

## HIDRODINÂMICA DE UM WETLAND CONSTRUÍDO COMBINADO COM UM SISTEMA POR EVAPOTRANSPIRAÇÃO COMO PRÉ-TRATAMENTO

### Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho

Mestre em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos/UFMS. Universidade Católica Dom Bosco. (fernandojcmf@hotmail.com)

### Jhonatan Barbosa da Silva

Doutorando em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos/UFMS. (mail.jhonatan@gmail.com)

### Paula Loureiro Paulo

Doutora em Ciências Ambientais/Wageningen University and Research Centrum-NE. Departamento de Hidráulica e Transportes do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. (paula.paulo@ufms.br)

### Resumo

Este trabalho realizou estudos hidrodinâmicos de um wetland de fluxo horizontal subsuperficial (CW-FHS), construído para tratamento domiciliar de água cinza, desenvolvido como um sistema compacto associado a uma câmara de evapotranspiração (CEvap). A CEvap é o pré-tratamento do CW-FHS, a qual visa simplificar os tratamentos domiciliares que usam *wetlands* construídos, pois irá reter o material grosseiro e digerir a matéria orgânica, dentro de uma câmara interna de digestão anaeróbia (CDig). Esta tem ao seu redor uma camada de meio filtrante e, no topo, uma camada de terra com plantas ornamentais. Com a CEvap, serão evitados entupimento, mau odor e manutenção excessiva do wetland, além de proporcionar um aspecto paisagístico harmonioso em habitações. Para isso, foi avaliado o comportamento hidráulico do sistema proposto, por meio de ensaios hidrodinâmicos, considerando os seguintes fatores: efeito das plantas; formação de biofilme e de lodo na câmara de evapotranspiração. O sistema combinado apresentou excelente eficiência hidráulica; inclusive, a presença de plantas manteve a eficiência hidráulica, enquanto propiciou melhores condições de mistura no reator, diminuindo o curto-circuito. Entretanto, a CDig, embora tenha melhorado a eficiência hidráulica do sistema como um todo, diminuiu a sua eficiência volumétrica.

**Palavras chave:** Comportamento hidráulico, água cinza, wetland.

### Abstract

This work conducted hydrodynamic studies of a horizontal subsurface flow constructed wetland (CW-HSF) built for greywater treatment on household level, developed as a compact system associated to evapotranspiration bed (CEvap). The CEvap is the pretreatment of the CW-HSF, the aims to simplify home treatments using constructed wetlands, which will retain the coarse material and digest organic matter within an anaerobic chamber of digestion (CDig). This has a layer around the filter medium, and the top a layer of earth with ornamental plants. CEvap will be avoided clogging, bad odor and excessive maintenance of the wetland, and provide a harmonious aspect landscaped homes. For this, was evaluated the hydraulic behavior of the proposed system through hydrodynamic testing, considering the following factors: effect of plants; biofilm and sludge formation in evapotranspiration bed. The combined system showed excellent hydraulic efficiency, even the presence of plants maintained the hydraulic efficiency, while it gave better mixing conditions in the reactor, reducing the short circuit. However, CDig, although improving the hydraulic efficiency of the system as a whole, decreased volumetric efficiency.

**Keywords:** hydraulic behaviour, greywater, wetland.

## INTRODUÇÃO

Os sistemas de *wetlands* construídos são considerados uma alternativa ecológica de tratamento de esgotos sanitários utilizados para água cinza (PAULO et al., 2009). Entretanto, independente do nível de tratamento (secundário ou terciário) que será promovido pelo *wetland* construído, há a necessidade de uma unidade de tratamento preliminar, que seja eficiente na retenção de sólidos grosseiros, com o objetivo de evitar que esses sólidos possam comprometer o bom funcionamento do sistema, com a obstrução do espaço livre do meio filtrante e acelerar o fenômeno de colmatação e/ou entupimento (PHILIPPI; SEZERINO, 2004; HOFFMANN et al., 2011).

Devido aos inconvenientes que a colmatação pode causar nos CWs, há necessidade de estudos que visem avaliar, compreender e prevenir o desenvolvimento do processo de entupimentos nesses filtros (TANNER et al., 1998; ROUSSEAU et al., 2005; KNOWLES et al., 2010). A colmatação diminui o tempo de vida desses sistemas e pode causar efeitos negativos na eficiência do tratamento (CASELLES-OSÓRIO et al., 2007), devido à obstrução do meio filtrante, criando fluxos preferenciais, curto-circuito e odores (BLAZEJEWSKI; MURAT-BLAZEJEWSKA, 1997; PLATZER; MAUCH, 1997).

Paulo et al. (2013) utilizaram um sistema híbrido de *wetlands* (fluxo horizontal seguido por fluxo vertical) construído para tratar água cinza, e observaram que o pré-tratamento adotado (caixa de gordura para fração da pia da cozinha, seguido por um tanque de sedimentação) não era suficiente para reter a gordura e o excesso de sólidos provindos da pia da cozinha, implicando em manutenção constante. Porém, quando retirada essa fração, tratando apenas água cinza clara, diminuiu consideravelmente a manutenção do sistema, sendo necessário apenas o tanque de sedimentação.

Um método conveniente e amplamente utilizado é o uso de sal como traçador para estudos de hidrodinâmica em CWs (CHAZARENC et al., 2003; KADLEC; WALLACE, 2008). Os resultados dos testes com traçadores fornecem

dados como: a distribuição do tempo de residência real (DTR), que representa o tempo em que o fluido atravessa o filtro; e permite avaliar a presença de zonas mortas, curtos-circuitos e recirculação interna do fluido (LEVENSPIEL, 2000; METCALF & EDDY, 2003; KADLEC; WALLACE 2008). Os testes com traçadores podem ser analisados, também, com a condutividade hidráulica in loco, para mensurar, modelar e investigar o efeito da colmatação devido ao acúmulo de sólidos, crescimento do biofilme e a contribuição da vegetação nesse processo (KNOWLES et al., 2010; KNOWLES et al., 2011; NIVALA et al., 2012).

Este trabalho propôs uma nova configuração para o tratamento de água cinza, através do uso do sistema anaeróbio (Câmara de Digestão Anaeróbia - CDig) com evapotranspiração, combinado com um *wetland* construído de fluxo horizontal subsuperficial (CEvap+CW-FHS). Com o objetivo de diminuir aspectos de operação e manutenção desses sistemas, a nova proposta pretende eliminar o tanque séptico ou tanque de sedimentação, visando melhorar a harmonia paisagística dos domicílios, o que pode levar a uma maior aceitação por parte da população dessa tecnologia, evitando ou diminuindo entupimentos e odores.

O objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento hidráulico do sistema, por meio de ensaios hidrodinâmicos considerando o efeito das plantas, formação de biofilme, com o acúmulo de sólidos no meio filtrante, e o lodo na câmara de evapotranspiração.

## MATERIAIS E MÉTODOS

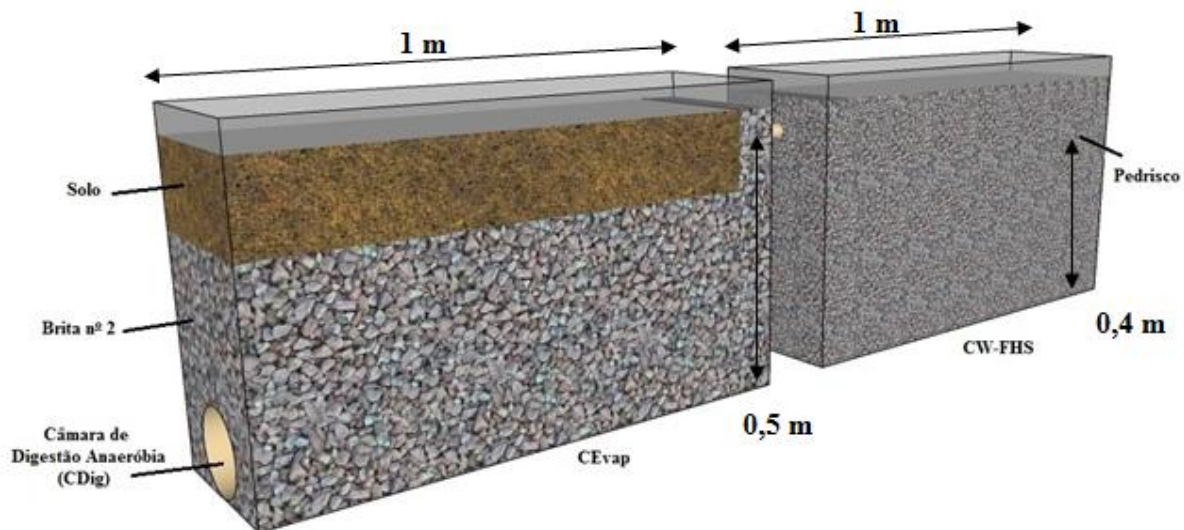
O estudo foi desenvolvido, inicialmente, em escala de bancada, em duas etapas, primeiro em ambiente fechado (sem as adversidades climatológicas, como chuva, efeito significativo da evaporação, variações de temperaturas etc.) e sem a presença de plantas. Na segunda etapa, em ambiente aberto, ainda em escala de bancada, levando em conta as condições climatológicas e a presença de plantas.

Na primeira etapa, as unidades foram analisadas separadamente: a Câmara de Evapotranspiração (CEvap), que é o pré-tratamento alternativo para o *wetland* construído; depois, o *wetland* construído de fluxo horizontal subsuperficial (CW-FHS); e, posteriormente, o sistema EvapAC, que é a combinação da CEvap + CW-FHS. Na segunda etapa, o sistema em escala real, foi analisado o EvapAC (CEvap + CW-FHS) como um todo.

Sistema combinado (EvapAC): evapotranspiração (CEvap) + *wetland* construído (CW-FHS)

A Figura 1 apresenta a CEvap e a CW-FHS, em escala de bancada, ambas com as seguintes dimensões: 1,00 m de comprimento, 0,60 m de altura total e 0,30 m de largura, com área superficial de 0,3 m<sup>2</sup>. O volume da CEvap é de 80 L, com a CDig circular de aproximadamente 16 L, altura útil de 50 cm, meio filtrante de brita no 2 (k=0.46; d<sub>10</sub>=20 mm; d<sub>30</sub>=17 mm; d<sub>60</sub>=12 mm; altura de 45 cm) e uma camada superficial de solo (10 cm). Já o CW-FHS tem um volume de 58 L, altura útil de 40 cm, pedrisco como meio filtrante (k=0.48; d<sub>10</sub>=13 mm; d<sub>30</sub>=11 mm; d<sub>60</sub>=10 mm; altura de 50 cm).

Figura 1 - Sistema EvapAC em escala de bancada composto pela CEvap e CW-FHS



Fonte: elaboração própria.

Na segunda etapa do experimento, em ambiente aberto, foram plantadas 4 mudas de *Canna sp* na CEvap e no CW-FHS, com área superficial de 0,3 m<sup>2</sup> em cada sistema.

#### Alimentação do sistema com água cinza

Durante o experimento, as amostras da água cinza que alimentavam os sistemas foram coletadas de 1 a 2 vezes por semana para análise dos parâmetros físico-químicos: DQO (demanda bioquímica de oxigênio); CE (condutividade elétrica); SDT (sais dissolvidos totais); NaCl; pH; turbidez; ST (sólidos totais); e SST (sólidos suspensos totais). A coleta e a preservação das amostras, assim como as análises, foram realizadas conforme técnicas preconizadas pelo

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005), com intuito de comparar se a água cinza gerada para alimentar os sistemas representava as características qualitativas de condições reais de acordo com a literatura.

Todos os ensaios hidrodinâmicos em escala de bancada foram realizados na primeira e na segunda etapa com o meio filtrante, primeiramente, sem ter sido usado, limpo, sem a aplicação de água cinza (teste inicial), e, posteriormente, após a aplicação de água cinza por 110 dias (teste final), em fluxo contínuo, simulando o funcionamento do sistema em escala real, visando a formação de biofilme no leito, bem como o acúmulo de lodo na CDig.

Os sistemas foram alimentados com, aproximadamente, 25 L.dia-1 de água cinza, coletada das diferentes frações de água de banho, lavatório, máquina de lavar roupa e tanque da área de serviço, simulando a rotina em residências de acordo com os valores de volumes da literatura (RIDDERSTOLPE, 2004; MOREL; DIENER, 2006).

### Ensaio hidrodinâmico

O estudo hidrodinâmico foi realizado pela técnica estímulo-resposta, utilizando o traçador Cloreto de Sódio (NaCl), visto a sua facilidade de

obtenção e monitoramento com um condutivímetro (Hanna, HI 2300, Portugal), relacionando condutividade elétrica com a concentração de NaCl. A concentração da solução do traçador foi de 100 g NaCl.L-1.

Nos ensaios hidrodinâmicos com traçador, tanto do teste inicial como do final, foi utilizada água potável após a injeção do traçador em pulso. Na primeira etapa, para o teste final, foram realizados ensaios para dois tipos de padrão de vazão, vazão alta (Qalta) e vazão baixa (Qbaixa). As vazões de cada ensaio estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Padrões de vazão para cada teste de acordo com as unidades

Unidade	Padrões de Vazão (L.min-1)	
	Vazão alta (Qalta)	Vazão baixa (Qbaixa)
1 o etapa		
CEvap (teste inicial)	1.48	-
CEvap (teste final)	0.88	0.0375
CW-FHS (teste inicial)	1.23	-
CW-FHS (teste final)	1.14	0.0375
EvapAC (teste inicial)	1.26	-
EvapAC (teste final)	0.47	0.0375
2 o etapa		
EvapAC (teste inicial)	0.18/com variações	-
EvapAC (teste final)	0.14/com variações	-

Fonte: elaboração própria.

Por meio dos dados da curva de distribuição do tempo de residência (DTR), concentração versus t (tempo), que foram normalizadas (adimensional), sendo denominada curva E, de acordo com (LEVENSPIEL, 2000), foram analisados o índice de dispersão de Morril (IDM); o índice de curto-circuito (ICC); o índice do tempo de retenção médio ou eficiência volumétrica (ITRM ou ev) (THACKSTON et al., 1987; METCALF & EDDY, 2003); e eficiência hidráulica ( $\lambda$ ) (PERSSON et al., 1999).

No teste da 2o etapa, foi utilizado o simulador de chuva portátil (InfiAsper2, Brasil) desenvolvido por Alves Sobrinho et al., (2002), para analisar o comportamento hidrodinâmico do sistema simulando diferentes precipitações controladas (45 mm.h-1, 60 mm.h-1, 90 mm.h-1), durante 5 min,

10 min e 15 min para cada precipitação, provocando alterações nas vazões ao longo do ensaio hidrodinâmico, com intervalos de uma em uma hora após a injeção do traçador no sistema.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Características qualitativas da água cinza

As características físico-químicas da água cinza clara que foi gerada para alimentar os sistemas (Tabela 2) estavam de acordo com os dados qualitativos da literatura (MOREL; DIENER, 2006; PANSONATO et al., 2007; PAULO et al., 2009), com poucas diferenças da água cinza escura (com a fração da pia da cozinha), para os parâmetros analisados.

Tabela 2 - Características físico-químicas da água cinza que alimentava o sistema

Parâmetros (unidade)	Entrada $\pm$ DPb (na)
CE ( $\mu$ S.cm-1)	626 $\pm$ 112(20)
DQO (mg.L-1)	771 $\pm$ 58 (14)
pH	8.1 $\pm$ 0.5 (20)
Turbidez (NTU)	395 $\pm$ 140 (22)
SDT (ppm)	405 $\pm$ 72 (12)
NaCl (%)	2.1 $\pm$ 0.6 (12)
ST (mg.L-1)	1.675 $\pm$ 283 (14)
SST (mg.L-1)	553 $\pm$ 162 (12)

an: número de amostras; bDP: desvio padrão.

Fonte: elaboração própria.

Foi aplicada uma taxa de 64 gDQO.m-2.dia-1, 4 vezes maior do que o indicado por Hoffman et al. (2011), para *wetlands* construídos de fluxo horizontal subsuperficial em regiões de clima frio.

Segundo Grismer et al. (2001), em torno de 4 meses após o início de operação, a colmatção, devido ao acúmulo de sólidos, começa a influenciar no sistema; por isso, os experimentos foram feitos antes e após 110 dias, pois foram notados a formação de lodo na CDig e a de biofilme no substrato.

Os valores médios de SDT da água cinza que alimentava o sistema estava em torno de 405 ppm para SDT, e da CE 0,6 dS.cm-1. De acordo com Ayers e Westcot (1985), valores abaixo de

0.7 dS.cm-1 e 450 ppm não causam riscos de salinização para irrigação do solo, indicando que, possivelmente, esse sistema não tenha sofrido efeitos de salinização, embora os valores estejam próximos do limite para um risco moderado de causar salinização no sistema.

#### Sistema em escala de bancada sem a presença de plantas

A Tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros utilizados para avaliação hidráulica dos sistemas, CEvap e CW-FHS, em escala de bancada e em ambiente fechado, para dois padrões de vazão (alto e baixo), os quais são: □, ev, IDM e ICC.

Tabela 3 - Parâmetros utilizados para avaliação hidráulica dos sistemas em escala de bancada e ambiente fechado para dois padrões de vazão (alto e baixo)

Unidades	la	evb	IDMc	ICCd
CEvap (teste inicial)	0.93	2.24	33.20	0.56
CEvap (teste final)	0.99	2.47	14.86	0.55
CW-FHS (teste inicial)	0.43	0.74	5.00	0.21
CW-FHS (teste final)	0.20	0.60	9.33	0.10
EvapAC (teste inicial)	0.77	1.48	10.00	0.59
EvapAC (teste final)	0.64	1.11	6.82	0.47
CEvap (teste final Qbaixa)	0.98	1.50	8.82	0.63
CW-FHS (teste final Qbaixa)	0.04	0.27	81.71	0.01
EvapAC (teste final Qbaixa)	0.93	1.96	3.43	0.96

al: tp/TDH; bev: tm/TDH; cIDM: t90/ t10; dICC:ti/TDH.

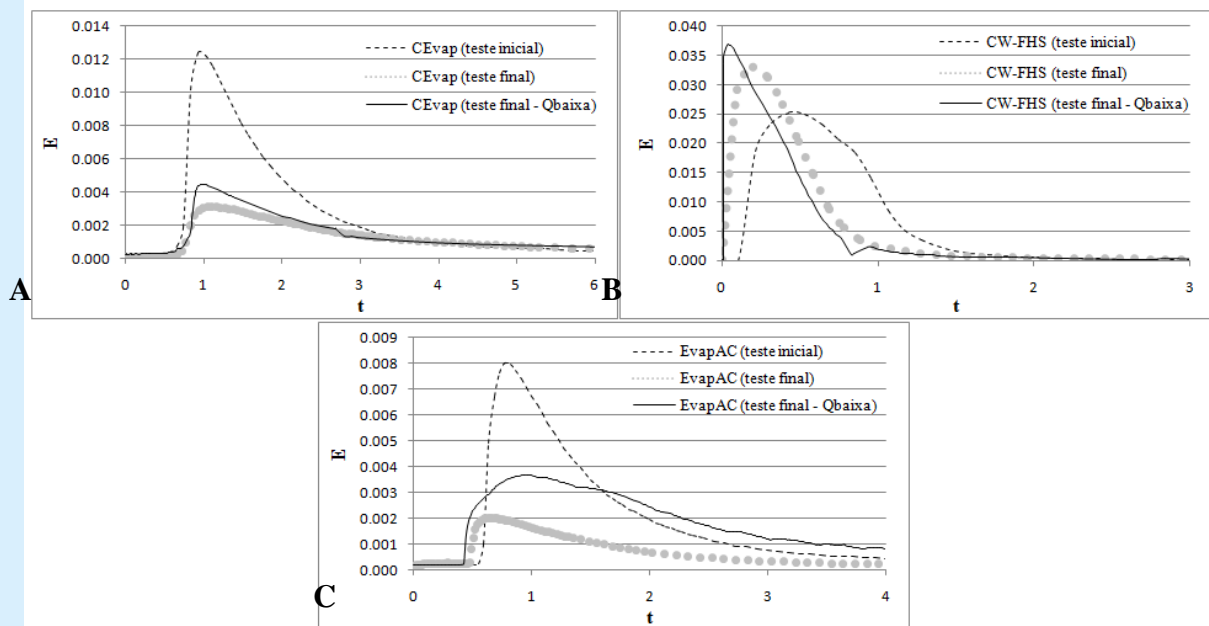
Fonte: elaboração própria.

Para todas as unidades da CEvap, com vazão baixa, teste inicial e final, os valores de  $\lambda$  são maiores que 0,90. De acordo com Metcalf e Eddy (2003) e Cota et al., (2011), valores de  $\lambda$  próximos a 1 indicam uma distribuição uniforme do fluxo no sistema e tendência ao fluxo pistonado. No entanto, para o CW-FHS após 110 dias de operação com água cinza, e com a diminuição da vazão, esse índice diminuiu, provocando uma distribuição desuniforme através do meio filtrante. Já no EvapAC, a distribuição é relativamente boa no sistema em escala de bancada, mas com a vazão baixa a tendência é melhorar.

Na CEvap, os valores de 2.24, 2.47 e 1.50 para eficiência volumétrica (ev), para teste inicial,

final e Qbaixa, respectivamente, indica se o reator foi totalmente utilizado (valor próximo de 1) ou se somente parte dele (THACKSTON et al., 1987). Esses valores são semelhantes aos resultados obtidos por Carvalho et al. (2008) em um reator UASB, com atraso na resposta do traçador, indicando a existência de zonas mortas ou adsorção do traçador na biomassa. Se difundido nessas zonas mortas e liberado aos poucos, provoca atraso em sua resposta de saída e gera o fenômeno de cauda longa, como foi observado nas curvas experimentais (Figura 2).

Figura 2 - Curva DTR da CEvap (A), CW-FHS (B) e do EvapAC (C) em escala de bancada



Fonte: elaboração própria.

Stevens et al. (1986) notaram, também, que os tempos de detenção hidráulica médios estimados a partir das curvas foram, aproximadamente, 100% superiores aos tempos teóricos em um reator anaeróbio de leito fluidizado devido à difusão do traçador no biofilme. No teste final, com formação de biofilme e lodo na CDig, aumentou ainda mais a ev, confirmando essa hipótese. Por outro lado, o efeito da Qbaixa fez a ev se aproximar de 1, diminuindo o atraso do traçador.

Com relação ao CW-FHS, a ev foi sempre menor que 1. Chazarenc et al. (2003) obtiveram valores variando de 0.55 a 0.76 para *wetlands* construídos de fluxo horizontal subsuperficial, também utilizando sal como traçador (67 g.L<sup>-1</sup>). Para o CW-FHS, os testes hidrodinâmicos revelam que a formação de biofilme, após o uso por 110 dias, alimentado por água cinza e uma taxa de aplicação hidráulica menor, diminui a ev.

Analisando somente o EvapAC, no teste final, a ev foi próxima de 1, valor ideal, pois todo o

reator é completamente utilizado; entretanto, após os sistemas serem alimentados por 110 dias com água cinza, nota-se deficiências nas duas unidades quando analisadas separadamente (CEvap e CW-FHS), com os piores valores de ev, e com tendência a piorar.

Foram encontrados, para o CW-FHS, valores de IDM de 5 a 81,71. Valores de IDM próximos a 1 indicam fluxo pistão, e valores próximos a 22 indicam o regime de mistura completa (Metcalf; Eddy, 2003). Os valores de IDM para o CW-FHS, no teste inicial e final, aproximam-se do fluxo pistão, com tendência à mistura completa após o sistema ser alimentado com água cinza. Com a vazão baixa, ocorreu uma grande diferença, levando o IDM a 81, muito superior a 22, sendo o regime de mistura completa. O efeito da menor vazão (Qbaixa) aumentar o IDM foi evidenciado por Cota et al, (2011).

Os valores do ICC variaram de 0,1 a 0,59 para vazão alta. O fato de o sistema ter sido

alimentado com água cinza, não ocasionou mudanças nos valores de ICC, embora o efeito da vazão altere o índice consideravelmente apenas no CW-FHS e no EvapAC, pois com a vazão menor para o CW-FHS, o ICC chega próximo de 0, e para o EvapAC, chega a 0.96, confirmando o fluxo pistão.

Na CEvap com vazão alta, no teste inicial, o sistema apresenta regime de mistura completa, no entanto, com padrão de vazão baixa e o fato do sistema ter sido alimentado (teste final), a tendência é levar o sistema ao regime de fluxo pistão. No sistema combinado (EvapAC), a diminuição da vazão e o ensaio de teste final aproximam o fluxo pistonado.

#### Sistemas em escala de bancada com a presença de plantas

A Tabela 4 apresenta os parâmetros utilizados para avaliação hidráulica do sistema em escala de bancada, com a presença de plantas em ambiente aberto.

Tabela 4 - Parâmetros utilizados para avaliação hidráulica do sistema em escala de bancada com a presença de plantas em ambiente aberto

Unidades	$\lambda_a$	evb	IDMc	ICCd
EvapAC plantado (teste inicial)	1.00	1.76	3.35	0.60
EvapAC plantado (teste final)	1.00	1.06	25.00	0.31

a $\lambda$ : tp/TDH; bev: tm/TDH; cIDM: t90/ t10; dICC:ti/TDH.

Fonte: elaboração própria.

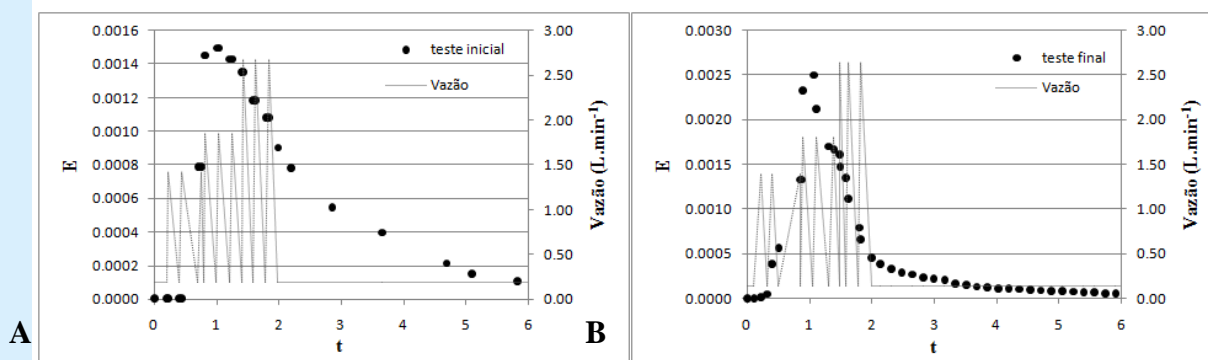
Os dados obtidos indicam que, com relação ao sistema plantado, em ambiente aberto, as plantas não causam uma diminuição da eficiência hidráulica, após ser alimentado com água cinza, diferentemente do sistema sem plantas, em ambiente fechado, que, após 110 dias de aplicação de água cinza, ocorre uma redução de 16%. Isso pode ser um indicador que as plantas evitam a colmatção (BRIX, 1997; PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

No teste final, o sistema EvapAC plantado tende ao regime de mistura completa, em função

do valor de IDM próximo a 22. Além disso, as plantas têm a capacidade de diminuir o índice de curto-circuito (ICC), sugerindo boas condições de mistura no reator, observado também por Cota et al. (2011). A presença de plantas revela que o sistema melhora o valor de ev, de 1.76 para 1.06.

A Figura 3 apresenta as curvas de distribuição do tempo de residência (DTR), do sistema EvapAC em escala de bancada, em ambiente aberto, com efeito de chuvas simuladas, teste inicial (A) e final (B), antes e após 110 dias alimentado com água cinza.

Figura 3 - Curva DTR do sistema EvapAC em escala de bancada, em ambiente aberto, com efeito de chuvas simuladas, teste inicial (A) e final (B), antes e após 110 dias alimentado com água cinza



Fonte: elaboração própria.

Um ponto importante notado nas curvas DTR (Figura 2 e 3) dos sistemas EvapAC, comparando escala de bancada em ambiente fechado e aberto, refere-se ao fato de as variações na vazão, provocadas por chuvas simuladas, diminuir o efeito de cauda na curva. Isso confirma a recomendação feita por Al-Hamaiedeh e Bino (2010), no sentido de provocar a lixiviação do solo com água potável para reduzir o acúmulo de sais e matéria orgânica no solo.

Partindo desse princípio, as precipitações pluviométricas podem ajudar no processo de diminuir a salinização desse sistema, dependendo da região onde esses sistemas forem implantados. Épocas do ano com muitas chuvas podem ajudar na eliminação de sais ao longo do tempo, evitando a salinização.

## CONCLUSÃO

Todos os sistemas, CEvap, CW-FHS e EvapAC, apresentam curtos-circuitos hidráulicos e zonas mortas. A CEvap apresenta excelente eficiência hidráulica, entretanto, devido ao atraso na saída do traçador do sistema, os valores de  $ev$  maiores que 1, chegando até 2, revelam o efeito da recirculação interna, semelhante aos reatores UASB.

O CW-FHS apresenta melhores valores de eficiência volumétrica que a CEvap, embora os baixos valores de  $\lambda$ , indicam uma pobre eficiência hidráulica. Quando analisado somente o EvapAC, notam-se os melhores valores de  $\lambda$ , e de  $ev$ ,

indicando ótima eficiência hidráulica e volumétrica do sistema.

O efeito da vazão é mais significativo no comportamento hidrodinâmico do sistema do que possíveis efeitos da formação de biofilme, lodo na CDig e o acúmulo de sólidos, o qual foi observado comparando o teste inicial e o teste final. Quando as unidades são analisadas separadamente (CEvap e CW-FHS), apresentam piores valores de  $\lambda$  e  $ev$ , do que analisado somente o EvapAC, indicando que os sistemas devem ser dimensionados separadamente e a busca por soluções para melhorar as condições hidráulicas também.

A CDig melhora a eficiência hidráulica do sistema, porém diminui a eficiência volumétrica. As plantas no sistema evitam, significativamente, a redução da condutividade hidráulica e auxiliam no processo de lixiviação dos sais acumulados pelos eventos chuvosos simulados, diminuindo o processo de salinização, além de melhorarem a  $\lambda$  e diminuir o índice de curto-circuito, promovendo melhores condições de mistura no reator.

## REFERÊNCIAS

- Al-HAMAIIEDEH, H.; BINO, M. Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. *Desalination*, n. 256, p. 115-119, 2010.
- APHA; AWWA; WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21. ed.



Washington D.C: American Public Health Association, 2005. 953p.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage, Paper 29. Rome: Food and Agriculture Organization, 1985.

ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P.A.; PRUSKI, F.F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 337-344, 2002.

BRIX, H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? Water Science and Technology, v. 35, n. 5, p. 11-17, 1997.

BLAZEJEWSKI, R.; MURAT-BLAZEJEWSKA, S. Soil clogging phenomena in constructed wetlands with subsurface flow. Water Science and Technology, v. 35, n. 5, p. 183-188, 1997.

CARVALHO, K.Q.; SALGADO, M.T.; PASSIG, F.H.; PIRES, E.C. Avaliação hidrodinâmica de reator UASB submetido à variação cíclica de vazão. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 13, p. 222-231, 2008.

CASELLES-OSORIO, A.; PUIGAGUT, J.; SEGÚ, E.; VAELLO, N.; GRANES, F.; GARCÍA, D.; GARCÍA, J. Solids accumulation in six full-scale subsurface flow constructed wetlands. Water Research, v. 41, p. 1388-1398, 2007.

CHAZARENC, F.; MERLIN, G.; GONTHIER, Y. Hydrodynamics of horizontal subsurface flow constructed wetlands. Ecological Engineering, v. 21, p. 165-173, 2003.

COTA, R.S.; VON SPERLING, M.; PENIDO, R.C.S. Tracer studies and hydraulic behavior of planted and unplanted vertical-flow constructed wetlands. Water Science and Technology, v. 64, n. 5, p. 1056-1063, 2011.

GRISMER, M.E.; TAUSENDSCHOEN, M.; SHEPHERD, H.L. Hydraulic characteristics of a subsurface flow constructed wetland for winery effluent treatment. Water Environment Research, v. 73, n. 4, p. 466-477, 2001.

HOFFMANN, H.; PLATZER, C.; WINKER, M.; MUENCH, E. Technology review of constructed wetlands. Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ) Sustainable sanitation - ecosan program, 2011.

KADLEC, R.H.; WALLACE, S.D. Treatment wetlands. 2. ed. Florida, USA: CRC Press: Boca Raton, 2008.

KNOWLES, P.R.; DOTRO, G.; NIVALA, J.; GARCÍA, J. Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: occurrence and contributing factors. Ecological Engineering, n. 37, p. 99-112, 2011.

\_\_\_\_\_; GRIFFIN, P.; DAVIES, P.A. Complementary methods to investigate the development of clogging within a horizontal subsurface flow tertiary treatment wetland. Water Research, v. 44, n. 1, p. 320-330, 2010.

LEVENSPIEL, O. Chemical reaction engineering. 3. ed. New Jersey: John Wiley, 2000. 688 p. ISBN: 047125424X.

METCALF & EDDY. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4. ed. New York: Mc Graw Hill, 2003. 1848 p.

MOREL, A.; DIENER, S. Greywater management in low and middle-income countries: review of different treatment systems for households or neighborhoods. Duebendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science (EAWAG), Department of Water and Sanitation in Developing Countries, 2006.

NIVALA, J.; KNOWLES, P.; DOTRO, G.; GARCÍA, J.; WALLACE, S. Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: measurement, modeling and management. Water Research, n. 46, p. 1625-1640, 2012.

PANSONATO, N.; ASMUS, A.F.; RIBEIRO, A.S.; AZEVEDO, C.; PAULO, P.L. Greywater characterisation in low-income household in Campo Grande, MS, Brazil. In: INTERNATIONAL

CONFERENCE ON SUSTAINABLE SANITATION: Food and Water Security for Latin America, Nov., 2007, Fortaleza. Proceedings... Fortaleza Brazil, 2007.

PAULO, P.L.; AZEVEDO, C.; BEGOSSO, L.; GALBIATI, A.F.; BONCZ, M.A. Natural systems treating greywater and blackwater on-site: integrating treatment, reuse and landscaping. *Ecological Engineering*, v. 50, p. 95-100, 2013.

\_\_\_\_\_; BEGOSSO, L.; PANSONATO, N.; SHRESTHA, R.R.; BONCZ, M.A. Design and configuration criteria for wetland systems treating greywater. *Water Science & Technology*, v. 60, n. 8, p. 2001-2078, 2009.

PERSSON, J., SOMES, N.L.G., WONG, T.H.F. Hydraulics efficiency of constructed wetlands and ponds. *Water Science & Technology*, v. 40, n. 3, p. 291-300, 1999.

PHILIPPI, L.S.; SEZERINO, P.H. Aplicação de sistemas tipo *wetlands* no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas. Florianópolis: Ed. do Autor, 2004.144 p.

PLATZER, C.; MAUCH, K. Soil clogging in vertical flow reed beds-mechanisms, parameters, consequences and y solutions? *Water Science and Technology*, v. 35, n. 5, p. 175-181, 1997.

RIDDERSTOLPE P. Introduction to greywater management. Uppsala: Stockholm Environment Institute - SEI, 2004.

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, n. 9, p. 243-250, 2005.

STEVENS, D.K.; BERTHOUEX, P.M.; CHAPMAN, T.W. The effect of tracer diffusion in biofilm on residence time distributions. *Water Research*, v. 20, n. 3, p. 369-75, 1986.

THACKSTON, E.L.; SHIELDS, F.D.; SCHOROEDER, P.R. Residence time distributions of shallow basins. *Journal of Environmental Engineering*, v. 113, n. 2, p. 219-223, 1987.

TANNER, C.C.; SUKIAS, J.P.S.; UPSDELL, M.P. Organic matter accumulation and maturation of gravel bed constructed wetlands treating dairy farm wastewaters. *Water Research*, v. 32, n. 10, p. 3046-3054, 1998.