



Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico

Mozart da S. Brasil¹; Antonio T. de Matos²; Antônio A. Soares² & Paulo A. Ferreira²

¹ EAF-CO, Rod. 399, km 5, C. Postal 47, CEP 78996-000, Colorado do Oeste, RO. E-mail: mozart-brasil@bol.com.br,

² UFV/DEA, CEP 36571-000, Viçosa, MG. E-mail: atmatos@ufv.br

Protocolo 59

Resumo: Com a realização deste trabalho, objetivou-se avaliar o desempenho de quatro sistemas alagados construídos com fluxo subsuperficial (SACs), de 24,0 x 1,0 x 0,3 m, no tratamento de esgoto doméstico. O sistema foi cultivado com taboa (*Typha sp*) e operado sob dois tempos de residência hidráulica (1,9 e 3,8 dias) e diferentes taxas médias de carga orgânica volumétrica. Para avaliação da qualidade do efluente, foram quantificadas as seguintes variáveis: demanda química de oxigênio (DQO), DQO solúvel, sólidos suspensos totais (SST), turbidez, nitrogênio total, fósforo total, potássio, sódio, condutividade elétrica, potencial redox (*Eh*), pH, coliformes totais e fecais. Os resultados obtidos caracterizaram o efluente como sendo de boa qualidade para uso em fertirrigação de culturas agrícolas que não sejam consumidas cruas devendo-se ter a concentração de sódio como o principal fator de limitação para o seu uso indiscriminado na agricultura.

Palavras chave: controle da poluição, reúso de água, águas residuárias

Effluent quality of constructed wetlands systems used in the treatment of domestic sewage

Abstract: This study aimed to evaluate the performance of four constructed wetland systems, with horizontal subsurface flow (SACs) of 24.0 x 1.0 x 0.3 m, for the domestic sewage treatment. The system was cultivated with cattail (*Typha sp*) and operated under two hydraulic residence times (1.9 and 3.8 days) and different average rates of volumetric organic load. To evaluate the effluent quality. The variables: chemical oxygen demand (COD), soluble COD, total suspended solids (TSS), turbidity, nitrogen, phosphorus, potassium and sodium total, electrical conductivity, redox potential (*Eh*), pH, total coliforms and fecal. The obtained results characterized the effluent as of good quality for use in fertirrigation of agricultural crops that are not consumed raw and the sodium concentration was the main limitation factor for the indiscriminate use of this effluent in agriculture.

Key words: pollution control; water reuse; wastewater

INTRODUÇÃO

No Brasil, somente 41,6% dos municípios brasileiros dispõem de rede coletora de esgoto, dos quais 66,2% não tratam os esgotos sanitários; isto, se juntado ao fato da qualidade da água potável ser declinante em todo o mundo, tornará premente a necessidade de uso mais eficiente das águas.

Nas regiões tropicais, onde se localiza a maioria dos países em desenvolvimento, o tanque séptico convencional é a instalação mais freqüentemente utilizada no tratamento primário de esgoto doméstico (Kootatep et al., 2004). Os efluentes desses tanques adaptam-se muito bem ao tratamento em

sistemas alagados construídos com fluxo subsuperficial horizontal (SAC), que apresentam bom desempenho na remoção de matéria orgânica, apresentando baixo custo de implantação e manutenção, além de serem de fácil operação (Al Jiroudi & Barjenbruch, 2004), quando comparados com os sistemas convencionais; assim, tornam-se adequados para implantação em pequenos aglomerados urbanos e vilas rurais carentes em infra-estrutura de saneamento básico. Porém, esses sistemas são menos eficientes na remoção de nutrientes, como N, P e K e a remoção de microrganismos patogênicos é razoável, mas não se iguala aos processos de desinfecção e, ainda, podem ocorrer grandes perdas de água por evapotranspiração no sistema, aumentando a concentração de sais e, conseqüentemente,

incrementando a salinidade do efluente. A relativamente alta concentração de nutrientes no efluente dos SACs tem sido apontada como atributo positivo, quando se tem por objetivo fazer uso deste na fertirrigação de culturas agrícolas; entretanto, esta prática só se torna tecnicamente adequada e ambientalmente sustentável quando as lâminas de efluentes aplicadas no solo estiverem baseadas em rígidos critérios de fertilidade e qualidade do solo e de águas subterrâneas (Matos, 2003). Posto isso, neste trabalho, teve-se por objetivo, avaliar a qualidade do efluente de um SAC, cultivado com Taboa (*Typha sp.*), utilizado no tratamento do efluente de um tanque séptico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Área Experimental de Tratamento de Resíduos (AETR) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa - DEA/UFV, em Viçosa, Minas Gerais. Quatro leitos de sistemas alagados construídos com fluxo subsuperficial horizontal (SAC) foram construídos em paralelo, nas dimensões apresentadas na Figura 1, posicionados sobre o solo e impermeabilizados com geomembrana de policloreto de vinila (PVC), com espessura de 0,50 mm, para o tratamento secundário/terciário de esgoto doméstico. Como meio suporte, utilizou-se brita # 0 (diâmetro - $D_{60} = 7,0$ mm, $Cu D_{60}/D_{10} = 1,6$ e volume de vazios de 48,4%). A macrófita emergente cultivada nos SACs foi a espécie taboa (*Typha sp.*).

Ao longo dos SACs, foram instalados de 4 em 4 m, no sentido longitudinal, tubos de PVC com 40 mm de diâmetro, para coleta de amostras do líquido em tratamento nos leitos

cultivados, conforme apresentado na Figura 1. Os quatro SACs (1, 2, 3 e 4) foram alimentados com efluente doméstico, provenientes de tanque séptico, sob diferentes taxas médias de carga orgânica volumétrica - TCO (116, 164 e 210 $g\ m^{-3}\ d^{-1}$ de DQO) e taxa de aplicação hidráulica média constante, sendo operados com seis tempos de residência hidráulica (t) diferentes e simultâneos, em função das distâncias 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24 m da extensão dos SACs, e com dois tempos t finais fixo de 1,9 dias, nos SACs 1, 2 e 4, e de 3,8 dias, no SAC 3. O valor do tempo (t) foi obtido a partir dos valores de fluxo médio, determinados entre dois pontos de coletas subsequentes, instalados ao longo dos SACs, aplicando-se os princípios da lei de Darcy, em que o tempo t de deslocamento do fluido em meio poroso saturado é definido como:

$$t = \frac{d}{(q_i / \mu_p)} \quad (1)$$

em que:

- d - distância entre dois pontos de coleta;
- q_i - fluxo
- μ_p - macroporosidade do meio suporte.

Para avaliação de desempenho dos SACs, quantificaram-se as seguintes variáveis: demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), turbidez, condutividade elétrica, potencial redox (Eh), pH, nitrogênio total (N-Total), fósforo total (P-Total), potássio, sódio e contagem da população coliforme total e fecal.

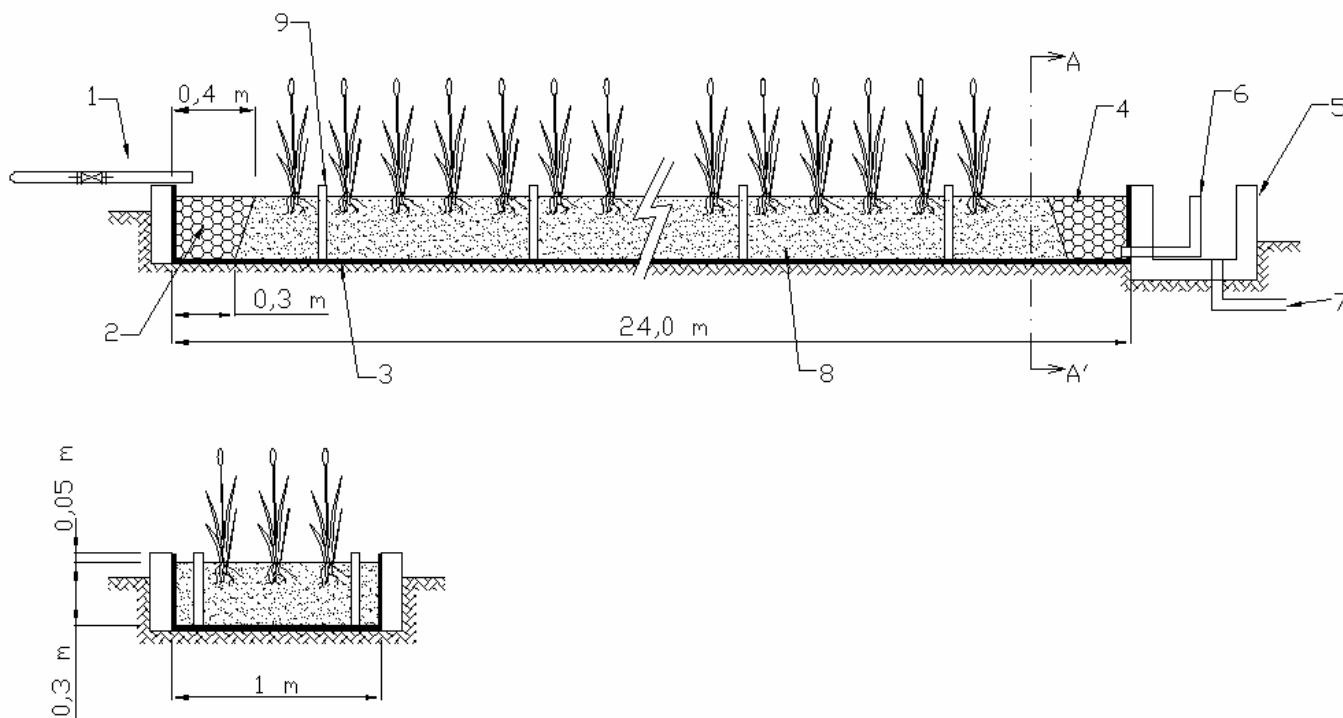


Figura 1. Diagrama esquemático de um leito do SACs: (1) dispositivo de distribuição de afluente; (2) zona de entrada; (3) geomembrana impermeável; (4) zona de saída; (5) caixa de coleta; (6) dispositivo de descarga e controle de nível; (7) rede de esgotamento do efluente; (8) meio suporte e (9) pontos internos de coleta de amostras do líquido residente

As análises laboratoriais foram realizadas em conformidade com recomendações do Standard Methods for the Examination (APHA, 1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, não se encontraram grandes diferenças no desempenho dos SACs, no que se refere à condutividade elétrica (CE). Em todas as fases avaliadas, os valores de CE efluente variaram de 209 a 597 $\mu\text{S cm}^{-1}$, sendo inferiores aos valores de 661 a 801 $\mu\text{S m}^{-1}$, obtidos por Nogueira (2003), que trabalhou com sistema alagado de fluxo vertical. Os valores de CE estiveram abaixo do valor de 700 $\mu\text{S cm}^{-1}$, considerado limite superior para uso agrícola sem restrição (Ayres & Westcot, 1991) e compatível com as condições consideradas adequadas para estabelecimento da taboa, que só apresenta problemas em relação à CE do meio quando os valores superam 4000 $\mu\text{S m}^{-1}$ (Pearson, 2005).

Os valores de pH efluente apresentaram-se próximos à neutralidade, com variação de 6,64 a 7,49 e média de 7,12 \pm 0,22, sendo mais instáveis que os valores afluentes. Os valores de pH efluente foram muito próximos aos considerados ideais para a ocorrência da digestão anaeróbia (na faixa de 6,8 a 7,2) (Valentim, 2003), principal processo de degradação biológica nos SACs.

Em todos os SACs, os valores de Eh afluente variaram de -280 a -81 mV e os valores efluentes oscilaram de -109 a +183 mV. Esses valores efluentes estão de acordo com os obtidos por Lienard (1987), que registrou valor máximo de +150 mV no efluente de um SAC. Segundo von Sperling (1996), meios em condições aeróbias apresentam Eh variando acima de 100 mV; em condições anóxicas, o Eh se encontra na faixa de -100 a +100 mV e, em condições anaeróbias, o Eh fica abaixo de -100 mV. Com base nesses parâmetros, os resultados desta pesquisa sugerem que os SACs operaram sob predominância de condição anaeróbia/anóxica, embora condições aeróbias tenham surgido nas posições finais dos leitos cultivados com a taboa, já que o efluente apresentou, em algumas ocasiões, Eh superior ao limite de condição de anoxicidade, conforme verificado em Brasil (2005).

Numa análise geral, os SACs, operando sob baixo t, apresentaram boa eficiência na remoção dos poluentes

avaliados e, também, produziram efluentes com baixa concentração de matéria orgânica, sólidos suspensos totais (SST) e baixo valor de turbidez. As concentrações efluentes de N-total, P-total e potássio, apresentadas na Tabela 1, podem ser consideradas relativamente baixas, mas a concentração de sódio e a contagem de coliforme fecais permaneceram altas.

No que se refere à DQO, as concentrações efluentes foram de 35 \pm 12 mg L⁻¹ nos SACs 1, 2 e 4, que operaram sob tempo de residência hidráulica t de 1,9 dias, e de 25 \pm 9 mg L⁻¹ no SAC 3, que operou sob tempo t de 3,8 dias, correspondendo a uma eficiência média de remoção de 87 \pm 3% no e de 90 \pm 3%, respectivamente. Esses resultados de eficiência de remoção de matéria orgânica podem ser considerados satisfatórios, uma vez que as taxas de carga orgânica em base de área superficial (TCO_A) do SACs, expressas em termos de DBO₅, variaram de 26 a 118 kg ha⁻¹ d⁻¹ superando, em parte, a carga recomendada pela U.S. EPA (2000) e ITRC (2003) para o tratamento de efluentes de tanque séptico em SACs, que é de apenas 60 kg ha⁻¹ d⁻¹. Os resultados de eficiência de remoção de DQO foram superiores aos 57% (estimado) obtidos por Valentim (2003), que tratou efluente de tanque séptico em SAC cultivado com *Typha sp.*, com tempo de retenção hidráulica t de 2 dias, e semelhantes aos obtidos por Rivera et al. (1997), que obtiveram remoção média de 87,4%, sob t de 1,7 dias.

Como se verifica na Tabela 1, o valor de concentração efluente de SST e de eficiência de sua remoção obtidos nos SACs 1, 2 e 4, foi inferior ao obtido no SAC 3, que operou com o dobro de t. Os valores de eficiência de remoção obtidos foram superiores aos 70% obtido por Valentim (2003), sob t de 2 a 4 dias, e semelhantes aos obtidos em pequenos SACs, utilizados no tratamento de esgoto doméstico na Austrália (Davison et al., 2004) e na República Checa (Vymazal, 2004). O valor médio de turbidez efluente e a eficiência de remoção média no SAC 3 foram superiores aos valores obtidos nos SACs 1, 2 e 4, que operaram com a metade do t.

No SAC 3, a eficiência média de remoção de N-total foi cerca de 24 pontos percentuais superior à eficiência obtida nos SACs 1, 2 e 4, que operaram com a metade do t. Esses resultados são compatíveis com os obtidos por Tunçsiper et al. (2004), que observaram eficiência média de remoção de 45% para N-Total, com t de 0,75 a 2,93 dias.

Tabela 1. Concentração de poluentes no efluente e remoções (média + desvio padrão) obtidas durante a avaliação dos SACs

Poluentes	SACFSHs 1, 2 e 4		SACFSH 3	
	Concentração efluente	Remoção (%)	Concentração efluente	Remoção (%)
DQO (mg L ⁻¹)	35 ± 12	87 ± 3	25 ± 9	90 ± 3
DQO solúvel (mg L ⁻¹)	26 ± 11	81 ± 7	19 ± 7	85 ± 6
SST (mg L ⁻¹)	7 ± 3	91 ± 6	7 ± 6	91 ± 10
Turbidez (UNT)	11 ± 7	80 ± 10	8 ± 6	86 ± 10
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	21 ± 10	33 ± 22	13 ± 6	57 ± 14
Fósforo total (mg L ⁻¹)	4 ± 3	35 ± 27	4 ± 4	48 ± 35
Potássio (mg L ⁻¹)	7 ± 5	35 ± 28	5 ± 4	52 ± 29
Sódio (mg L ⁻¹)	35 ± 13	4 ± 11	34 ± 10	7 ± 13
Coliforme total (NMP)	3,E+05 ± 3,3E+05	92,5 ± 5,7	3,E+04 ± 2,6E+04	99,8 ± 0,2
Coliforme fecais (NMP)	6,E+04 ± 2,7E+04	95,2 ± 5,1	8,E+03 ± 8,E+03	99,9 ± 0,1

A eficiência média de remoção de P-total no SAC 3, foi cerca de 13% superior à média obtida nos SACs 1, 2 e 4. Esses resultados de eficiência foram superiores ao valor médio de $23 \pm 36\%$ (estimado), obtido por Valentim (2003), que trabalhou com SAC cultivado com *Typha sp.* e sob t de 2 a 4 dias, mas se assemelham àqueles encontrados por Tunçsiper et al. (2004) que obtiveram eficiência média de remoção de P-Total de 38% em SAC cultivado com *Typha latifolia* e sob t de 0,75 a 2,93 dias.

Os valores de remoção de potássio obtidos nesta pesquisa, estão superiores aos apresentados por Vymazal (2004), que obteve remoção média de 11,7%, porém, as macrófitas utilizadas pelo citado autor foram: *Phalaris arundinacea* e *Phragmites australis*.

Quanto ao sódio, praticamente não houve remoção nos SAC, apresentando resultado semelhante aos obtidos na República Tcheca, por Vymazal (2004). Além da relativamente alta concentração presente na água residuária, os fatores que mais contribuíram para o insucesso do sistema na remoção de sódio foram a grande solubilidade desse elemento químico, a baixa absorção pelas plantas e a baixa associação com o material orgânico, eficientemente, retido por processos físicos.

As remoções de coliformes totais e fecais foram razoáveis, embora as contagens de coliformes fecais no efluente permanecessem acima de 1×10^2 (100 mL)⁻¹, valor recomendado pela OMS como limite para uso de águas na irrigação de vegetais a serem consumidos crus. Esses resultados obtidos nesta pesquisa estão condizentes com os obtidos por Garcia et al. (2003) e com os reportados em literatura especializada (U.S. EPA, 2000), que afirmam que se conseguem remoções em torno de duas unidades logarítmicas de coliformes fecais em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de esgoto doméstico submetido a tratamento primário.

Na Figura 2, apresentam-se os valores de concentração de DQO e SST como função do tempo de residência hidráulica do líquido nos leitos cultivados. Pode-se verificar que o tempo t de 0,8 dia foi suficiente para proporcionar de 90 a 99% da remoção total conseguida nos tempos máximos de residência hidráulica do líquido nos leitos cultivados. Esses resultados indicam, ainda, que os SACs podem apresentar menor comprimento que os usados nos experimentos, sem grandes perdas de eficiência na remoção de carga orgânica da água residuária.

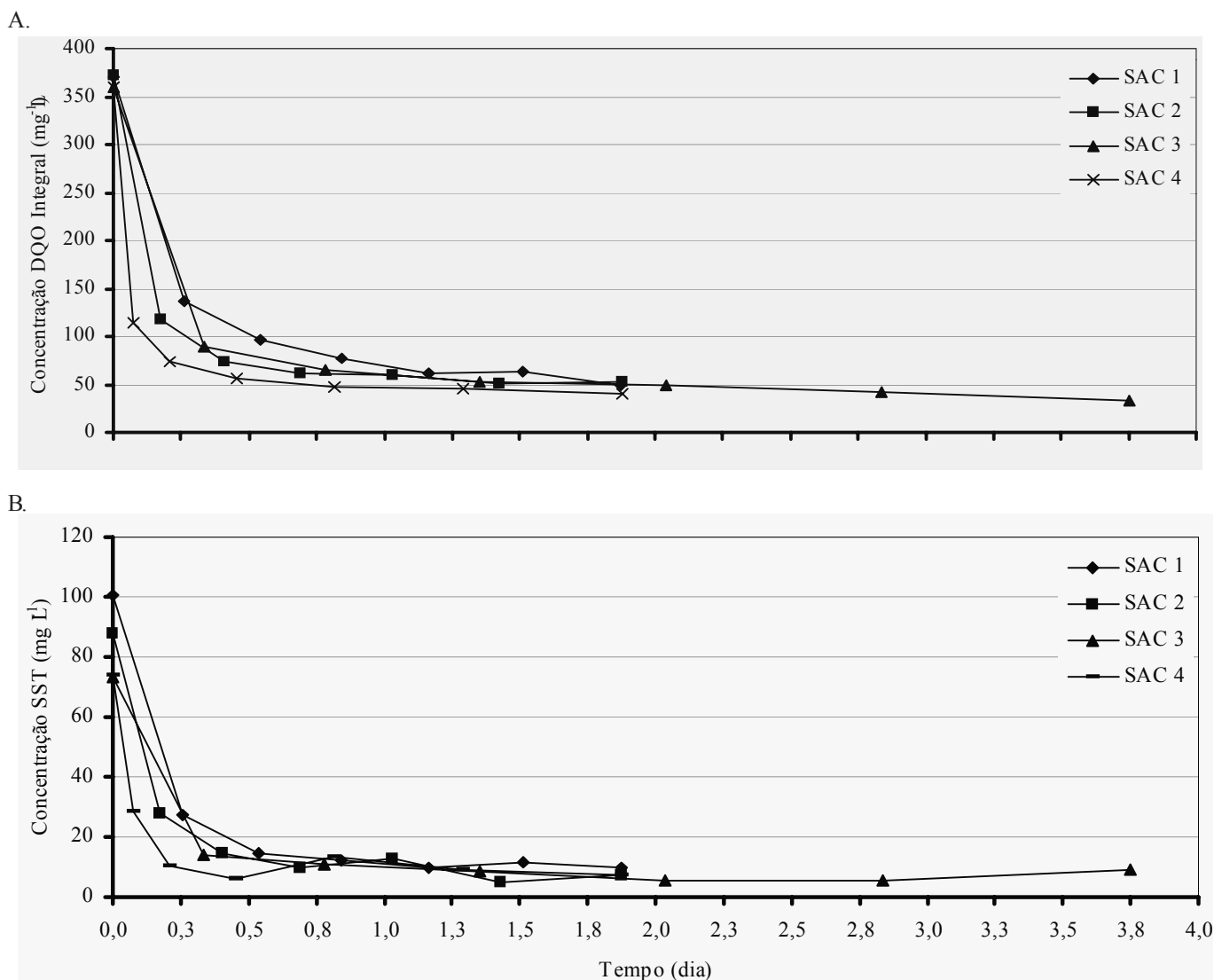


Figura 2. Concentrações de DQO (A) e SST (B) no líquido residente em função do tempo t, ao longo dos SACs.

Considerando-se a relativamente alta concentração de sódio no efluente do tratamento de esgoto doméstico, recomenda-se que a lâmina a ser aplicada no solo para a fertirrigação de culturas agrícolas seja estabelecida com base na quantidade máxima de sódio que o sistema solo-planta possa receber.

Como a contagem de coliformes fecais no efluente se encontra, ainda, alta, não se recomenda o uso do efluente de SACs na fertirrigação, por aspersão, de culturas cujo produto seja consumido cru, a menos que ele seja submetido, previamente, a processo de desinfecção complementar.

CONCLUSÕES

1. O tempo de residência hidráulica de 1,9 dias nos SACs foi suficiente para produzir um efluente cujas características físicas, químicas e bioquímicas atendessem aos padrões de lançamento em corpos hídricos receptores.

2. O efluente de SACs apresenta qualidade para uso na fertirrigação de culturas agrícolas, como forma de reúso agrícola da água, porém deve-se ter a precaução de estabelecer a dose de forma a não se aplicar excessivas quantidades de sódio no solo.

LITERATURA CITADA

- Al Jiroudi, D.; Barjenbruch, M. Operational experience results of wetlands in comparison with small technical plants. In: International Conference on Waste Stabilisation Ponds, 6, and International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 9, 2004, Avignon. Proceedings ... Avignon: IWA/Astee, 2004. CD-Rom.
- APHA - American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19^o.ed. New York: APHA, AWWA, WPCR, 1995.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.
- Brasil, M.S. Desempenho de sistema alagado construído para tratamento de esgoto doméstico. Viçosa: UFV, 2005. 160p. Tese Doutorado.
- Davison, L.; Headley, T.; Pratt, K. Performance and sustainability of small horizontal flow wetlands. Avignon: In: International Conference on Waste Stabilisation Ponds, 6, and International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 9, 2004, Avignon. Proceedings ... Avignon: IWA/Astee, 2004. CD-Rom.
- Garcia, J.; Vivar, J.; Aromir, M.; Mujeriego, R. Role of hydraulic retention time and granular medium in microbial removal in tertiary treatment reed beds. Water Research, Amsterdam, v.37, p.2645-2653, 2003.
- ITRC-Interstate Technology & Regulatory Council. Technical and regulatory guidance document for constructed treatment wetlands. New Jersey: ITRC, 2003. 199p.
- Lienard, A. Domestic wastewater treatment in tanks with emergent hydrophytes: latest results of a recent plant in France. Water Science and Technology, London, v.19, n^o.12, pp.373-375, 1987.
- Koottatep, T.; Surinkul, N.; Kamal, A. S.; Polprasert, C.; Strauss, M. Material fluxes in constructed wetlands treating septage and their polishing systems. In: International Conference on Waste Stabilisation Ponds, 6, and International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 9, 2004, Avignon. Proceedings ... Avignon: IWA/Astee, 2004. CD-Rom.
- Matos, A.T. Tratamento e destinação final dos resíduos gerados no beneficiamento do fruto do cafeeiro. Produção Integrada de Café. In: ZAMBOLIM, L. (ed.). Viçosa: UFV, DPF, 2003. p.647-705.
- Nogueira, S.F. Balanço de nutrientes e avaliação de parâmetros biogeoquímicos em áreas alagadas construídas para o tratamento de esgoto. Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2003. 137p. Dissertação Mestrado.
- Pearson, K.E. Salinity, sodicity and flooding tolerance of selected plant species of the northern Cheyenne reservation. College of Agriculture/Montana State University. http://waterquality.montana.edu/docs/methane/cheyenne_highlight.shtml. 15 Abr. 2005
- Rivera, F.; Warren, A.; Curds, C. R.; Robles, E.; Gutierrez, A.; Gallegos, E.; Calderón, A. The application of the root zone method for the treatment and reuse of high-strength abattoir waste in Mexico. Water Science and Technology, London, v.35, n.5, p.270-278, 1997.
- Tunçsiper, B.; Ayaz, S.Ç.; Akça, L. Performances analysis and modeling of an experimental constructed wetlands. Avignon: In: International Conference on Waste Stabilisation Ponds, 6, and International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 9, 2004, Avignon. Proceedings ... Avignon: IWA/Astee, 2004. CD-Rom.
- U.S. Environmental Protection Agency. Manual Constructed Wetlands for Municipal Wastewater Treatment. EPA 625-R-99-010, US EPA ORD, Cincinnati, Ohio, 2000. <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL>. 15 fev. 2005.
- Valentim, M.A.A. Desempenho de leitos cultivados ("constructed wetland") para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação. Campinas: UNICAMP/FEAGRI, 2003. 210p. Tese Doutorado.
- von Sperling, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996. 211p.
- Vymazal, J. Removal of phosphorus via harvesting of emergent vegetation in constructed wetlands for wastewater treatment. In: International Conference on Waste Stabilisation Ponds, 6, and International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 9, 2004, Avignon. Proceedings ... Avignon: IWA/Astee, 2004. CD-Rom.