

---

## CONCENTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E DE SÓDIO NA PARTE AÉREA DE ESPÉCIES VEGETAIS, CULTIVADAS DE FORMA CONSORCIADA E EM DIFERENTES POSIÇÕES EM SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS

Antonio Teixeira de Matos<sup>1</sup>, Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco<sup>2</sup>, Camila Pevidor Dias Folli<sup>3</sup>, Simone Pellini<sup>4</sup>, Sofia Barbosa Arantes<sup>5</sup>

### RESUMO

Neste trabalho, teve-se, como objetivo, avaliar a concentração de macronutrientes e de sódio na parte aérea de diferentes espécies vegetais, quando cultivadas na forma consorciada, em sistemas alagados construídos (SACs), utilizados no tratamento de esgoto doméstico. Para isso, foram construídos quatro SACs de fluxo subsuperficial horizontal, com 0,35 m de altura, por 1,0 m de largura e 24,0 m de comprimento, impermeabilizados com geomembrana de policloreto de vinila (PVC), preenchidos com 0,30 m de brita zero e cultivados com três espécies vegetais (taboa, capim tifton 85 e alternantera), em quatro posições distintas. A taxa de carga orgânica e a vazão, aplicadas diariamente aos SACs, foram de 200 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e 1,6 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, respectivamente, de modo a proporcionar tempo de detenção hidráulica de 1,8 dia. De acordo com os resultados, pode-se afirmar que apenas a concentração de fósforo na parte aérea das plantas foi influenciada pela posição de cultivo das plantas nos SACs; dentre todas as espécies avaliadas, a alternantera apresentou as maiores concentrações de macronutrientes, com exceção do potássio e do sódio, independentemente de sua posição de cultivo nos SACs; o capim tifton-85 não deve ser cultivado no primeiro terço dos SACs, tendo em vista que não resiste às condições do meio.

**Palavras-chave:** sistemas *wetlands*, tratamento de resíduos, espécies forrageiras.

## CONCENTRATION OF SODIUM AND MACRONUTRIENTS IN THE LEAVES OF CULTIVATED PLANT SPECIES IN INTERCROPPING AND AT DIFFERENT LOCATIONS IN WETLANDS

### ABSTRACT

This study was done to evaluate the concentration of nutrients and sodium in the leaves of different plant species grown in consortium in constructed wetlands (CWs) used for domestic sewage treatment. The system consisted of 4 CWs of subsurface flow with the dimensions of 0.35 m deep x 1.0 m wide x 24.0 m long and impermeated with a polyvinyl chloride geomembrane. Each CW was filled with fine stones to 0.30 m thickness and planted with cattail, tifton-85 or alternantera, at four different locations. The organic load application rate and daily flow was 200 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> and 1.6 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, respectively, which allowed for a hydraulic retention time of 1.8 days. Only shoot phosphorus concentration was influenced by the plant location. The highest concentrations of nutrients, except potassium and sodium occurred in alternantera regardless location on the CWs. The tifton-85 grass should not be grown in the first third of the CWs, because of its intolerance to the environmental conditions.

**Keywords:** wetlands systems, waste treatment, forage species.

---

**Recebido para publicação em 09/02/2010. Aprovado em 01/07/2010**

1- Eng. Agrícola, Professor Associado do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, [atmatos@ufv.br](mailto:atmatos@ufv.br)

2- Eng<sup>a</sup> Agrícola, Professora do IFE-ES/UFV, [paolamonaco2004@yahoo.com.br](mailto:paolamonaco2004@yahoo.com.br)

3- Engenharia Agrícola e Ambiental, DEA/UFV, [camilinhafolli@gmail.com](mailto:camilinhafolli@gmail.com)

4- Engenharia Agrícola e Ambiental, DEA/UFV, [simone.pellini@gmail.com](mailto:simone.pellini@gmail.com)

5- Engenharia Agrícola e Ambiental, DEA/UFV.

## INTRODUÇÃO

A tecnologia de tratamento de águas residuárias em sistemas alagados construídos (SACs) tem crescido desde a década de 70, por apresentar moderado custo de capital, baixo consumo de energia e manutenção, estética paisagística e aumento do *habitat* para a vida selvagem (MEIRA *et al.*, 2001).

Os SACs reproduzem, de certa maneira, os processos naturais que ocorrem em sistemas alagados naturais, sendo a diferença, a introdução de tecnologia com o objetivo de fazer com que o processo de depuração desenvolva-se em condições controladas e em taxas mais elevadas, com baixo risco de contaminação ambiental. Os mecanismos envolvidos no tratamento são: filtração, degradação microbiana da matéria orgânica, absorção de nutrientes, adsorção no material suporte entre outros (MATOS, 2005).

Os SACs têm sido propostos e utilizados no tratamento de vários tipos de águas residuárias, tais como as domésticas (BRASIL *et al.*, 2007a, 2007b e 2008), de laticínios (MATOS *et al.*, 2008), da lavagem/despolpa de frutos do cafeeiro (FIA *et al.*, 2008), da suinocultura (FIA, 2009 e MATOS *et al.*, 2009) e outras.

Entre os componentes fundamentais dos SACs estão as macrófitas aquáticas neles cultivadas, o substrato e o biofilme de bactérias formados no meio, responsáveis, direta ou indiretamente, pela ocorrência dos mecanismos de remoção de poluentes associados a esses sistemas (MARQUES, 1999). A escolha da espécie vegetal juntamente com outras variáveis de dimensionamento, é de fundamental importância para o sucesso do tratamento de águas residuárias em SACs. Entre as funções das macrófitas aquáticas, estão incluídas: remoção de nutrientes da água residuária; transferência de oxigênio para o substrato; suporte (rizomas e raízes) para o crescimento de biofilme de bactérias, além de melhoria na permeabilidade do substrato e na estética do ambiente (CAMPOS, 1999; MARQUES, 1999; LAUTENSCHLAGER, 2001).

As plantas utilizam nutrientes dos SACs para o seu crescimento, atuando, desse modo,

como extratoras de grande parte dos macro e micronutrientes da água residuária em tratamento. No entanto, quando morrem, elas devolvem os nutrientes para o sistema, na forma orgânica, sendo necessárias, portanto, colheitas periódicas, evitando-se o acúmulo da massa vegetal e a consequente salinização do meio (BRIX, 1997; MATOS & LO MONACO, 2003; Brix, 1997), o que diminuiria a capacidade das plantas de se desenvolverem e a eficiência do sistema na remoção de poluentes. Segundo Lautenschlager (2001), a remoção de nutrientes pelas plantas é um dos principais fatores responsáveis pela reciclagem de sais minerais.

No período de crescimento, as plantas podem absorver, além de macronutrientes, os micronutrientes (incluindo metais), sendo que, no início da senescência, a maior parte dos nutrientes são translocados para as raízes e rizomas. A estimativa anual de absorção de nitrogênio e fósforo por macrófitas emergentes varia de 12 a 120 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> e de 1,8 a 18 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente (REDDY & DEBUSK, 1985). A remoção de nitrogênio com as colheitas da biomassa aérea varia de 7,4 a 18,9 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> (MANDER *et al.*, 2004) e a de fósforo varia de 0,4 a 10,5 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> em *Phalaris arundinacea*; de 0,6 a 9,8 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> em *Phragmites australis* e de 0,2 a 6,5 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> em *Typha sp.* (VYMAZAL, 2004). Para SAC utilizado no tratamento de esgoto urbano, a absorção pelas macrófitas é estimada em 1,9 % do nitrogênio aportado ao sistema (LANGERGRABER, 2004). A remoção de N pelas plantas, em SACs cultivados com *Scirpus californicus*, foi de 50 % do N aplicado, tendo ocorrido numa taxa de 1,41 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> de N (ADCOCK *et al.*, 1994; ROGERS *et al.*, 1991; BUSNARDO *et al.*, 1992; citados por LAUTENSCHLAGER, 2001). Matos *et al.* (2009), ao trabalharem com SACs cultivados com taboa, alternantera, tifton-85 e as três plantas consorciadas, no tratamento de águas residuárias da suinocultura, obtiveram remoções de 4,5; 9,5; 5,3 a 8,2 % de todo o N-total aplicado e de 2,3; 3,9; 3,2 a 3,9 % de todo o P-total aplicado, respectivamente. Fia *et al.* (2008), ao trabalharem com SACs cultivados com taboa e alternantera, no tratamento de águas residuárias

do processamento dos frutos do cafeeiro, obtiveram remoções de 0,58 a 4,6 % de todo o N-total aplicado e de 5,55 a 28,8 % de todo o P-total aplicado, respectivamente.

Pesquisas recentes têm evidenciado o grande potencial de uso de espécies em SACs mais adaptadas às condições redutoras do meio, tal como a alternanthera (*Alternanthera philoxeroides* Mart), utilizada por Fia *et al.* (2008) e Matos *et al.* (2009), além do cultivo de espécies forrageiras de interesse na alimentação animal, tal como o capim tifton-85 (*Cynodon dactylon* Pers.), utilizado por Matos *et al.* (2008) e (2009), e da taboa (*Typha latifolia* L.), utilizada por Brasil *et al.* (2007a,b) e (2008); Fia *et al.* (2008); Matos *et al.* (2009); Yalcuk & Ugurlu (2009) e Wang *et al.* (2009).

Em alguns trabalhos, avaliou-se o cultivo de mais de uma espécie vegetal no SAC, tal como no trabalho reportado por Matos *et al.* (2009), que utilizaram a alternanthera (*Alternanthera philoxeroides* Mart), taboa (*Typha latifolia* L.) e capim tifton-85 (*Cynodon dactylon* Pers.); Zurita *et al.* (2009), que utilizaram a estrelícia (*Strelitzia reginae*), o antúrio (*Anturium andreaeanum*) e o agapanto (*Agapanthus africanus*); Fia *et al.* (2008), que utilizaram a taboa (*Typha* sp.) e a alternanthera (*Alternanthera philoxeroides* Mart); e Ling *et al.* (2009), que utilizaram *Syzygium campanulatum* e *Ficus microcarpa*.

Estudos indicam que os SACs que contêm mais de uma espécie são mais eficientes na remoção de DBO, DQO e SST. No trabalho realizado por Zurita *et al.* (2009), o SAC de fluxo subsuperficial horizontal que continha várias espécies vegetais (estrelícia, antúrio e agapanto) foi mais eficiente na remoção de DBO, DQO, SST e N-orgânico, ao passo que o que continha apenas uma espécie (copo-de-leite) foi mais eficiente na remoção de N-total, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, P-total e coliformes totais. Quando os autores trabalharam com fluxo vertical, o SAC que continha várias plantas foi mais eficiente na remoção de DBO, DQO, SST, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-total e P-total e o que continha apenas uma espécie vegetal foi mais eficiente na remoção de N-orgânico, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e coliformes totais. Resultados semelhantes foram obtidos por Matos *et al.* (2009), já que o SAC de fluxo

subsuperficial horizontal que continha várias espécies também foi mais eficiente na remoção de DBO, DQO e os valores ST, SST, N-Total e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> estiveram muito próximos aos obtidos no SAC que foi cultivado apenas com o capim tifton-85.

Embora existam trabalhos nos quais se avaliou o cultivo de mais de uma espécie vegetal no mesmo SAC, há pouca informação a respeito da eficiência de absorção de nutrientes quando as espécies vegetais variam de posição dentro do SAC. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da posição de cultivo na concentração de macronutrientes e de sódio, na parte aérea de diferentes espécies vegetais, em sistemas alagados construídos, no tratamento de esgoto doméstico.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Área Experimental de Tratamento de Resíduos Urbanos do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa – DEA/UFV, em Viçosa, Minas Gerais.

O esgoto sanitário bruto utilizado no experimento é proveniente do conjunto residencial Condomínio Bosque Acamari, situado na cidade de Viçosa – MG e, antes de ter sua vazão medida por meio de um vertedor triangular, passou por um tratamento preliminar, com desarenador e caixa de homogeneização, antes de ser disposto nos SACs.

O experimento foi constituído por quatro leitos de sistemas alagados construídos, de fluxo subsuperficial horizontal (SACs), fundo plano, para tratamento secundário do efluente do tratamento preliminar do esgoto doméstico, nas dimensões de 0,35 m de profundidade x 1,0 m de largura x 24,0 m de comprimento, impermeabilizados com geomembrana de policloreto de vinila (PVC) de 0,50 mm de espessura.

Como meio de suporte, utilizou-se brita “0” (diâmetro médio de partículas –  $D_{60} = 7,0$  mm, Coeficiente de Uniformidade  $D_{60}/D_{10} = 1,6$ , volume de vazios de 48,4 % e condutividade hidráulica do meio saturada  $K_{S20} = 7970$  md<sup>-1</sup>), com a qual preencheram-se as

unidades a até 0,30 m de altura, restando uma borda livre de 0,05 m. O volume de vazios da brita foi quantificado em laboratório, empregando-se proveta graduada de 1 litro de volume e água destilada. A condutividade hidráulica saturada (Ks) foi determinada, baseando-se nos princípios da lei de Darcy (metodologia apresentada por Ferreira, 2002) e utilizando-se permeâmetro horizontal, constituído por coluna de PVC de 0,50 m de comprimento e 0,075 m de diâmetro.

O dispositivo para alimentação e distribuição do afluente em cada leito foi constituído de um tubo de PVC, com 32 mm de diâmetro, perfurado longitudinalmente, conectado a um registro de gaveta e a um reservatório de polietileno, onde ficava armazenada a água residuária.

Na saída dos SACs, foram instaladas tubulações reguladoras do nível do líquido, no meio poroso, que foi mantido em 0,25 m de altura de água residuária no SAC.

As espécies cultivadas nos SACs foram a taboa (*Thypha sp.*), capim tifton-85 (*Cynodon dactylon* Pers.) e a alternanthera (*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb), as quais foram dispostas em quatro combinações diferentes, segundo esquema e foto apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

A fim de possibilitar o pegamento e o estabelecimento das espécies vegetais, os SACs foram saturados com esgoto doméstico logo após o plantio, de modo a fornecer nutrientes e água para as mudas. O plantio foi efetuado entre os dias 10 e 13/03/09, iniciando-se a aplicação contínua do efluente do tratamento preliminar.

A taxa de carga orgânica e a vazão diária, aplicadas aos SACs, foram de 200 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e 1,6 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, respectivamente, o que proporcionava um tempo de detenção hidráulica de 1,8 dia.

Durante o período de condução do experimento, foram realizados três cortes dos vegetais, com o objetivo de proporcionar remoção de matéria verde do sistema, essencial para seu bom funcionamento. As plantas foram coletadas igualmente, efetuando-se o corte a 0,15 m da superfície dos SACs.

Amostras do material vegetal foram colocadas em sacos de papel, identificadas e levadas à estufa com circulação de ar, para secagem sob temperatura de 60 °C, até ser atingida massa constante. Em seguida, as amostras foram trituradas em moinho tipo “Willey”, com peneira de 30 “mesh”, e armazenadas em sacos de papel, para posterior análise nutricional, realizada no Laboratório de Solos e Resíduos Sólidos do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

As análises do tecido vegetal seguiram metodologia proposta por Kiehl (1985) e estão sumarizadas no Quadro 1.

O experimento foi analisado, em termos estatísticos, no arranjo em blocos casualizados, submetendo-se à análise de variância os dados de concentração média de nutrientes e sódio obtidos nos três cortes, sendo a parcela perdida estimada conforme recomendado por Gomes (1982). As fontes de variação significativas em até 10 % de probabilidade na análise de variância foram submetidas à análise de médias (Tukey, a 10 % de probabilidade).

alternanthera (P1)	capim tifton-85 (P2)	taboa (P3)	SAC 4
taboa (P1)	alternanthera (P2)	capim tifton-85 (P3)	SAC 3
capim tifton-85 (P1)	taboa (P2)	alternanthera (P3)	SAC 2
alternanthera (P1)	taboa (P2)	capim tifton-85 (P3)	SAC 1

**Figura 1.** Esquema da disposição das diferentes espécies vegetais nos SACs.

**Quadro 1.** Métodos e Equipamentos utilizados nas análises laboratoriais das plantas

Variáveis	Métodos e Equipamentos
Fósforo Total	Digestão nítrico - perclórica e quantificação por espectrofotometria
Nitrogênio Total	Processo semimicro Kjeldahl
Sódio	Digestão nítrico – perclórica e quantificação por Fotometria de chama
Potássio	Digestão nítrico – perclórica e quantificação por Fotometria de chama



**Figura 2.** Leitões preenchidos com capim tifton-85, taboa e alternanthera.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

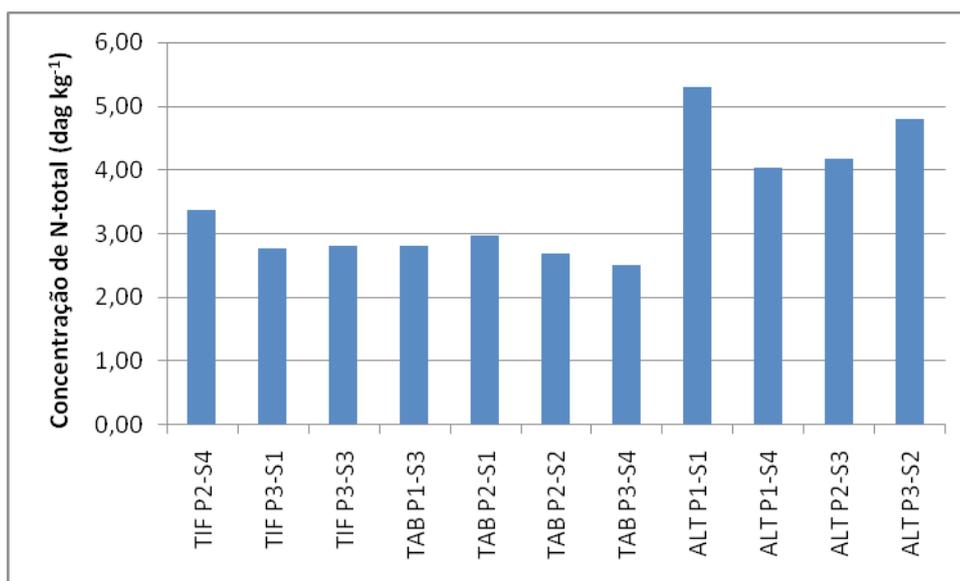
As plantas cultivadas apresentaram boa adaptação em condições de inundação e exposição do esgoto doméstico, excetuando-se o capim tifton-85, que foi o único que não se adaptou ao 1º terço do SAC2.

As concentrações médias de nitrogênio, fósforo, potássio e sódio total, nas amostras referentes aos três cortes, realizados nas plantas de capim tifton-85, alternanthera e taboa, estão apresentadas nas Figuras 3, 4, 5 e 6, respectivamente. As siglas contidas nos gráficos são referentes às plantas analisadas, à posição dentro do SAC (Figura 1) e ao número do SAC, respectivamente.

Assim, a sigla TIF P2-S4 refere-se à planta de capim tifton-85, cultivada na posição 2, no sistema alagado construído número 4. Como o capim tifton-85 não se adaptou às condições de elevada carga orgânica de esgoto doméstico no primeiro terço do SAC 2, não foi possível apresentar os dados de concentração dos macronutrientes e sódio na posição 1 deste SAC.

Analisando-se os dados apresentados na Figura 3, verifica-se que, como o capim tifton não apresentou crescimento no primeiro terço do SAC2, houve um déficit na quantidade de nitrogênio removido, resultando numa maior eficiência de remoção pelo capim tifton-85 no segundo terço do SAC (posição 2).

As concentrações de nitrogênio foliar do capim tifton-85 neste trabalho (2,76 a 3,38 dag kg<sup>-1</sup>) foram semelhantes às obtidas por Matos *et al.* (2008), que encontraram 2,9 e 4,0 dag kg<sup>-1</sup>, correspondentes às taxas de carga orgânica de 66 e 190 kg ha<sup>-1</sup> de DBO, respectivamente, em SACs no tratamento de águas residuárias de laticínios, além de Fonseca (2007), que encontrou concentração média de 2,5 dag kg<sup>-1</sup>, quando aplicou esgoto doméstico em rampas de tratamento por escoamento superficial. No entanto, as concentrações obtidas neste trabalho foram inferiores às encontradas por Fia (2009), que obteve 4,55 dag kg<sup>-1</sup>, aplicando taxa de carga orgânica semelhante à aplicada neste trabalho (em torno de 162 kg ha<sup>-1</sup> de DBO), em SACs, no tratamento de águas residuárias da suinocultura.



**Figura 3.** Concentração de Nitrogênio Total nas amostras das plantas, analisadas de acordo com a posição e o número do SAC.

De um modo geral, a concentração de nitrogênio na folha da taboa, obtida neste trabalho (2,5 a 2,98 dag kg<sup>-1</sup>), foi semelhante às encontradas por Fia *et al.* (2008) e Fia (2009), em SACs utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura e do processamento dos frutos do cafeeiro, respectivamente, que foram de 3,11 e 2,86 dag kg<sup>-1</sup>, e superiores aos obtidos por Brasil *et al.* (2007a), que obtiveram concentração de 1,50 dag kg<sup>-1</sup> e por Freitas (2006), que obteve 2,13 dag kg<sup>-1</sup> de nitrogênio no tecido foliar da taboa, em SACs no tratamento de esgoto doméstico e água residuária da suinocultura, respectivamente. No caso do trabalho realizado por Fia *et al.* (2008), a água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro recebeu correção com cal hidratada, até o valor aproximado de pH 7, e correção nutricional, sendo, posteriormente, lançada em filtro anaeróbio na concentração de 50 % v/v e depois ao sistema alagado construído (SAC).

A posição de cultivo dentro dos SACs não influenciou a concentração de N na parte aérea das plantas. Matos *et al.* (2009), quando avaliaram a capacidade da alternantera, da taboa e do capim tifton-85, cultivados no primeiro, segundo e terceiro terços do SAC, respectivamente, de extrair N de águas residuárias da suinocultura, verificaram que, de um modo geral, houve tendência de maiores remoções de N ocorrerem nas primeiras posições de cultivo nos SACs.

Dentre todas as plantas avaliadas, a alternantera foi a que apresentou maior concentração de nitrogênio ( $P < 0,001$ ). Fia *et al.* (2008) afirmaram que a alternantera foi a espécie vegetal que apresentou maior capacidade extratora de nutrientes, chegando a extrair aproximadamente 4,6 % de todo o nitrogênio aplicado no SAC utilizado no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa de frutos do cafeeiro.

A elevada remoção de nitrogênio pela alternantera deve-se ao fato de se tratar de uma planta que se adapta em condições de aporte de elevadas cargas orgânicas, fato confirmado por Freitas (2006), que obteve bons resultados em um teste preliminar, quando avaliou a tolerância desta planta às altas taxas de aplicação de água residuária da suinocultura.

A concentração de nitrogênio na folha da alternantera, cultivada no primeiro terço do SAC (5,3 dag kg<sup>-1</sup>), foi superior à obtida por Freitas (2006) que foi de 4,11

dag kg<sup>-1</sup>, e por Fia *et al.* (2008), que obtiveram concentração média de 3,96 dag kg<sup>-1</sup> em SACs utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura e processamento dos frutos do cafeeiro, respectivamente.

De acordo com os dados apresentados na Figura 4, observa-se que as plantas cultivadas no primeiro terço dos SACs apresentam maiores capacidades de extração de fósforo da água residuária, sendo a concentração nas plantas cultivadas no primeiro terço superior à obtida nas plantas cultivadas no terceiro terço ( $P < 0,05$ ).

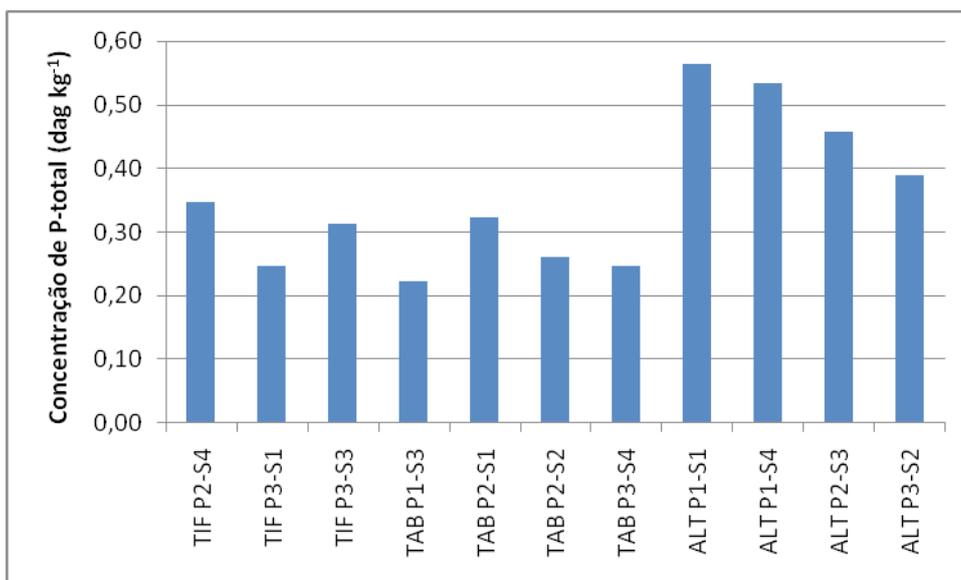
A alternantera apresentou ( $P < 0,001$ ) concentração de P nas folhas maior que a do capim tifton e a da taboa. As concentrações de fósforo nas folhas do capim tifton-85 foram de 0,25 a 0,35 dag kg<sup>-1</sup>, valores semelhantes aos obtidos por Matos *et al.* (2008), que encontraram uma média de 0,36 dag kg<sup>-1</sup> nesta mesma espécie vegetal, em SACs utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios, e por Queiroz *et al.* (2004), que encontraram 0,37 dag kg<sup>-1</sup> de fósforo no capim tifton-85, quando submetido à intensiva aplicação de águas residuárias da suinocultura. No entanto, as concentrações de fósforo, obtidas neste trabalho, foram inferiores às obtidas por Silva (2008), que encontrou concentrações de 0,28 a 0,64 dag kg<sup>-1</sup> (média de 0,46 dag kg<sup>-1</sup>), quando fertirrigou o capim tifton-85 com chorume de resíduos sólidos urbanos, e por Fia (2009), que encontrou 0,95 dag kg<sup>-1</sup>, aplicando uma taxa de carga orgânica semelhante à aplicada neste trabalho (em torno de 162 kg ha<sup>-1</sup> de DBO), em SACs no tratamento de águas residuárias da suinocultura, além de Fonseca (2007), que obteve 0,40 dag kg<sup>-1</sup>, quando aplicou esgoto doméstico em rampas de tratamento por escoamento superficial.

A concentração de fósforo foliar nas folhas da taboa, cultivada no segundo terço dos SACs (0,32 dag kg<sup>-1</sup>), foi superior às encontradas por Fia *et al.* (2008), que obtiveram 0,24 dag kg<sup>-1</sup> em SACs no tratamento de águas residuárias do processamento dos frutos do cafeeiro; por Brasil *et al.* (2007a), que obtiveram concentração de 0,28 dag kg<sup>-1</sup>, em SACs no tratamento de esgoto doméstico e por Fia (2009), que obteve concentração de 0,20 a 0,32 dag kg<sup>-1</sup> (da menor para a maior taxa de carga orgânica aplicada), em SACs no tratamento de águas residuárias da suinocultura. No entanto, a concentração de fósforo foliar, obtida neste trabalho, foi inferior à obtida por

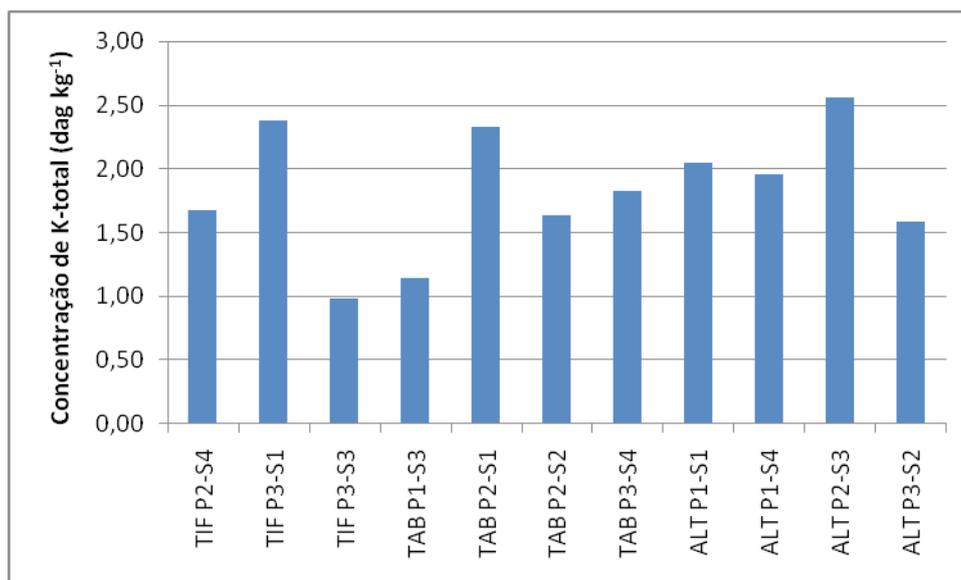
Freitas (2006), que encontrou  $0,44 \text{ dag kg}^{-1}$  de P no tecido foliar da taboa, em SACs no tratamento água residuária da suinocultura.

Segundo Matos *et al.* (2009), a alternantera foi a planta que mais extraiu fósforo da água residuária da suinocultura, tanto quando cultivada em monocultivo no SAC como quando cultivada em consorcio com a taboa e o capim tifton-85. Os autores também observaram que maiores remoções de fósforo foram obtidas no primeiro terço do SAC. Resultados semelhantes foram encontrados por Fia *et al.* (2008),

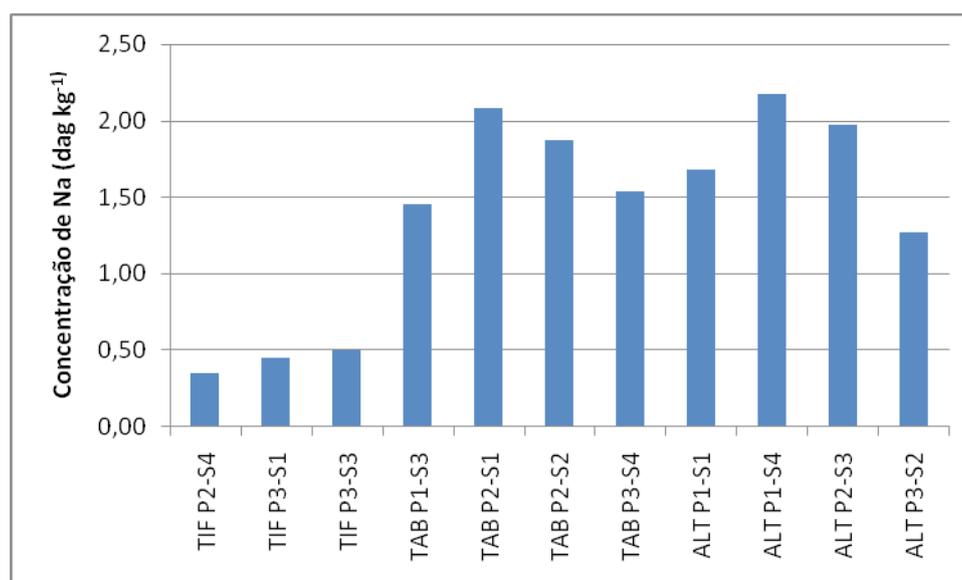
que afirmaram ser a alternantera a espécie vegetal que apresentou maior capacidade extratora de nutrientes, dentre as avaliadas (capim tifton-85, taboa e alternanthera), chegando a extrair aproximadamente 28,8 % de todo fósforo aplicado no SAC. Ling *et al.* (2009), ao trabalharem com *Syzygium campanulatum* e *Ficus microcarpa*, em SACs de fluxo subsuperficial horizontal no tratamento de esgoto doméstico, observaram que o *Ficus microcarpa* foi, dentre as espécies por eles avaliadas, a que proporcionou maior extração de fósforo.



**Figura 4.** Concentração de fósforo total na parte aérea de plantas, cultivadas nos SACs, de acordo com a posição e o número do SAC.



**Figura 5.** Concentração de potássio total na parte aérea das plantas, de acordo com a posição e o número do SAC.



**Figura 6.** Concentração de Sódio nas amostras das plantas analisadas de acordo com a posição e o número do SAC.

A concentração de fósforo na folha da alternantera, cultivada no primeiro terço do SAC (0,56 dag kg<sup>-1</sup>), foi superior à obtida por Freitas (2006), que obteve concentração de 0,53 dag kg<sup>-1</sup>, e por Fia *et al.* (2008), que obtiveram concentração média de 0,26 dag kg<sup>-1</sup>, em SACs no tratamento de águas residuárias da suinocultura e processamento dos frutos do cafeeiro, respectivamente.

A posição de cultivo e a espécie de planta não influenciaram a concentração de potássio na parte aérea das plantas ( $P < 10\%$ ). Fia *et al.* (2008) e Matos *et al.* (2009) observaram alta eficiência da alternantera na absorção de potássio, sendo que os últimos autores observaram que a alternantera extraiu, aproximadamente, 9,1% de todo o potássio aplicado.

A concentração de potássio nas folhas do capim tifton-85, quando cultivado no terceiro terço do SAC 1 (2,38 dag kg<sup>-1</sup>), foi semelhante à encontrada por Silva (2008), que obteve entre 1,1 e 3,7 dag kg<sup>-1</sup> (média de 2,4 dag kg<sup>-1</sup>) no capim tifton-85, cultivado em área receptora de diferentes cargas orgânicas provenientes da aplicação de chorume de resíduos sólidos urbanos, e superior às obtidas por Matos *et al.* (2008), que encontraram uma média de 1,4 dag kg<sup>-1</sup> e por Fia (2009), que encontrou de 1,93 a 2,11 dag kg<sup>-1</sup> de potássio, em SACs utilizados no tratamento de águas residuárias de

laticínios e de suinocultura, respectivamente, além de Fonseca (2007), que obteve 2,2 dag kg<sup>-1</sup> quando aplicou esgoto doméstico em rampas de tratamento por escoamento superficial.

No caso da taboa, a concentração de potássio nas folhas, quando cultivada no segundo terço do SAC 1 (2,32 dag kg<sup>-1</sup>), foi semelhante à encontrada por Fia (2009), que obteve 2,29 dag kg<sup>-1</sup>, correspondente a uma taxa de carga orgânica de 164 kg ha<sup>-1</sup> de DBO, em SACs, no tratamento de águas residuárias da suinocultura, e inferior às obtidas por Freitas (2006), que encontrou uma concentração de 2,83 dag kg<sup>-1</sup>, Fia *et al.* (2008), que obtiveram uma concentração média de 4,83 dag kg<sup>-1</sup> e Brasil *et al.* (2007), que obtiveram 2,42 dag kg<sup>-1</sup>, em SACs no tratamento de águas residuárias da suinocultura, processamento dos frutos do cafeeiro e esgoto doméstico, respectivamente.

A concentração de potássio na folha da alternantera, obtida no segundo terço do SAC 3 (2,56 dag kg<sup>-1</sup>), foi inferior à obtida por Freitas (2006), que obteve uma concentração de 4,48 dag kg<sup>-1</sup> e por Fia *et al.* (2008), que obtiveram uma concentração média de 5,31 dag kg<sup>-1</sup>, em SACs utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura e processamento dos frutos do cafeeiro, respectivamente.

De acordo com os dados apresentados na Figura 6, a concentração de sódio não variou ( $P > 0,1 \%$ ) com a posição de cultivo de cada planta nos SACs.

Analisando os dados apresentados, verifica-se que a alternanthera e a taboa apresentaram maior capacidade de extrair sódio do afluyente que o capim tifton-85 ( $P > 0,1 \%$ ), o que indica ser o capim tifton-85 pouco eficiente na remoção desse cátion. As concentrações de Na nas folhas do capim tifton foram maiores (de 0,35 a 0,5 dag  $\text{kg}^{-1}$ ) que as obtidas por Matos et al. (2008), que encontraram concentrações de sódio na faixa de 0,045 a 0,07 dag  $\text{kg}^{-1}$  e por Fia (2009), que encontrou concentrações foliares na faixa de 0,02 a 0,03 dag  $\text{kg}^{-1}$  nesta mesma espécie vegetal, em SACs no tratamento de águas residuárias de laticínios e de suinocultura, respectivamente, e também por Silva (2008), que encontrou concentrações entre 0,01 e 0,25 dag  $\text{kg}^{-1}$ , ao fertirrigar o capim tifton-85 com chorume de resíduos sólidos urbanos e por Queiroz et al. (2004), que encontraram uma concentração média de 0,04 dag  $\text{kg}^{-1}$  quando submetido à intensiva aplicação de águas residuárias da suinocultura.

Quando a taboa foi cultivada no segundo terço dos SACs (1,87-2,08 dag  $\text{kg}^{-1}$ ), a concentração de sódio foi superior às obtidas por Freitas (2006), que encontrou concentração de 0,46 dag  $\text{kg}^{-1}$ ; Fia et al. (2008), que obtiveram concentração média de 0,89 dag  $\text{kg}^{-1}$ ; Brasil et al. (2007a), que obtiveram 0,80 dag  $\text{kg}^{-1}$  e por Fia (2009), que encontrou concentrações na faixa de 0,75 a 0,97 dag  $\text{kg}^{-1}$  em SACs no tratamento de águas residuárias da suinocultura, do processamento dos frutos do cafeeiro, do esgoto doméstico e da suinocultura, respectivamente. A concentração de sódio na folha da alternanthera, obtida no primeiro terço do SAC4 (2,17 dag  $\text{kg}^{-1}$ ), foi superior às obtidas no trabalhos de Freitas (2006), que encontrou concentração de 0,40 dag  $\text{kg}^{-1}$  e Fia et al. (2008), que obtiveram concentração média de 0,73 dag  $\text{kg}^{-1}$  em SACs no tratamento de águas residuárias da suinocultura e do processamento dos frutos do cafeeiro, respectivamente.

A maior capacidade de remoção de sódio pela taboa e alternanthera pode ser considerada característica interessante dessas espécies vegetais para cultivo em SACs, já que esse elemento químico é de difícil remoção em qualquer sistema de tratamento de águas residuárias.

## CONCLUSÃO

- Apenas a concentração de fósforo na parte aérea das plantas foi influenciada pela posição de cultivo das plantas nos SACs;
- Dentre todas as espécies avaliadas, a alternanthera apresentou as maiores concentrações de macronutrientes, à exceção do potássio e sódio nas folhas;
- A concentração de potássio na parte aérea das plantas não foi influenciada pela espécie cultivada e nem pela posição de seu cultivo nos SACs; e
- O capim *tifton-85* não deve ser cultivado no primeiro terço dos SACs, tendo em vista que não resiste às condições do meio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL, M.S.; MATOS, A.T.; SOARES, A.A. Plantio e desempenho fenológico da taboa (*thypha sp.*) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.12, n.3, p.266-272, 2007a.
- BRASIL, M.S.; MATOS, A.T.; SILVA, C.M.; CECON, P.R.; SOARES, A.A. Modeling of pollution removal in constructed wetlands with horizontal subsurface flow. **Journal Agricultural Engineering Research**, New York, v.13, n.2, p.48-56, 2007b.
- BRASIL, M.S.; MATOS, A.T. Avaliação de aspectos hidráulicos e hidrológicos de sistemas alagados construídos de fluxo subsuperficial. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.13, n.3, p.323-328, 2008.
- BRIX, H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? **Water Science Technology**, Londres, v.35, n.5, p.11-17, 1997.
- CAMPOS, J.R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo** / José Roberto Campos (Coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464p.

- FIA, R.; MATOS, A.T.; FERREIRA, P.A.; TEODORO, P.E.P.; SCHUERY, F.C.; LUIZ, F.A.R. Desempenho agrônômico 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**, Viçosa, v.16, n.4, p.436-448, 2008.
- FIA, F.L.R. **Modelos de remoção de variáveis qualitativas em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura**. 2009. 156f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2009.
- FONSECA, S.P. **Avaliação de uma estação de tratamento de esgoto doméstico por escoamento superficial**. 2007. 144f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola).- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2007.
- FREITAS, W.S. **Desempenho de sistemas alagados construídos, cultivados com diferentes espécies vegetais, no tratamento de águas residuárias da suinocultura**. 2006. 150f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2006.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: ESALQ, Nobel Editora, 1982. 430p.
- LANGERGRABER, G. The role plant uptake on the removal of organic matter and nutrients in subsurface flow constructed wetlands – A simulation study. **Proceedings...** 6<sup>th</sup> International Conference on Waste Stabilization Ponds and 9<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Avignon, France, IWA/Astee, 26<sup>th</sup> of Sept. - 1<sup>st</sup> of October 2004. OC, CD-ROM.
- LAUTENSCHLAGER, S.R. **Modelagem do desempenho de Wetlands construídas**, 2001. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária), Universidade Politécnica de São Paulo-SP, 2001.
- LING, T.Y.; APUN, K.; ZAINUDDIN, S.R. Performance of a pilot-scale biofilters and constructed Wetland with Ornamental Plants in greywater treatment. **World Applied Sciences Journal** , Cairo, v. 6, n.11, p.1555-1562, 2009.
- MANDER, U.; LÖHMUS, K.; KUUSEMETS, V.; TEITER, S.; NURK, K.; Dynamics of nitrogen and phosphorus budgets in a horizontal subsurface flow constructed wetland. **Proceedings...** 6<sup>th</sup> International Conference on Waste Stabilisation Ponds and 9<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Avignon, France, IWA/Astee, 26<sup>th</sup> of Sept. - 1<sup>st</sup> of October 2004. OC, CD-ROM.
- MARQUES, D.M. Terras Úmidas Construídas de Fluxo Subsuperficial. In: CAMPOS, 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 agrônômico do capim tifton 85 (*cynodon spp*) cultivados em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de água residuária de laticínios. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 03, n. 01, p.43-53, 2008.
- MATOS, A.T.; FREITAS, W.S.; LO MONACO, P.A.V. Capacidade extratora de diferentes espécies vegetais cultivadas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Revista Ambiente & Água, local?**, v.04, n.02, p.31-45, 2009.
- MATOS, A.T.; LO MONACO, P.A.V. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro**. Viçosa: UFV, 2003. 68p.
- MEIRA, C.M.B.S., CEBALLOS, B.S.O., SOUZA, T.S., KONIG, A., Wetlands Vegetados no Polimento de Águas Superficiais Poluídas: Primeiros Resultados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES/AIDIS, 2001, CD Rom.

QUEIROZ, F.M.; MATOS, A.T.; PEREIRA, O.G.; OLIVEIRA, R.A.; LEMOS, F.A. Características químicas do solo e absorção de nutrientes por gramíneas em rampas de tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.12, n.2, p.77-90, 2004.

REEDY, K.R.; DeBUSK, W.F. Nutrient removal potential of selected aquatic macrophytes. **Journal Environmental Quality**, Madison, v.14, n.4, p.459-462, 1985.

VYMAZAL, J. Removal of phosphorus via harvesting of emergent vegetation in constructed wetlands for wastewater treatment. **Proceedings...** 6<sup>th</sup> International Conference on Waste Stabilization Ponds and 9<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Avignon, France, IWA/Astee,

26<sup>th</sup> of Sept. - 1<sup>st</sup> of October 2004. OC, CD-ROM. WANG, R.; KORBOULEWSKY, N.; PRUDENT, P.; BALDY, V.; BONIN, G. Can vertical-flow wetland systems treat high concentrated sludge from a food industry? A mesocosm experiment testing three plant species. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v.35, n.2., p 230-237, 2009.

YALCUK, A.; UGURLU, A. Comparison of horizontal and vertical constructed wetland systems for landfill leachate treatment. **Bioresource Technology**, Oxon, v.100, n.9, p.2521-2526, 2009.

ZURITA, F.; ANDA, J.D.; BELMONT, M.A. Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v.35, n.5, p.861-869, 2009.