* (1967) atribuíram a fitotoxicidade dos compostos fenólicos ao fato destes serem lipofílicos, o que pode alterar a acessibilidade de elementos através da membrana celular. A fitotoxicidade também foi observada por El Hadrami *et al.* (2004) e Mekki *et al.* (2006), os autores relataram os efeitos negativos da aplicação de águas residuárias do processamento de oliva como fertirrigação em culturas de tomate, grão-de-bico, trigo, milho, cevada e fava. Estes autores citam como inconveniente as elevadas concentrações de compostos fenólicos que são fitotóxicos e podem inibir a germinação das sementes.

Na Figura 3 está apresentada a produtividade de matéria seca, somando-se os valores obtidos para o corte 2 e 3, evidenciando o efeito do tratamento aplicado (sem correção de pH, com correção de pH e com correção de pH e tratamento prévio em filtros anaeróbios) na produção de matéria seca, para uma mesma carga orgânica aplicada (sub-índices 1 ou 2 ou 3).

Verifica-se na Figura 3 que, dentre as mesmas cargas orgânicas aplicadas, houve redução drástica na produção de matéria seca da espécie *Alternanthera*,

principalmente no que se refere à menor carga aplicada (sub-índice 1). A correção do pH e a adição de nutrientes parece ter influenciado, de forma considerável, a produção de matéria seca, visto as pequenas produtividades apresentadas nos SACs. Os SAC^Fs se destacaram dos demais apresentando as maiores produtividades de matéria seca.

No Quadro 2 está apresentada a quantidade média de nutrientes (N, P e K) aplicada em cada SACESF, durante as três fases de condução do experimento.

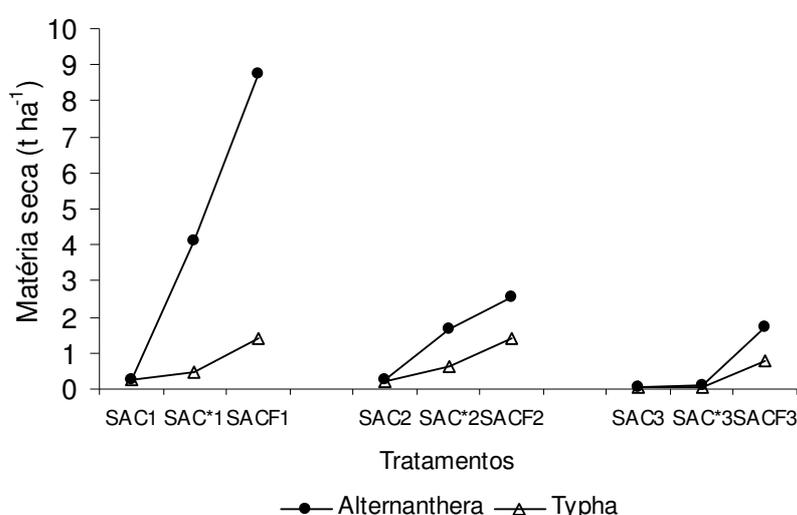


Figura 3. Valores médios da produtividade de matéria seca obtidos nos cortes 2 e 3, evidenciando o efeito do tratamento aplicado na produção de matéria seca, para uma mesma carga de matéria orgânica aplicada.

Quadro 2. Quantidade média de nutrientes aplicada nos SACESFs ($\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$)

SACESFs	Fase I			Fase II			Fase III		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
SAC ₁	26,2	3,8	50,6	43,6	4,9	114,8	23,8	1,6	61,6
SAC ₂	37,4	4,7	57,4	87,9	7,4	195,4	41,0	3,3	107,9
SAC ₃	28,4	2,9	53,2	109,6	9,1	257,7	55,1	4,1	148,1
SAC* ₁	15,9	2,5	60,6	197,7	6,0	133,2	121,9	1,1	62,9
SAC* ₂	16,5	2,5	98,5	247,5	8,3	193,2	178,2	1,1	119,1
SAC* ₃	16,1	2,2	57,8	351,7	8,1	265,1	209,6	1,2	123,5
SAC ^F ₁	15,5	3,1	53,7	137,3	4,4	142,9	97,0	0,7	58,1
SAC ^F ₂	20,1	3,5	102,3	281,0	4,2	178,8	108,2	0,5	81,6
SAC ^F ₃	19,1	3,0	58,5	310,5	7,4	261,7	159,3	1,1	105,2

Foram feitas cinco amostragens em cada fase.

De acordo com os dados apresentados no Quadro 2, verifica-se que os SACESFs foram submetidos a elevadas cargas de nutrientes. Durante as fases II e III, nos SAC^{*}s e SAC^Fs, as cargas de N e K foram superiores àquelas aplicadas por Brasil *et al.* (2005), que foram, respectivamente, de 111,2 e 61,2 kg ha⁻¹ d⁻¹, no tratamento de esgoto doméstico, e Freitas (2006), que aplicou 93,3 e 36,3 kg ha⁻¹ d⁻¹ no tratamento de águas residuárias da suinocultura, ambos os tratamentos efetuados em sistemas alagados construídos. No entanto, apesar da correção nutricional efetuada na ARC, as cargas de fósforo nos dos SAC^{*}s e SAC^Fs foram relativamente pequenas. Pois, houve remoção de fósforo nos tanques de correção de pH com a precipitação de fosfato de cálcio (Ca₃(PO₄)₂), visto que foi utilizado cal hidratada (Ca(OH)₂) para correção do pH. Estudos anteriores têm mostrado que materiais ricos em cálcio podem remover efetivamente o elemento fósforo e substâncias tóxicas das águas residuárias, tanto pela adsorção, quando o material é utilizado como material suporte, quanto pela precipitação de formas químicas estáveis de fosfato (DeBUSK *et al.*, 2004; TANAKA *et al.*, 2007; KAASIK *et al.*, 2008).

Nos Quadros 3 e 4 estão apresentadas as concentrações médias de nutrientes encontradas no tecido foliar da taboa e da

alternantera, obtidas no tecido vegetal coletado nos três cortes da biomassa.

Os valores de N, P, K e Na encontrados na matéria seca foliar da taboa foram superiores aos encontrados por Brasil *et al.* (2003), quando avaliou taboa de área alagada natural, utilizada para o descarte de água residuária do descascamento/despolpa de frutos do cafeeiro. Exceto nos vegetais cultivados nos SAC₁ e SAC₂, no que se refere à concentração de N, na primeira fase, e de Na, em todos os SACESFs avaliados na fase I. Estes autores encontraram, para N, P, K e Na, concentrações de 1,50; 0,07; 0,82 e 0,33 dag kg⁻¹ no tecido foliar das plantas. Brasil *et al.* (2007b) cultivaram taboa em sistemas alagados artificiais para tratamento de esgoto doméstico e obteve, para os respectivos nutrientes, concentrações iguais a 1,50; 0,28; 2,42 e 0,80 dag kg⁻¹. Freitas (2006), ao tratar efluentes da suinocultura cultivados com taboa, obteve 2,13; 0,44; 2,83 e 0,46 dag kg⁻¹ de N, P K e Na, respectivamente, no tecido foliar da taboa.

Segundo a Fao (2006), as concentrações típicas a serem encontradas no tecido foliar da taboa variam de 0,2 a 2,4; 0,14 a 0,20; 0,88 a 2,65 e 0,18 a 0,28 dag kg⁻¹, para N, P, K e Na. Respectivamente para Ca e Mg, as concentrações médias, são de 0,51 e 0,15 dag kg⁻¹, valores inferiores aos obtidos neste trabalho na maioria dos SACESFs.

Quadro 3. Concentrações médias de macronutrientes na matéria seca foliar da taboa, nos três cortes realizados (dag kg⁻¹)

SACESFs	Corte 1						Corte 2						Corte 3					
	N	P	K	Na	Ca	Mg	N	P	K	Na	Ca	Mg	N	P	K	Na	Ca	Mg
SAC ₁	1,33	0,14	4,31	0,35	1,27	0,14	2,17	0,38	3,84	1,48	1,11	0,26	2,80	0,46	7,18	3,55	0,56	0,25
SAC ₂	1,26	0,14	3,50	0,27	1,76	0,17	1,66	0,24	2,85	1,56	2,02	0,42	3,57	0,38	6,69	1,50	0,44	0,28
SAC ₃	2,66	0,25	4,88	0,26	1,85	0,19	2,87	0,33	1,87	0,58	1,69	0,24	-	-	-	-	-	-
SAC [*] ₁	1,44	0,14	3,18	0,50	2,44	0,17	2,14	0,20	4,17	2,44	1,22	0,20	3,50	0,31	4,17	1,70	1,26	0,22
SAC [*] ₂	1,64	0,15	4,23	0,32	1,13	0,18	2,76	0,24	4,58	0,99	1,58	0,21	2,94	0,29	3,02	1,87	0,63	0,19
SAC [*] ₃	2,59	0,58	8,36	0,33	1,23	0,23	1,75	0,53	2,42	0,57	3,28	0,29	-	-	-	-	-	-
SAC ^F ₁	2,56	0,25	6,09	0,39	1,79	0,13	2,63	0,23	3,84	1,63	1,87	0,21	3,40	0,24	4,58	0,67	1,45	0,22
SAC ^F ₂	1,93	0,16	3,67	0,44	2,11	0,13	1,89	0,28	4,25	2,98	1,85	0,26	3,60	0,32	5,15	1,46	1,35	0,17
SAC ^F ₃	2,59	0,24	6,74	0,32	1,35	0,14	2,24	0,40	3,76	2,78	2,93	0,38	3,08	0,39	6,22	2,49	0,54	0,17

Quadro 4. Concentrações médias de macronutrientes na matéria seca foliar da alternantera, nos três cortes realizados (dag kg⁻¹)

SACESFs	Corte 1						Corte 2						Corte 3					
	N	P	K	Na	Ca	Mg	N	P	K	Na	Ca	Mg	N	P	K	Na	Ca	Mg
SAC ₁	1,92	0,31	4,56	0,10	0,46	0,22	3,15	0,47	4,82	0,90	0,55	0,25	3,57	0,46	4,50	0,77	0,47	0,20
SAC ₂	2,42	0,35	4,80	0,09	0,50	0,24	1,61	0,40	3,76	0,63	0,55	0,26	4,90	0,52	3,76	0,65	0,27	0,20
SAC ₃	2,28	0,36	4,72	0,14	0,58	0,24	2,17	0,50	2,94	0,36	0,19	0,13	4,20	0,76	3,18	0,47	0,27	0,15
SAC* ₁	1,58	0,29	3,99	0,26	0,88	0,38	3,85	0,19	3,35	0,82	1,39	0,25	4,41	0,19	4,74	1,38	1,62	0,34
SAC* ₂	1,78	0,30	3,67	0,06	0,42	0,23	3,29	0,13	3,92	0,77	1,66	0,42	5,60	0,19	2,77	0,72	1,42	0,17
SAC* ₃	3,92	0,39	4,56	0,06	0,56	0,19	6,02	0,50	3,02	0,38	1,09	0,18	4,97	0,49	4,68	1,52	0,60	0,13
SAC ^F ₁	2,94	0,34	4,72	0,15	0,54	0,18	4,02	0,22	5,32	1,46	1,25	0,39	4,94	0,22	5,89	0,58	1,47	0,35
SAC ^F ₂	3,46	0,32	4,72	0,11	0,57	0,28	3,60	0,16	4,17	1,36	1,12	0,26	4,34	0,15	6,30	2,19	1,34	0,19
SAC ^F ₃	2,80	0,29	4,31	0,22	0,71	0,27	4,16	0,32	4,74	1,51	0,91	0,21	4,52	0,24	7,20	1,80	0,80	0,16

Os valores das concentrações de nutrientes na matéria seca foliar da alternantera variaram muito com os tratamentos aplicados, sendo os valores encontrados em alguns SACESFs semelhantes aos encontrados por Freitas (2006). Este autor obteve 4,11; 0,53; 4,48 e 0,40 dag kg⁻¹ para a concentração de N, P, K e Na nas plantas de alternantera cultivadas em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. Boyd (1969) *apud* Fao (2006) verificou que as concentrações de nutrientes nas folhas da alternantera variam ao longo do ano, atingindo valores de 2,3 a 3,5; 0,3 a 0,4; 3,0 a 5,9; 0,5 a 0,7 e 0,4 a 0,6 dag kg⁻¹ para N, P, K, Ca e Mg, respectivamente.

As maiores concentrações de nutrientes, principalmente N, Ca e K, obtidas nas plantas de alguns SACESFs avaliados neste trabalho, quando comparada às obtidas nos demais (Quadros 3 e 4), podem ser devido ao fato de ter sido adicionado nitrogênio e cal à ARC utilizada nos SAC*s e SAC^Fs, além das elevadas concentrações de K encontradas naturalmente na ARC. Pode-se verificar, também, que menores valores de P no tecido foliar das espécies avaliadas nos SAC*s e SAC^Fs, quando comparados àqueles presentes nos SACs, durante as Fases II e III, foram consequência do aumento no pH da água residuária, o que proporcionou menor disponibilidade destes nutrientes para a absorção vegetal. Os resultados obtidos por Lawrence & Mixon

(1970) *apud* Fao (2006) demonstraram que a composição nutricional foliar das espécies vegetais é função da concentração de nutrientes do substrato onde estas se desenvolveram. Estes autores verificaram que as plantas aquáticas, quando crescem em ambientes com elevadas concentrações de nutrientes, absorvem estes em quantidades muito maiores do que elas realmente necessitam para um crescimento saudável, sendo a absorção em excesso denominada “consumo de luxo”. Verificaram, também, que a alternantera cultivada em esgoto doméstico consumiu cerca de 20 vezes mais K que aquelas que cresceram em ambientes não fertilizados (7,30 dag kg⁻¹ comparado com 0,36 dag kg⁻¹).

Segundo Boyd (1969) *apud* Fao (2006), a alternantera tem a habilidade de absorver grandes quantidades de nutrientes minerais antes do período de máxima produção de matéria seca. Este elevado potencial de absorção de nutrientes também foi verificado por Freitas (2006), que concluiu que a alternantera foi a espécie com maior capacidade extratora de nutrientes, quando comparada à taboa e ao capim tifton 85 (*Cynodon* spp.).

Nos Quadros 5 e 6 estão apresentadas as porcentagens médias de extração de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, pela taboa e alternantera, calculadas com base na produtividade e na concentração desses nutrientes na matéria seca, nos três cortes efetuados.

Pode-se verificar, nos Quadros 5 e 6, tendência de redução na remoção de nutrientes pelas plantas nas fases II e III, quando comparadas às obtidas na fase I. Este fato pode ser justificado pelo aumento na carga orgânica aplicada no sistema durante a fase II, com a conseqüente redução na taxa de crescimento das plantas, o que levou à redução na absorção de nutrientes. Esta redução na absorção de nutrientes, principalmente nos SACESFs que receberam maiores cargas orgânicas e cujas plantas apresentaram senescência completa, pode ter refletido na fase III, pois se verifica considerável recuperação, durante a fase III, principalmente nos SAC^{*}₁, SAC^{*}₂, SAC^F₁ e SAC^F₂, os quais receberam menores cargas orgânicas.

Da fração de N e P removida do sistema, as quantidades de nitrogênio e fósforo removidas pela biomassa foram relativamente pequenas, exceto no que se refere ao P, no SAC^F₁ cultivado com alternantera, durante a fase III. Brasil *et al.* (2007b) e Freitas (2006) verificaram que a taboa foi responsável pela retirada de apenas 1,69 e 4,50;

1,64 e 2,3 e 4,90 e 12,7% do N, P e K aportado ao sistema. Freitas (2006) também verificou que a alternantera apresentou maiores porcentagens de remoção dos nutrientes aportados ao sistema, alcançando valores de 9,5; 3,9 e 12,0% para os respectivos nutrientes. Lee *et al.* (2004) obtiveram valores semelhantes (2 a 4% de N e 0,1 a 1,3 de P) aos apresentados pelos autores anteriormente citados, quando tratou águas residuárias da suinocultura em sistemas alagados cultivados com aguapé (*Eichhornia crassipes*).

Na fase III, nota-se que as eficiências de remoção de nutrientes pela alternantera e taboa cultivadas no SAC^F₁ foram consideravelmente maiores que aquelas apresentadas pelos demais SACESFs, nesta fase. Acredita-se que, além da adaptação do sistema à ARC, o crescimento vegetativo devido à recuperação das espécies cultivadas após a fase II, evidenciado pela maior produtividade de matéria seca, tenha contribuído, de forma considerável, para obtenção desses resultados.

Quadro 5. Valores percentuais médios (%) de remoção de N, P e K pela taboa, nas três fases experimentais

SACESFs	Fase I			Fase II			Fase III		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
SAC ₁	0,32	0,24	0,54	0,12	0,18	0,08	0,37	0,92	0,37
SAC ₂	0,26	0,22	0,46	0,04	0,08	0,03	0,17	0,22	0,12
SAC ₃	0,30	0,27	0,29	0,03	0,04	0,01	-	-	-
SAC [*] ₁	0,97	0,59	0,57	0,04	0,12	0,11	0,20	1,96	0,46
SAC [*] ₂	1,01	0,62	0,44	0,08	0,20	0,16	0,12	1,86	0,18
SAC [*] ₃	1,23	2,03	1,10	0,00	0,04	0,01	-	-	-
SAC ^F ₁	1,36	0,66	0,94	0,29	0,77	0,40	0,58	5,55	1,30
SAC ^F ₂	1,82	0,88	0,68	0,11	1,12	0,40	0,49	3,37	0,92
SAC ^F ₃	2,41	1,40	2,05	0,09	0,68	0,18	0,09	1,57	0,26

Quadro 6. Valores percentuais médios (%) de remoção de N, P e K pela alternantera, nas três fases experimentais

SACESFs	Fase I			Fase II			Fase III		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
SAC ₁	1,35	1,48	1,65	0,21	0,21	0,12	0,52	1,01	0,25
SAC ₂	1,20	1,38	1,55	0,04	0,12	0,04	0,39	0,52	0,11
SAC ₃	1,05	1,61	1,16	0,02	0,12	0,01	0,04	0,09	0,01
SAC [*] ₁	4,04	4,67	2,69	0,89	0,07	1,15	1,75	8,25	3,65
SAC [*] ₂	5,87	6,47	2,02	0,39	0,03	0,60	0,22	1,23	0,16
SAC [*] ₃	7,59	5,55	2,46	0,03	0,13	0,02	0,01	0,21	0,02
SAC ^F ₁	9,87	5,73	4,57	3,19	0,11	4,04	4,57	28,78	9,10
SAC ^F ₂	8,05	4,28	2,15	0,34	0,08	0,62	1,25	9,62	2,41
SAC ^F ₃	10,03	6,52	5,04	0,15	0,09	0,20	0,82	6,32	1,99

Maiores eficiências na remoção de nutrientes pelas plantas, tal como aquelas ocorridas no SAC^F₁, na terceira fase, também foram observadas por Li *et al.* (2008). Os autores verificaram remoções de 7 e 17%, respectivamente, de N e P pela taboa cultivada em sistemas alagados construídos que receberam água eutrofizada. Entretanto, estas maiores eficiências observadas podem ser devido às menores concentrações de nutrientes na água eutrofizada quando comparada às águas residuárias utilizadas nos outros experimentos.

Apesar da grande variabilidade das eficiências na remoção de nutrientes pelas plantas, verifica-se que as eficiências obtidas neste trabalho estão em conformidade com os dados encontrados na literatura. Verifica-se, também, tendência de maior remoção de nutrientes pela alternantera, quando comparada com a obtida pela taboa, dentro dos mesmos sistemas de tratamento, confirmando o que foi verificado por Freitas (2006).

Diante dos resultados obtidos neste trabalho acredita-se que, entre os SACESFs avaliados, o SAC^F₁ tenha reunido as melhores condições ao desenvolvimento das espécies cultivadas. Dentre estas condições pode-se citar: valores de pH dentro da faixa considerada ideal, menores concentrações de compostos fenólicos, maiores concentrações de cálcio, elemento químico que antagoniza os efeitos do potássio e maior disponibilidade de nutrientes para as plantas.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- as plantas cultivadas não se adaptaram às condições de exposição a altas cargas orgânicas, não apresentando bom desempenho agrônômico em termos de produtividade e extração de nutrientes, exceto as cultivadas no SAC^F₁;
- a correção de pH e nutricional associada às menores cargas orgânicas favoreceram o desenvolvimento das espécies;

- a taboa foi capaz de extrair aproximadamente 0,58, 5,55 e 1,30% de todo o N, P e K aplicado no SAC^F₁; e
- a alternantera foi a espécie vegetal que apresentou maior capacidade extratora de nutrientes, chegando a extrair aproximadamente 4,6, 28,8 e 9,1% de todo o N, P e K aplicado no SAC^F₁.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20^o. ed. Washington. D.C.: APHA s.n.p. 1998.

ARANDA-DELGADO, E.; BAROIS, I. Lombricompostaje de la pulpa de café em México. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIOTECNOLOGIA NA AGROINDÚSTRIA CAFEÍRA, 3. **Anais...** Londrina, PR, 1999. p.335-343.

BLAKE, G. **Utilization des plantes vasculaires aquatiques en lagunage**. In: SEMINAIRE L'ÉPURATION PAR LAGUNAGE. Montpellier, France: Cerete, p.5. 1982.

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; FIA, R.; SILVA, N. C. L. Desempenho agrônômico de vegetais cultivados em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.15, n.3, p. 307-315, 2007a.

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A. Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Typha* sp.) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.12, n.3, p.266-272, 2007b.

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.

- BRASIL, M.S., MATOS, A.T., FIA, R. Eficiência e impactos ambientais do tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro em áreas alagadas naturais. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.11, n.1-4, p. 43-51, 2003.
- CLARKE, E.; BALDWIN, A. H. Responses of wetland plants to ammonia and water level. **Ecological Engineering**, v.18, p.257–264, 2002.
- DeBUSK, T. A.; GRACE, K. A.; DIERBERG, F. E.; JACKSON, S. D.; CHIMNEY, M. J.; GU, B. An investigation of the limits of phosphorus removal in wetlands: a mesocosm study of a shallow periphyton-dominated treatment system. **Ecological Engineering**, v.23, p.1-14, 2004.
- EL HADRAMI, A.; BELAQZIZ, M.; EL HASSNI, M.; HANIFI, S.; ABBAD, A.; CAPASSO, R.; GIANFREDA, L.; EL HADRAMI, I. Physico-chemical characterization and effects of olive oil mill wastewaters fertirrigation on the growth of some mediterranean crops. **Journal of Agronomy**, v.3, n.4, p.247-254, 2004.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999. 370p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Handbook of Utilization Aquatic Plants**. <http://www.fao.org/DOCREP/003/X6862E/X6862E03.htm>. 10 Dez. 2007.
- FOLIN, O.; CIOCALTEU, V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. **The Journal of Biological Chemistry**, v.73, n.2, p.627-650, 1927.
- FREITAS, W. S. **Desempenho de sistemas alagados construídos, cultivados com diferentes espécies vegetais, no tratamento de águas residuárias da suinocultura**. Viçosa: UFV, 2006, 159p. (Tese de doutorado).
- GOPAL, B. Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: potentials and problems. **Water Science and Technology**, v.40, n.3, p.27-35. 1999.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 681 p.
- KAASIK, A.; VOHLA, C.; MÖTLEP, R.; MANDER, U.; KIRSIMÄE, K. Hydrated calcareous oil-shale ash as potential filter media for phosphorus removal in constructed wetlands. **Water Research**, v.42, n.4-5, p.1315-1323, 2008.
- LEE, C-Y.; LEE, C-C.; LEE, F-Y.; TSENG, S-K.; LIAO, C-J. Performance of subsurface flow constructed wetland taking pretreated swine effluent under heavy loads. **Bioresource Technology**, v.92, p.173–179, 2004.
- LI, L.; LI, Y.; BISWAS, D. K.; NIAN, Y.; JIANG, G. Potential of constructed wetlands in treating the eutrophic water: Evidence from Taihu Lake of China. **Bioresource Technology**, v.99, p.1656–1663, 2008.
- 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)*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.11, n.2, p.108-112, 2006.
- MARQUES, D.M. Terras Úmidas Construídas de Fluxo Subsuperficial. In: CAMPOS, J.R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, ABES, 1999. p.409-435.
- MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; PEREIRA, O G. Desempenho agrônomico de capim tifton 85 (*cynodon* spp) cultivado em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de água residuária de laticínios. **Revista Ambiente e Água**, v.3, n.1, p.43-53, 2008.

- MATOS, A. T.; LO MONACO, P. A. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro**. Viçosa: UFV/DEA, 2003. (Boletim técnico n. 7).
- MATOS, A. T.; PINTO, A. B.; PEREIRA, O. G.; SOARES, A. A.; LO MONACO, P. A. Produtividade de forrageiras utilizadas em rampas de tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.154-158, 2003a.
- MATOS, A. T.; BRASIL, M. S.; FONSECA, S. P. P. Aproveitamento de efluentes líquidos domésticos e agroindustriais na agricultura. In: ENCONTRO DE PRESERVAÇÃO DE MANACIAIS DA ZONA DA MATA MINEIRA, 3, 2003, Viçosa. Uso de Águas Residuárias e Biossólidos na Agricultura. **Anais...** Viçosa: UFV, DEA, ABES/MG, 2003b. p.25 -79.
- MEKKI, A.; DHOUIB, A.; ALOUI, F.; SAYADI, S. Olive wastewater as an ecological fertilizer. **Agron. Sustain. Dev.**, v.26, p. 61-67, 2006.
- RIGUEIRA, R. J. A.; LACERDA FILHO, A. F.; SILVA, J. S.; CECON, P. R.; PALACIN, J. J. F. Caracterização da qualidade do café (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes condições de secagem e armazenagem. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.15, n.2, p.151-167, 2007.
- SALATTI, E. Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas. **Biológico**, v.65, n.1-2, p.113-116, 2003.
- SILVA, J. S. Colheita, secagem e armazenagem do café. In: ENCONTRO SOBRE PRODUÇÃO DE CAFÉ COM QUALIDADE, 1, 1999. **Anais...** Viçosa: UFV/DFP, 1999. p.39-80.
- SOHSALAM, P.; SIRIANUNTAPIBOON, S. Feasibility of using constructed wetland treatment for molasses wastewater treatment. **Bioresource Technology**, v.99, n.13, p.5610-5616, 2008.
- SOUSA, J.T.; ADRIANUS, C.; 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.
- TANAKA, Y.; YATAGAI, A.; MASUJIMA, H.; WAKI, M.; YOKOYAMA, H. Autotrophic denitrification and chemical phosphate removal of agro-industrial wastewater by filtration with granular medium. **Bioresource Technology**, v.98, p.787-791, 2007.
- WANG, T. S. C.; YANG, T-K.; CHUANG, T-T. Soil phenolic acids as plant growth inhibitors. **Soil Science**, v.103, n.4, p.239-246, 1967.