

## II-065 - INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DE PLANTAS NAS CONDIÇÕES HIDRODINÂMICAS DE SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS DE ESCOAMENTO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL

**Mateus Pimentel de Matos<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Recursos Hídricos e Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFV. Doutorando em Saneamento no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Marcos von Sperling<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Engenharia Sanitária pela UFMG. Doutor em Environmental Engineering - Imperial College, London. Professor Titular da UFMG.

**Antonio Teixeira de Matos<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Agrícola pela UFV. Doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela UFV. Professor Titular da UFV.

**Ricardo Gomes Passos<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Engenheiro na Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Antonio Carlos, 6627, Campus Pampulha, Escola de Engenharia, Bloco 1, 4º andar. Belo Horizonte-MG. e-mail: matmatos\_eaa@yahoo.com.br

### RESUMO

Sistemas alagados construídos (SAC) compreendem reatores naturais, que têm sua eficiência dependente das condições hidrodinâmicas de escoamento que, por sua vez, são influenciadas pela configuração das unidades e pela colmatagem do meio poroso. Esse fenômeno causa diminuição na porosidade drenável, implicando em formação de caminhos preferenciais, com redução do tempo de detenção hidráulica (TDH) e da capacidade de remoção de poluentes pelo sistema. A influência da planta na obstrução dos vazios do meio poroso ainda não é totalmente compreendida, podendo atuar, tanto na aceleração do processo, pela contribuição de sólidos vegetais, raízes e rizomas, como na sua atenuação, pela criação de canais internos. Já a participação desses vegetais na remoção de poluentes é reconhecida, sendo a taxa de absorção maior quando as plantas encontram-se em crescimento. Por outro lado, a elevação das perdas hídricas, maiores no estágio final de desenvolvimento vegetal, podem majorar a eficiência, devido à elevação do TDH em virtude da diminuição da vazão. No presente trabalho, teve-se como objetivo avaliar as condições hidrodinâmicas de dois SAC, em três condições distintas: (a) sem plantas (controle), (b) com taboa (*Typha latifolia*) em florescimento e (c) com a mesma planta em estágio de crescimento. Para isso, utilizou-se um traçador salino, tendo uma solução aplicada em pulso, de concentração igual  $133,33 \text{ g L}^{-1}$  de NaCl, monitorando a saída do sal por meio de um condutivímetro. Diversas variáveis hidrodinâmicas foram calculadas a partir dos resultados da concentração e da massa de NaCl medidas, e do tempo de duração da passagem do traçador. Os resultados indicaram que o acúmulo de sólidos, verificando no SAC controle, assim como a presença de raízes e rizomas, proporcionou aumento da dispersão no meio poroso, tendo  $d$  igual a 0,16 no SAC sem plantas e respectivamente, 0,20 e 0,64, antes e após o corte da parte aérea. Por outro lado, o SAC controle (não plantado) é que tem seu meio poroso mais colmatado, observado pelo maior índice de curtos-circuitos. A evapotranspiração causou elevação no TDH e redução da dispersão no meio poroso, tendo o estágio de desenvolvimento da planta influência sobre essas duas variáveis. O corte da taboa propiciou elevação na mistura nos SAC-EHSS, além da capacidade de extratora de sódio pelas plantas, tendo porcentagem de recuperação de 56%, contra 89%, no estágio de florescimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** curtos circuitos, colmatagem, dispersão, eficiência hidráulica, taboa.

## INTRODUÇÃO

Sistemas alagados construídos (SAC) ou *wetlands* construídos são unidades de tratamento que têm sua eficiência na remoção de poluentes dependente das condições ambientais, sobretudo temperatura, estágio de desenvolvimento da espécie vegetal plantada e das condições hidrodinâmicas de escoamento (von SPERLING, 1996; KADLEC; WALLACE, 2009). Essas últimas são influenciadas pela relação comprimento/largura, configuração de entrada e saída do sistema, além da colmatação, podendo alterar a efetividade dos SAC (PERSSON et al., 1999). A ocorrência desse fenômeno proporciona alteração nas condições hidrodinâmicas dos SAC, em virtude da obstrução dos poros e formação de zonas mortas e caminhos preferenciais, com redução no tempo de detenção hidráulica (TDH) no sistema, o que pode implicar em perda de sua eficiência na remoção de poluentes (ROUSSEAU et al., 2005; NIVALA; ROUSSEAU, 2009; BABATUNDE, 2010).

A influência da planta na colmatação é, ainda, assunto controverso, podendo tanto acelerar quanto atenuar o fenômeno. A contribuição dos sólidos vegetais e a ocupação dos poros pelas raízes e rizomas pode levar à diminuição na condutividade hidráulica e redução no volume de vazios do meio poroso (TANNER; SUKIAS, 1995; PEDESCOLL et al., 2011). Por outro lado, a expansão dos poros pela ação das mesmas estruturas vegetais, e a criação de caminhos pela degradação dessas, atuaria no sentido contrário (BRIX, 1997; MATOS et al., 2008; TURON et al., 2009; FU et al., 2013).

Quanto à participação das plantas na remoção de solutos, é reconhecida a sua significativa contribuição, apesar de alguns questionamentos que parecem ser em razão da carga aplicada (MATOS et al., 2010; FIA et al., 2011). Segundo Chazarenc et al. (2003) e Chazarenc et al. (2010), maiores taxas de evapotranspiração favorecem melhores condições de escoamento no meio poroso, com elevação no tempo de detenção hidráulica, variável chave na questão da eficiência de remoção de poluentes. Maiores perdas hídricas por transpiração são obtidas com o aumento na área foliar das plantas, o que é alcançado próximo ao período de florescimento ou emissão de sementes pelas plantas (BRASIL; MATOS, 2008), enquanto na fase de crescimento vegetativo ocorrem as maiores taxas de absorção de solutos (GE et al., 2007). Assim, no presente trabalho, objetivou-se avaliar as condições hidrodinâmicas em sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial (SAC-EHSS), em diferentes situações: (a) estágio final de crescimento das plantas, (b) logo após o corte da parte aérea das plantas e (c) em sistema não plantado (controle), utilizando, para isso, um traçador salino (cloreto de sódio). Além disso, objetivou-se verificar a influência da planta, em diferentes estádios de seu desenvolvimento, nas condições hidrodinâmicas dos SAC.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes com traçadores foram conduzidos em dois sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial (SAC-EHSS), em escala real para pequenas comunidades (projeto para 50 habitantes cada), instalados no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS), UFMG/Copasa. A unidade experimental está localizada na Estação de Tratamento de Esgotos, na bacia hidrográfica do Ribeirão Arrudas (ETE Arrudas), em Belo Horizonte, MG. Os dois reatores avaliados entraram em operação em 2007 e têm comprimento de 25,0 m, largura de topo de 3,0 m e altura total do substrato (escória de alto forno,  $d_{10}$  de 19 mm, com índice de vazios igual a  $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) de 0,4 m, incluindo 0,1 m de folga (camada de borda livre não saturada). No entanto, como em grande parte dos sistemas houve presença do escoamento superficial, considerou-se a altura útil igual à total. Ambos os SAC-EHSS são alimentados, de forma contínua, com esgoto sanitário previamente tratado em um reator UASB. Um resumo dos testes realizados para avaliação da hidrodinâmica no SAC plantado, não plantado e após o corte da parte aérea da taboa (plantas em crescimento) está apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1. Resumo dos ensaios hidrodinâmicos realizados nos SAC-EHSS avaliados no estudo.**

Unidade	Concentração da solução de NaCl aplicada (g L <sup>-1</sup> )*	Altura média da taboa (cm)**	Data e horário da aplicação do traçador	Duração da aplicação (min) ****	Intervalo de coleta de dados (min)	Duração do teste (min)
SAC plantado em estádio de florescimento	133,33	240	25/06/14, às 15 h 00 min	26	20	7205
SAC controle (sem plantas)	133,33	-	03/07/14, às 10 h 41 min	18	20	5924
SAC plantado em estádio de crescimento	133,33	11**	01/08/14, às 13 h 24 min	20	10	11275

\*Mesma concentração utilizada por Chazarenc et al. (2003); \*\* Acima do nível do leito; \*\*\* Corte da parte aérea efetuada no dia 31/07/14. \*\*\*\* Inferiores a 2% do TDH, como recomendado por Bracho et al. (2009), citados por Possmoser-Nascimento (2014).

As concentrações do traçador salino no efluente dos SAC-EHSS, ao longo do período de monitoramento, foram obtidas, de forma indireta, pela medição da condutividade elétrica (CE), utilizando-se a sonda *Global Water® WQ301A-O* (detecção de 0 a 5.000 µS cm<sup>-1</sup>). Os dados foram armazenados em um *data logger* acoplado, havendo o monitoramento da CE até que essa alcançasse valores normalmente encontrados na água residuária (esgoto sanitário) em tratamento. O cálculo da concentração equivalente de NaCl foi feito utilizando-se a Equação 1, obtida por meio de calibração por Possmoser-Nascimento (2014), para a mesma sonda, para a qual se obteve R<sup>2</sup> igual a 0,9989.

$$[\text{NaCl}] = 0,5258 \times (\text{CE}_{\text{med}} - \text{CE}_{\text{back}}) - 3,4836 \quad \text{Equação (1)}$$

Durante a condução dos testes, as vazões afluente e efluente foram medidas, de forma a possibilitar o cálculo do TDH teórico ou nominal (TDH<sub>n</sub>) e da porcentagem de recuperação do traçador (Rec). Na Equação (2), está apresentada a fórmula para o cálculo do TDH<sub>n</sub>, que é obtido pela razão entre o volume de poros (V<sub>p</sub>) e a vazão média, por sua vez, que é calculada considerando-se as vazões afluente e efluente ao sistema. Esse artifício tem a finalidade de diminuir os efeitos que a evapotranspiração tem no tempo teórico de permanência da água residuária (BRASIL; MATOS, 2008). O volume poroso no qual a água residuária realmente escoar é dado pelo produto entre o comprimento (L), largura (B), altura (h) e porosidade drenável (ε):

$$\text{TDH}_n = \frac{V_p}{Q} = \frac{L \cdot B \cdot h \cdot \varepsilon}{Q} \quad \text{Equação (2)}$$

O TDH obtido pelo monitoramento das concentrações do NaCl após adição em pulso é o TDH médio (TDH<sub>m</sub>), tal como apresentado na Equação (3), na qual, c(t) em mg L<sup>-1</sup>, é a concentração obtida no tempo t, em min.

$$\text{TDH}_m = \frac{\int c(t) dt}{\int c(t) dt} \quad \text{Equação (3)}$$

A porcentagem de recuperação (Equação (4)) permite que se façam inferências a respeito da influência da absorção pelas plantas na concentração efluente do traçador.

$$\text{Rec} = \frac{[\text{NaCl}] \times Q_{\text{af}} \times t_m}{m_{\text{adic}}} \quad \text{Equação (4)}$$

O somatório da concentração de NaCl (g m<sup>-3</sup>) quantificada, a cada tempo t<sub>m</sub>, que é o intervalo de armazenamento de dados (min), multiplicado por esse tempo (apresentado na Tabela 1) e pela vazão afluente (m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>), proporciona a estimativa da massa recuperada. A divisão dessa pela massa adicionada (m<sub>adic</sub> = 10,0 kg de NaCl) fornece a porcentagem de recuperação (Rec) do traçador salino utilizado.

Outras variáveis calculadas para comparação das condições hidrodinâmicas no meio poroso foram o número de dispersão (d), a eficiência hidráulica (λ), o número equivalente de tanques em série (N) e o índice de curtos-circuitos (ICC), estando as equações utilizadas apresentadas a seguir.

$$\frac{\sigma^2}{(TDH_m)^2} = 2d - 2d^2 \cdot (1 - \exp^{-d}) \quad \text{Equação (5)}$$

$$ICC = \frac{t_i}{TDH_m} \quad \text{Equação (6)}$$

$$g(t) = \frac{N}{TDH_m \cdot \Gamma(N)} \times \left( \frac{N \cdot TDH_m}{TDH_m} \right)^{N-1} \times \exp \left( -\frac{N \cdot TDH_m}{TDH_m} \right) \quad \text{Equação (7)}$$

$$\lambda = \frac{t_p}{(TDH_m)} \quad \text{Equação (8)}$$

Em que,  $\sigma^2$  é a variância;  $t_i$  é o tempo no qual ocorre a detecção do traçador no efluente (min);  $g(t)$  é a função gama;  $\Gamma(N)$  é a função gama de  $N = (N - 1)!$ ; e  $t_p$  é o tempo que corresponde ao pico (maior concentração) (min) (LEVENSPIEL, 2000; METCALF; EDDY, 2003; KADLEC; WALLACE, 2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o monitoramento e aquisição de dados de CE no efluente dos SAC-EHSS e conversão dos valores em concentração de cloreto de sódio equivalente, foi possível obter as variáveis necessárias para comparação das condições hidrodinâmicas nos SAC-EHSS, nas três diferentes condições analisadas (Tabela 2).

**Tabela 2. Variáveis medidas e calculadas nos três SAC-EHSS, após a aplicação do traçador salino.**

Unidade	$Q_{af}$ ( $m^3 d^{-1}$ )	$Q_{ef}$ ( $m^3 d^{-1}$ )	$TDH_n$ (d)	$TDH_m$ (d)	Rec (%)	d	$t_i$ (min)	ICC	N	$t_p$ (min)	$\lambda$
<b>SAC plantado em estágio de florescimento</b>	7,48	6,08	1,55	1,45	89	0,20	405	0,19	3	1165	0,52
<b>SAC controle (sem plantas)</b>	9,31	7,73	1,23	1,06	79	0,16	344	0,23	4	924	0,52
<b>SAC plantado em estágio de crescimento</b>	7,74	6,85	1,44	1,38	56	0,64	345	0,17	2	885	0,43

Em que,  $Q_{af}$  e  $Q_{ef}$  são as vazões afluente e efluente,  $TDH_n$  é o valor do tempo de detenção nominal ou teórico e  $TDH_m$ , o TDH medido pelo teste com traçador.

Por terem os dois SAC, as mesmas dimensões, e não diferirem significativamente pelo teste de Wilcoxon ( $\alpha=0,05$ ) quanto à temperatura (23,3 °C no SAC plantado e 23,5 °C no SAC controle) da água residuária tratada nas unidades, pode-se atribuir as evidências observadas às plantas e aos sólidos presentes.

Como esperado, as maiores perdas hídricas foram observadas no SAC-EHSS plantado antes de ser efetuado o corte da parte aérea das plantas, tendo sido obtido um percentual de 18,7% nessa unidade, contra 17,0% e 11,5%, respectivamente, no SAC controle (não plantado) e plantado em estágio de crescimento. Mesmo tendo sido atenuado o efeito do déficit hídrico nos cálculos, já que se trabalhou com a vazão média, observa-se que o SAC controle apresentou maior diferença entre o  $TDH_n$  e  $TDH_m$ , indicando que está em estágio mais avançado de colmatção, o que também pode ser verificado pelo maior valor apresentado do índice de curtos-circuitos (ICC). Também é possível verificar que, ao contrário da expectativa, maiores valores de perda hídrica foram encontrados na unidade não plantada do que naquela com menor área foliar. Uma hipótese é que o escoamento superficial exponha o líquido de tal forma que as perdas por evaporação no SAC em estado mais crítico, em termos de colmatção, superem a transpiração da taboa em crescimento.

Analizando os dados apresentados na Tabela 2, verifica-se que há maior dispersão longitudinal na unidade plantada, tendo sido obtidos maiores valores de d, assim como observaram Magalhães et al. (2013). De acordo com Seifert e Engesgaard (2007), o escoamento por um meio mais irregular leva a um aumento na dispersão, aparentemente causado pela presença de raízes e rizomas. Nota-se, também, que após efetuado o corte da parte aérea, houve aumento no valor de d do sistema. Especula-se que isso esteja associado às menores perdas hídricas que, segundo Chazarenc et al. (2003), contribuem para diminuição na dispersão em SAC, e à maior

absorção de nutrientes na fase de crescimento, estágio que poderia favorecer, assim como outras situações de estresse, a formação de maior quantidade de pêlos absorventes nas raízes das plantas (GARMETT et al., 2009).

A variável  $\lambda$ , que corresponde à relação entre o tempo de pico e o tempo nominal, não apresentou nenhuma tendência aparente, possivelmente pela maior tortuosidade criada pelas "redes" radiculares, que proporcionam aumento no valor de  $t_p$ , mas que não é possível prever no cálculo do  $TDH_n$ . Paoli e von Sperling (2013) estudaram os mesmos SAC-EHSS, num período em que estes encontravam-se menos colmatados (apenas após 2 anos de operação), com uso de um traçador radioativo ( $^{82}\text{Br}$ ). Os autores também observaram maior dispersão no SAC-EHSS plantado, no entanto, com valor de  $d$  inferior aos encontrados atualmente (0,089 e 0,094), indicando que, além das raízes e rizomas, os sólidos acumulados ao longo do tempo também contribuem para o fenômeno descrito por Seifert e Engesgaard (2007). Se a dispersão é maior nas unidades plantadas, por consequência, esse sistema aproxima-se menos de um reator ideal de fluxo em pistão, tendo menores valores de número de tanques em série ( $N$ ).

A porcentagem de recuperação foi menor após o corte da parte aérea, possivelmente pela maior capacidade de absorção da taboa em crescimento, porém a adsorção no material orgânico de colmatção parece também ser parte importante no processo, em razão do SAC controle apresentar maiores perdas em relação à unidade em estágio de florescimento.

Assim, as plantas influenciaram na hidrodinâmica, mais especificamente no TDH e na dispersão, dos sistemas. Se por um lado, as plantas em estágio final de crescimento proporcionam maior perda de água nos SAC-EHSS, contribuindo para maior tempo de permanência dos poluentes no reator e o aproximando ligeiramente mais do regime de escoamento tipo mistura completa, por outro lado, apresentam menor capacidade de absorção de solutos. A menor capacidade de absorção de solutos parece ser fator de maior influência na eficiência do sistema na remoção de poluentes, tal como observaram Koottatep e Polprasert (1997), Álvarez e Bécares (2008) e Lee et al. (2009).

## CONCLUSÕES

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

- O acúmulo de sólidos e a presença de raízes e rizomas, ou seja, a colmatção do meio poroso, proporciona aumento da dispersão nesses reatores;
- Os resultados obtidos com o teste do traçador possibilitam que se afirme que o SAC controle (não plantado) encontra-se em estágio mais avançado de colmatção que o SAC plantado;
- A evapotranspiração atua no sentido de redução da mistura do líquido e do aumento do TDH nos SAC-EHSS;
- Plantas em estágio de crescimento têm maior capacidade de absorção de solutos, o que pode levar à maior dispersão no meio.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, Capes, Finep, Fapemig e Copasa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ÁLVAREZ, J.A.; BÉCARES, E. The effect of vegetation harvest on the operation of a surface flow constructed wetland. *Water SA* (Online), v.34, n.5, 2008.
2. BRASIL, M.S.; MATOS, A.T. Avaliação de aspectos hidráulicos e hidrológicos de sistemas alagados construídos de fluxo subsuperficial. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, p. 323-328, 2008.
3. BRIX, H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science and Technology*, v.35, n.5, p.11-17, 1997.



4. CHAZARENC, F.; MERLIN, G. GONTHIER, Y. Hydrodynamics of horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, v.21, p.165–173, 2003.
5. CHAZARENC, F.; NAYLOR, S.; COMEAU, Y.; MERLIN, G.; BRISSON, J. Modeling the Effect of Plants and Peat on Evapotranspiration in Constructed Wetlands. *International Journal of Chemical Engineering*, v.2010, 6p., 2010.
6. FIA, F.R.L.; MATOS, A.T.; FIA, R.; LAMBERT, T.F.; MATOS, M.P. Remoção de nutrientes por *Typha latifolia* e *Cynodon* spp. cultivadas em sistemas alagados construídos. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. v.6, n.1, 2011.
7. FU, G.; ZHANG, J.; CHEN, W.; CHEN, Z. Medium clogging and the dynamics of organic matter accumulation in constructed wetlands *Ecological Engineering*, v.60, p.393-398, 2013.
8. GARMETT, T.; CONN, V.; KAISER, B.N. Root based approaches to improving nitrogen use efficiency in plants. *Plant, Cell and Environment*, v.32, p.1272-1283, 2009.
9. GE, Y.; LI, S.P.; NIU, X.Y.; YUE, C.L.; XU, Q.S.; CHANG, J. Sustainable growth and nutrients uptake of plants in a subtropical constructed wetland in southeast China. *Fresenius Environmental Bulletin*, v.16, n.9, p.1023-1029, 2007.
10. KADLEC, R.H.; WALLACE, R.D. *Treatment Wetlands*. 2a ed. Florida: CRC Press, 1016p, 2009.
11. KOOTTATEP, T.; POLPRASERT, C. Role of plant uptake on nitrogen removal in constructed wetlands located in the tropics. *Water Science and Technology*, v.36, n.12, p.1-8, 1997.
12. LEE, C.; FLETCHER, T.D.; SUN, G. Nitrogen removal in constructed wetland systems. *Engineering in Life Sciences*, v.9, n.1, p.11–22, 2009.
13. LEVENSPIEL, O. *Chemical Reaction Engineering*. 3a ed. New York: John Wiley e Sons, 2000. 668p.
14. MAGALHÃES FILHO, F.J.C.; SILVA, J.B.; PAULO, P.L. Hidrodinâmica de um wetland construído combinado com um sistema por evapotranspiração como pré-tratamento. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v.1, n.2, p.276-285, 2013.
15. MATOS, A.T.; ABRAHÃO, S.S.; PEREIRA, O.G. Desempenho agrônômico de capim tifton 85 (*cynodon* spp) cultivado em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de água residuária de laticínios. *Revista Ambiente & Água*, v. 3, p. 43-53, 2008.
16. MATOS, A.T.; ABRAHÃO, S.S.; BORGES, A.C; MATOS, M.P. Influência da taxa de carga orgânica no desempenho de sistemas alagados construídos cultivados com forrageiras. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.15, n.1. p.83-92, 2010.
17. METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment Disposal and Reuse*. 4ª ed. New York: McGraw-Hill, 1818p., 2003.
18. NIVALA, J.; ROUSSEAU, D.P.L. Reversing clogging in subsurface-flow constructed wetlands by hydrogen peroxide treatment: two case studies. *Water Science and Technology*, v.59, p.2037-2046, 2009.
19. PAOLI, A.C.; von SPERLING, M. Avaliação das condições hidrodinâmicas de wetlands construídos de escoamento horizontal subsuperficial (unidades plantada e não plantada). *GESTA*, v.1, n.2, p.213-222, 2013.
20. PEDESCOLL, A.; CORZO, A.; ÁLVAREZ, E.; GARCÍA, J.; PUIGAGUT, J. The effect of primary treatment and flow regime on clogging development in horizontal subsurface flow constructed wetlands: An experimental evaluation. *Water Research*, v.45, p.3579-3589, 2011.
21. PERSSON, J., SOMES, N.L.G., WONG, T.H.F.. Hydraulics efficiency of constructed wetlands and ponds. *Water Science and Technology*, v.40, n.3, p.291–300, 1999.
22. POSSMOSER-NASCIMENTO, T.E. Lodo em lagoas de polimento: acúmulo e implicações no comportamento hidrodinâmico e no desempenho do sistema. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. UFMG, Belo Horizonte, MG, 114p, 2014.
23. ROUSSEAU, D.P.L; HORTON, D.; VANROLLEGHEM, P.A.; de PAUW, N. Impact of operational maintenance on the asset life of storm reed beds. *Water Science and Technology*, v.51, v.9., p.243–50, 2005.
24. SEIFERT, D.; ENGESGAARD, P. Use of tracer tests to investigate changes in flow and transport properties due to bioclogging of porous media. *Journal of Contaminant Hydrology*, v.93, p.58–71, 2007.
25. TANNER, C.T.; SUKIAS, J.P. Accumulation of organic solids in gravel-bed constructed wetlands. *Water Science and Technology*, v.32, n.3. p.229-239, 1995.
26. TURON, C.; COMAS, J.; POCH, M. Constructed wetland clogging: A proposal for the integration and reuse of existing knowledge. *Ecological Engineering*, v.35, p.1710–1718, 2009.
27. von SPERLING, M. *Princípios básicos do tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. v.2, 1. ed. DESA. Belo Horizonte, 1996. 211p.