

# COMPORTAMENTO DA INFILTRAÇÃO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS TRATADOS EM SISTEMAS ANAERÓBIOS

JOSÉ LIMA DE OLIVEIRA JÚNIOR<sup>1</sup>

JOSÉ TAVARES DE SOUSA<sup>2</sup>

SAIONARA ALEXANDRE DA SILVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal do Educação, Ciência, Tecnologia do Ceará

Campus de Juazeiro do Norte. Avenida Plácido Aderaldo Castelo, Juazeiro do Norte - CE, 63040-540

<sup>2</sup>Universidade Estadual da Paraíba

Rua Abelardo Pereira dos Santos, 78, Monteiro - PB, 58500-000

<sup>3</sup>Universidade Federal de Campina Grande

Rua Sinfrônio Nazaré, 1, Centro, PB, 58800-240

<sup>1</sup><junior@ifce.edu.br>

**Abstract.** Infiltration tests covered 15 days of daily feeding of 9.5 L batch proportional to a flow rate of 270 L.day<sup>-1</sup> discharged into two pilot scale systems operated for nine months, receiving Septic Tank and UASB reactor effluent with respective volumes of 1500 L and 355 L, DQO<sub>total</sub> in septic tank and UASB effluent respectively of 183 mg.L<sup>-1</sup> and 171 mg.L<sup>-1</sup>, TSS concentrations of 32 mg.L<sup>-1</sup> and 20 mg.L<sup>-1</sup>, which may be likely responsible for the significant difference between soakaways clogging tendency, with average infiltration rates of 1.26 L.min<sup>-1</sup> and 1.97 L.min<sup>-1</sup> (p-value = 0.016). The laboratory results obtained from SUMB1 and SUMB2 confirmed the results obtained for pilot scale systems, showing that soakaways receiving effluent from septic tanks treating predominantly domestic wastewater tended to clog 58 % faster than those treating household UASB effluents.

**Keywords:** UASB reactor; septic tank; infiltration; soakaways; soil clogging.

**Resumo.** O comportamento da infiltração de esgotos domésticos tratados em sistemas anaeróbios foi avaliado em escala de bancada com estimativa da colmatação modelada matematicamente para confirmar testes em sumidouros em escala piloto. Os ensaios de infiltração cobriram quinze dias, lançando-se três bateladas diárias de 9,5 L representativos e proporcionais da vazão de 270 L.dia<sup>-1</sup> do sistema piloto operado por nove meses recebendo efluente de Tanque Séptico e UASB com volumes, respectivos, de 1500 L e 355 L, DQO<sub>total</sub> no efluente do tanque séptico e UASB, respectivamente, de 183 mg.L<sup>-1</sup> e 171 mg.L<sup>-1</sup>, e SST de 32 mg.L<sup>-1</sup> e 20 mg.L<sup>-1</sup>, concentrações provavelmente responsáveis pela diferença significativa entre os sumidouros em escala piloto na tendência à colmatação, com taxas médias de infiltração, respectivas, de 1,26 L.min<sup>-1</sup> e 1,97 L.min<sup>-1</sup> (p – value = 0,016). Tanto os ensaios quanto os modelos empregados confirmaram a maior tendência à colmatação do sumidouro piloto a jusante do tanque séptico, demonstrando que sumidouros construídos e operados, recebendo esgoto doméstico tratado em tanque séptico em solos arenosos tenderão a colmatar 58% mais rápido do que aqueles com tratamento prévio em reatores UASB, apontando o UASB como uma alternativa no tratamento para disposição no solo.

**Palavras chaves:** Reator UASB; Tanque Séptico; Infiltração; Sumidouros; Colmatação.

## 1 INTRODUÇÃO

A disposição de esgoto no solo pode acarretar degradação dos recursos naturais com potencial poluidor e contaminante tanto do solo receptor quanto de mananciais subterrâneos, visto que o colapso do solo, entre ou-

troz efeitos danosos podem ocorrer pela inundação de esgotos sanitários (RODRIGUES; JUNIOR; LOLLO, 2010).

Tecnologias anaeróbias de tratamento utilizadas previamente à disposição no solo têm encontrado vasta aceitação onde o tanque séptico seguido de sumidouro

## COMPORTAMENTO DA INFILTRAÇÃO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS TRATADOS EM SISTEMAS ANAERÓBIOS

é a solução simplificada mais difundida (PARTEN, 2010). Os reatores UASB e suas variantes são investigados e sugeridos como alternativa ao tanque séptico (SABRY, 2010).

Apesar da ampla difusão desta prática, a estimativa dos parâmetros de projeto é muito discutida e considerada tanto complexa quanto, em muitos casos, muito simplificada e pouco compreendida (SIEGRIST; MCCRAY; LOWE, 2004; BUMGARNER; MCCRAY, 2007; PEDESCOLL et al., 2011).

A percolação da água residuária através da zona insaturada, acima do aquífero, é predominantemente controlada pela formação de uma camada colmatante de baixa condutividade em meio à camada superior de solo (RICE, 1974). Essa se desenvolve devido à obstrução física causada por retenção de sólidos suspensos presente no efluente infiltrado. Além disso, uma camada biológica é formada pela acumulação de células bacterianas e produção de polissacarídeos extracelulares (PAVELIC et al., 2011).

A partir da compreensão destes mecanismos, mais recentemente, a modelagem matemática, é aplicada na estimativa da falência hidráulica de solos inundados com efluentes, previamente, tratados em reatores anaeróbios. Pesquisas recentes propuseram modelos preditivos levando em conta os fatores físicos, químicos e biológicos intervenientes no processo de infiltração (BEAL et al., 2006; LEVERENZ; TCHOBANOGLOUS; DARBY, 2009; THULLNER, 2010).

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento da infiltração de esgoto doméstico tratado por tanque séptico e reator UASB em sumidouros de bancada contendo solo arenoso quanto ao impacto da concentração de DQO e de SST a fim de estimar, a partir de um modelo preditivo, a falha hidráulica dos sumidouros.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Configurações experimentais

O presente trabalho avaliou o comportamento da infiltração de efluente doméstico tratado a partir de tanque séptico e de reator UASB em sumidouros de bancada de meio poroso contendo areia classificada (ABNT, 1987) fundamentalmente quanto ao impacto da concentração de DQO e de SST na colmatação do meio. A partir de um modelo preditivo estimou-se a falha hidráulica (colmatação) dos sumidouros comparando com o modelo proposto por Leverenz, Tchobanoglous e Darby (2009).

Os sumidouros de bancada SUMB1 e SUMB2 foram alimentados diariamente por 15 dias com três alimentações diárias de  $9,5 \text{ L.alimentacao}^{-1}$  e carga

**Tabela 1:** Caracterização do esgoto doméstico Bruto e efluente provenientes do TS e UASB.

Parâmetro	Unidade	Esgoto Bruto	TS	UASB
DQO	mg.L <sup>-1</sup>	430	183	171
SST	mg.L <sup>-1</sup>	101	32	20
SSV	mg.L <sup>-1</sup>	77	28	18

**Tabela 2:** Parâmetros físico-químicos analisados com frequências, métodos e referências.

Parâmetros Analíticos	Frequência	Método	Referência
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	Semanal	Titulométrico	APHA (2005)
Sólidos e frações (mg/L)	Semanal (*)	Gravimétrico	APHA (2005)

(\*) A determinação de Sólidos no período do teste de bancada foi realizada semanalmente.

hidráulica de  $0,54 \text{ m.dia}^{-1}$ , equivalentes a uma vazão diária de alimentação intermitente de  $270 \text{ L.dia}^{-1}$  aplicada nos sumidouros em escala piloto (SUM1 e SUM2). Os sumidouros em escala piloto foram operados durante nove meses.

O sistema constou de dois recipientes de 20 L graduados para alimentação das bateladas por gravidade, dois sumidouros cilíndricos em PVC  $\phi 250 \text{ mm}$  e volume útil de  $9,50 \text{ L}$  preenchidos com  $0,034 \text{ m}^3$  de areia, Diâmetro Efetivo  $D_{10} = 0,3 \text{ mm}$ , Coeficiente de Uniformidade  $C_u = 3,33$ , Porosidade  $\eta\% = 43\%$ ,  $D_{max} = 4,8 \text{ mm}$ ,  $\gamma = 2,602 \text{ g/cm}^3$  e  $K_{sat} = 0,1925 \text{ cm/s}$ .

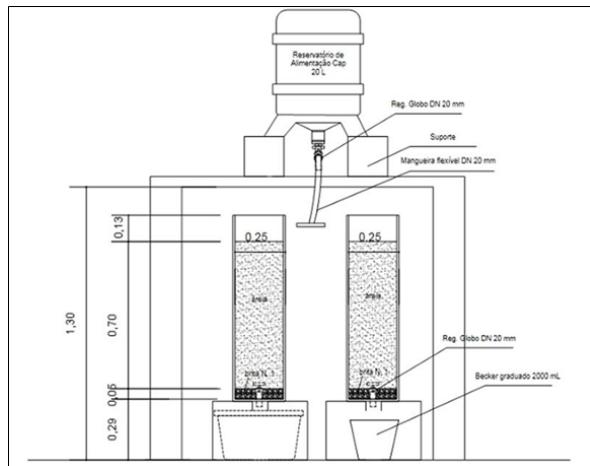
O efluente tratado de um Tanque Séptico, com volume de  $1500 \text{ L}$  (TS), alimentava o Sumidouro de Bancada (SUMB1), enquanto o efluente proveniente do reator UASB, com volume de  $355 \text{ L}$ , alimentava o Sumidouro de Bancada SUMB2. A Tabela 1 apresenta a caracterização do esgoto bruto e do efluente tratado no tanque séptico e no reator UASB.

As análises físico-químicas semanais cobriram um período de monitoramento dos reatores de nove meses entre julho de 2011 e abril de 2012 conforme recomendações do APHA, AWWA e WPCF (2005). Igualmente, durante os 15 dias de realização dos testes de infiltração, determinações em triplicata de sólidos foram realizadas, diariamente, em cada batelada aplicada aos sumidouros experimentais de bancada SUMB1 e SUMB2. Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros analisados com suas respectivas frequências, métodos e referências.

O teste foi realizado entre 15 e 31 de maio de 2012 aplicando-se efluente previamente tratado de Tanque Séptico (TS) e de Reator UASB em três bateladas de  $9,5 \text{ L}$  cada. O esgoto era coletado em baldes e ali-

mentado por gravidade de recipiente plástico com capacidade de 20 L, cronometrando-se o tempo de início e fim do escoamento do líquido através da câmara sumidouro, considerando-se o tempo inicial de infiltração aquele correspondente ao início do fluxo laminar contínuo no registro de saída do efluente. O volume infiltrado era acumulado em bêqueres de 2000 mL, 500 mL e 100 mL, com tempo registrado a cada 500 mL no início do escoamento e a cada 100 mL nos últimos minutos até o tempo final estabelecido do teste de 60 minutos.

O teste de bancada possibilitou avaliar, em condições controladas, a infiltração de efluente tratado nos reatores TS e UASB determinando-se a variação da taxa de infiltração ( $L \cdot min^{-1}$ ) ao longo do período de teste de 60 minutos em ambos os sumidouros. Na Figura 1 está apresentada a configuração construtiva do experimento.



**Figura 1:** Sumidouros experimentais em escala de bancada SUMB1 e SUMB2.

## 2.2 Cálculos da taxa de infiltração

A taxa variável de infiltração no sumidouro experimental foi calculada a partir da equação 1:

$$T_i = \frac{(\Delta i - \Delta f)}{(\Delta t_i - \Delta t_f)}. \quad (1)$$

Sendo:

- $T_i$  : Taxa de infiltração do efluente no sumidouro experimental ( $L \cdot min^{-1}$ );
- $\Delta i$  : Volume captado inicial parcial unitário (Litros);

- $\Delta f$  : Volume captado final parcial unitário (Litros);
- $\Delta t_i$  : Tempo acumulado para captação do volume inicial unitário (minutos);
- $\Delta t_f$  : Tempo acumulado para captação do volume final unitário (minutos).

## 2.3 Modelagens da falência hidráulica

A estimativa da falência hidráulica correlacionou a taxa de infiltração com os dias em operação nos sumidouros experimentais em um modelo matemático exponencial ajustado empiricamente com o objetivo de confirmar os dados igualmente modelados para os sumidouros em escala piloto operados por Oliveira Jr. et al. (2012). As equações 2 e 3 apresentam os modelos preditivos empregados respectivamente para os sumidouros SUMB1 e SUMB2.

$$T_i = 0,8200 \cdot e^{-0,0128t}. \quad (2)$$

$$T_i = 0,965 \cdot e^{-0,0248x}. \quad (3)$$

Sendo:

- $T_i$  : Taxa de infiltração (L/min.) e
- $t$  : Tempo de operação (dias).

Uma vez que a estimativa da falência hidráulica baseou-se em modelos de regressão não linear com ajuste empírico dos dados experimentais dos sumidouros, para efeito de comparação, aplicou-se os dados a outro modelo preditivo de falência hidráulica preconizado por Leverenz, Tchobanoglous e Darby (2009) e descrito na Equação 4 que aponta o número de dias até à falência hidráulica do escoamento de efluentes em solos arenosos.

$$T_f = \left\{ \frac{[19,6 - 13,9 \log(CSST)]}{[5,257 \times 10^{-6} \times DQO i^{-1,318} \times Dd^{1,120} \times Ch^{0,343}]} \right\}^{1,053} \quad (4)$$

Sendo:

- $T_f$  : Tempo de falha hidráulica (dias);
- $CSST$  : Carga de Sólidos suspensos totais ( $g \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$ );
- $DQO$  : Concentração de DQO ( $mg \cdot L^{-1}$ );
- $D_d$  : Dose diária de aplicação ( $.dia^{-1}$ );
- $Ch$  : Taxa de aplicação hidráulica ( $m \cdot dia^{-1}$ ).

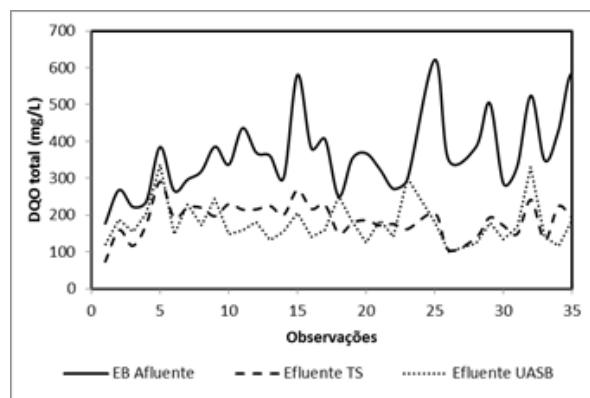
## COMPORTAMENTO DA INFILTRAÇÃO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS TRATADOS EM SISTEMAS ANAERÓBIOS

Tanto os parâmetros físico-químicos como aqueles relativos ao teste de infiltração dos sumidouros foram tratados estatisticamente, estimando-se as medidas de dispersão e a tendência central. Os resultados foram submetidos a dois métodos estatísticos: (1) estatística descritiva de distribuição; (2) análise de variância fator único (ANOVA), com nível de significância de 5% (SOKAL; ROHLF, 1981).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Concentrações de DQO nos sistemas

A concentração média de DQO no efluente dos reatores TS e UASB foi respectivamente de  $183 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $171 \text{ mg.L}^{-1}$ . Com um nível de significância de 5 %, não houve diferença significativa entre as concentrações médias ( $p$  valor = 0,333) provavelmente em virtude da velocidade ascensional elevada verificada na operação do reator UASB ( $V > 5 \text{ m/h}$ ) que pode ter sido responsável, mesmo durante os meses de partida, por aumentar a concentração de DQO particulada no efluente do UASB, prejudicando a eficiência (HAADEL; LETTINGA, 1994; NUVOLARIA, 2003). Na Figura 2 são apresentadas as concentrações de  $DQO_{total}$  no Esgoto Bruto e efluente nos reatores TS e UASB.

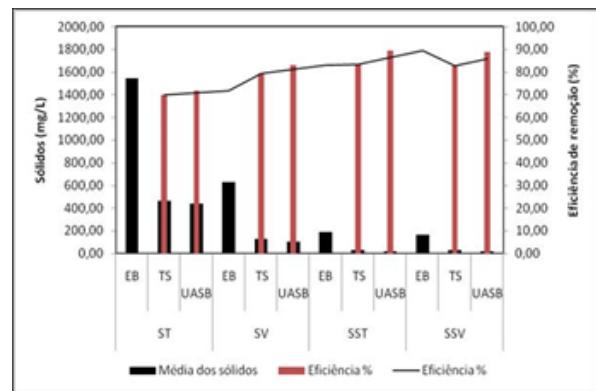


**Figura 2:** Concentrações efluentes de  $DQO_{total}$  no Esgoto Bruto e reatores TS e UASB.

#### 3.2 Concentrações de Sólidos Suspensos Totais e Voláteis

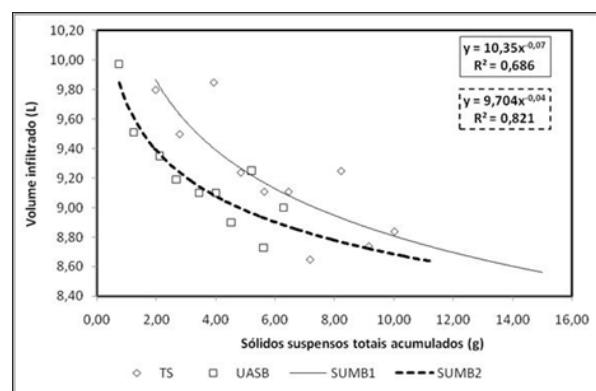
As concentrações médias de SST respectivas no efluente do TS e UASB foram de  $32 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $20 \text{ mg.L}^{-1}$  apresentando diferença significativa ( $p=0,00210$ ). Não foram observadas diferenças significativas entre as concentrações do Esgoto bruto e do TS ( $p$  –value = 0,07258), havendo, porém, diferença significativa para o UASB ( $p$  –value = 0,0463).

Relativamente aos Sólidos Suspensos Voláteis, houve diferença significativa entre os resultados do TS e do UASB ( $p$ -value= 0,000118) com concentrações médias respectivas de  $28 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $18 \text{ mg.L}^{-1}$ . Na Figura 3 é apresentada a variação das concentrações de sólidos afluentes e efluentes no sistema.



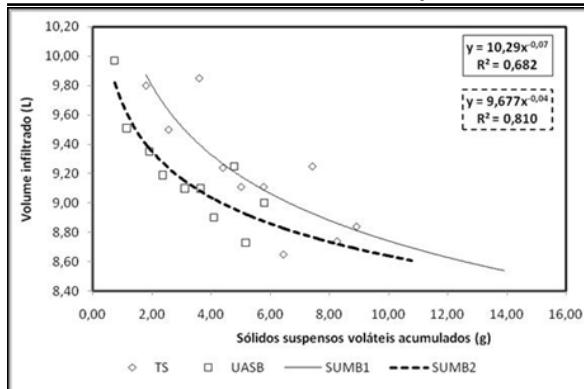
**Figura 3:** Concentrações de sólidos afluentes e efluentes nos sistemas.

Foi possível observar uma correlação entre a carga acumulada de sólidos e o incremento da colmatação nos sumidouros. Esse fato é confirmado pela literatura, já que a correlação é significativa entre a diminuição na condutividade hidráulica e a carga total acumulada de sólidos suspensos (PEDESCOLL et al., 2011). Nas Figuras 4 e 5 apresentam-se, respectivamente, a correlação estabelecida entre o acúmulo de SST e SSV nos sumidouros e a redução da taxa de infiltração observada nos sumidouros SUMB1 e SUMB2.



**Figura 4:** Correlação entre o acúmulo de SST nos sumidouros e o decréscimo da taxa de infiltração observada nos sumidouros SUMB1 e SUMB2.

## COMPORTAMENTO DA INFILTRAÇÃO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS TRATADOS EM SISTEMAS ANAERÓBIOS



**Figura 5:** Redução da taxa de infiltração observada nos sumidouros SUMB1 e SUMB2.

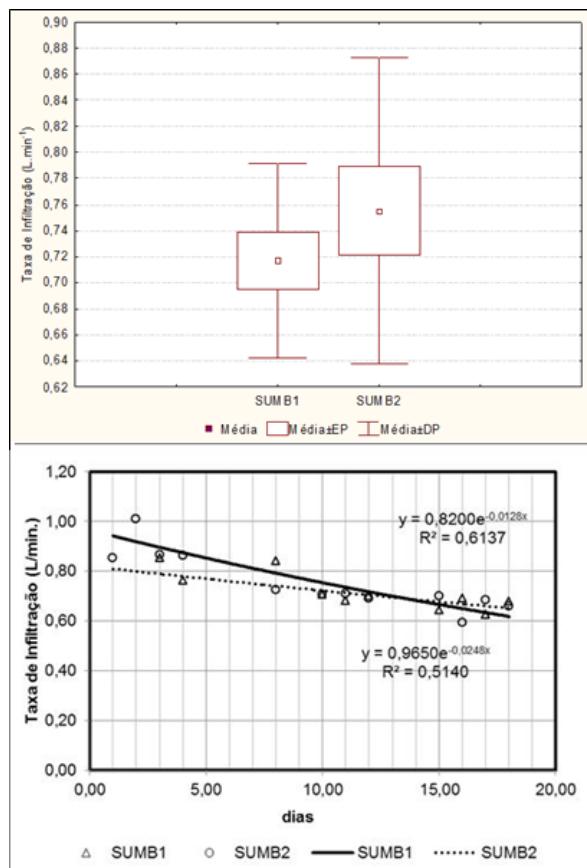
### 3.3 Taxas de infiltração

Na Figura 6 está apresentado o comportamento das taxas de infiltração nos sumidouros de bancada SUMB1 e SUMB2, onde pode ser observada a tendência mais pronunciada à colmatação no SUMB1.

As taxas de infiltração nos SUMB1 e SUMB2 variaram na faixa, respectivamente, de  $0,85\text{-}0,62 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $1,01\text{-}0,59 \text{ mg.L}^{-1}$ . Os dados da modelagem da falência hidráulica do SUMB1 e SUMB2 (Equação 2 e 3;  $R^2$  0,613 e 0,514) mostraram diferença significativa (valor=3,  $54 \cdot 10^{-7}$ ), confirmando maior tendência à colmatação no SUMB1 à frente do SUMB2, com previsões respectivas de 213 e 425 dias.

Aplicando-se os parâmetros do SUMB1 e SUMB2 ao modelo de Leverenz, Tchobanoglous e Darby (2009), obteve-se uma estimativa de falência hidráulica, respectiva, de 220 e 523 dias.

A análise comparativa dos dados de previsão de falha hidráulica entre os sumidouros experimentais de bancada a partir do modelo proposto neste artigo e aquele proposto por Leverenz et al. (2009) são apresentados na Tabela 3. Os SUMB1 e SUMB2 possuem parâmetros hidráulicos proporcionais aos sumidouros operados em campo, em termos de carga hidráulica aplicada, sendo alimentados ambos com a mesma frequência diária e concentração média de DQO e Sólidos Suspensos Totais. Constata-se que o modelo exponencial proposto, apesar do caráter unidimensional, quando comparado com o modelo de Leverenz et al. (2009) foi capaz de estimar em uma mesma ordem de grandeza o tempo necessário para a falência do sumidouro estudado infiltrando em solo arenoso efluentes anaeróbios tratado, tendo em vista a boa correlação encontrada entre tempo de operação e o decaimento da taxa de infiltração.



**Figura 6:** Variação das taxas de infiltração nos sumidouros SUMB1 e SUMB2.

**Tabela 3:** Estimativa da falência hidráulica nos sumidouros SUMB1 e SUMB2.

Sumidouros	Falha hidráulica (dias)	Diferença (%)		Referência
		relativa	absoluta	
SUMB1	213	49,88%		Oliveira Jr. et al. (2012)
SUMB2	425		7,51%	
SUMB1	225	57,39 %		Leverenz et al. (2009)
SUMB2	529			

Na Tabela 3 pode ser observado que o SUMB2 mais lentamente que o SUMB1 com diferença de 212 dias de (diferença relativa de 49,88 %) de acordo com o modelo de Oliveira (2012). O modelo de Leverenz et al. (2009) mostrou uma colmatação de 225 dias para o SUMB1, com diferença de 304 dias entre sumidouros.

Quando são comparadas as estimativas de colmatação de ambos os modelos entre os mesmos sumidouros, observa-se que a diferença entre a estimativa do SUMB1 é de 12 dias, enquanto para o SUMB2 é de 104 dias.

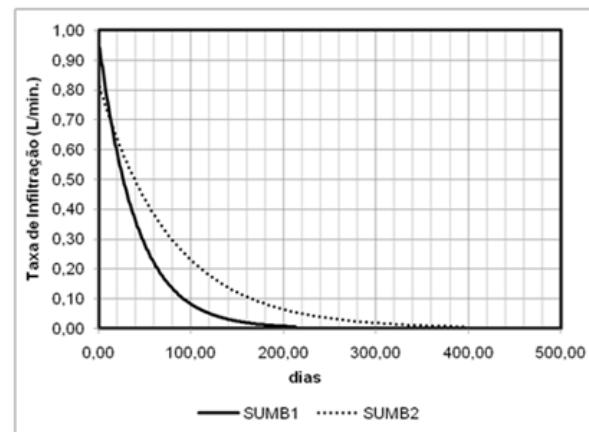
As diferenças observadas entre os resultados gerados pelos modelos podem ser explicadas pelas melhores condições de controle no sistema de bancada, frente ao sistema piloto que operou em condições operacionais e ambientais diferenciadas, incluindo falhas operacionais, períodos de intermitência de alimentação, exposição às variações climáticas (vento, chuva, insolação e variações de temperatura). A literatura tem confirmado a influência desses fatores na capacidade de recuperação da condutividade hidráulica nos campos de infiltração, conferindo a estes sistemas um maior tempo previsto para a colmatação total do solo (BEAL et al., 2006; PAVELIC et al., 2011). É possível, ainda, que a diferença na forma de infiltração e diferença de lâmina superficial, a qual afeta a pressão hidrostática da coluna líquida que infiltra, também sejam fatores capazes de influenciar a diferença nos resultados, uma vez que nos sumidouros de bancada a alimentação se deu verticalmente enquanto nos sumidouros em escala piloto, a alimentação se deu horizontalmente através de alvenaria de junta livre.

A variação do tempo de predição para a falha hidráulica foi observada também na comparação dos resultados obtidos em campo. A diferença das estimativas entre o SUM1 (270 dias (campo)/ 215 dias(modelo)) e SUM2 (574 dias (campo) / 516 dias(modelo)) foi de 55 dias para o SUM1 e de 64 dias para o SUM2. Nota-se que, para os sumidouros de bancada, os dados da modelagem tendem a estimar a maior o tempo de falência hidráulica do que os dados obtidos no experimento, o que pode ser explicado por: 1) maior capacidade de recuperação das condições favoráveis ao fluxo na matriz do solo no sumidouro exposto às condições ambientais de campo aberto; 2) limitações do modelo de regressão baseado na correlação entre o decaimento da taxa de infiltração e o tempo de operação, com ajuste de  $R^2 = 0,61$  (OLIVEIRA, 2012); 3) melhor ajuste da modelagem estimativa ( $R^2=0,95$ ) (LEVERENZ; TCHOBANOGLOUS; DARBY, 2009) que levou em conta a carga de sólidos, de  $DQO_{total}$  afluente, a carga hidráulica aplicada e a forma de alimentação (nível de inter-

mitência de aplicação do efluente).

Não obstante essa tendência, foi possível obter dados preditivos semelhantes com diferença absoluta entre as estimativas de 7,51 % entre os modelos.

Na Figura 7 está apresentada a regressão dos modelos preditivos (Equações 2 e 3) de falência hidráulica nos sumidouros SUMB1 e SUMB2.



**Figura 7:** Modelo Preditivo de falência hidráulica nos sumidouros SUMB1 e SUMB2.

#### 4 CONCLUSÕES

Os sumidouros de bancada SUMB1 e SUMB2 confirmaram a tendência mais pronunciada à colmatação do SUMB1 recebendo efluente tratado do tanque séptico, à frente do SUMB2 com diferença de pelo menos 49,88 %, provavelmente em virtude da maior concentração de sólidos suspensos afluentes ao sumidouro SUMB1, mostrando-se representativos dos sumidouros em escala piloto SUM1 e SUM2 operados com diferença absoluta entre eles de 3,08 % na modelagem da predição do tempo de falência hidráulica.

A correlação entre o acúmulo de sólidos suspensos nos sumidouros e o decréscimo da taxa de infiltração do solo foi confirmada (BEAL et al., 2006).

A estimativa de colmatação do SUMB1 e SUMB2 na faixa respectiva de 213 e 425 dias, mostrou-se similar à prevista aplicando-se o modelo de Leverenz, Tchobanoglous e Darby (2009) da ordem de 220 e 523 dias, respectivamente, com diferença absoluta entre os resultados dos modelos de 7,51 %.

Os dados sugerem o reator UASB como uma alternativa factível ao tanque séptico no tratamento para disposição de efluente em solos arenosos por apresentar melhor eficiência global na minimização do efeito de colmatação do solo.

## Referências

- ABNT. NBR 7217 87: *Determinação da composição granulométrica dos agregados destinados ao fabrico de concreto de Cimento Portland*. Rio de Janeiro, 1987.
- APHA; AWWA; WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: 23th Editions, 2005.
- BEAL, C. et al. Long-term flow rates and biomat zone hydrology in soil columns receiving septic tank effluent. *Water Research*, v. 40, n. 12, p. 2327 – 2338, 2006. ISSN 0043-1354. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004313540600234X>>.
- BUMGARNER, J. R.; MCCRAY, J. E. Estimating biozone hydraulic conductivity in wastewater soil-infiltration systems using inverse numerical modeling. *Water Research*, v. 41, n. 11, p. 2349 – 2360, 2007. ISSN 0043-1354. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135407001261>>.
- HAADEL, A. C. van; LETTINGA, G. *Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente*. Campina Grande: Epgraf, 1994. 220 p.
- LEVERENZ, H. L.; TCHOBANOGLOUS, G.; DARBY, J. L. Clogging in intermittently dosed sand filters used for wastewater treatment. *Water Research*, v. 43, n. 3, p. 695 – 705, 2009. ISSN 0043-1354. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135408005265>>.
- NUVOLARIA, A. *Esgoto Sanitário: Coleta, transporte, tratamento e Reuso agrícola*. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.
- OLIVEIRA. Qualidade de efluentes domésticos tratados em tanque séptico e em reator uasb para disposição no solo. In: UNIVERSIDADE DE ÉVORA. *Anais do Encontro Nacional de Saneamento Básico*. Évora, 2012. (15).
- PARTEN, M. *Planning and installing sustainable onsite wastewater systems*. USA: McGraw Hill, 2010.
- PAVELIC, P. et al. Laboratory assessment of factors affecting soil clogging of soil aquifer treatment systems. *Water Research*, v. 45, n. 10, p. 3153 – 3163, 2011. ISSN 0043-1354. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135411001382>>.
- PEDESCOLL, A. et al. The effect of primary treatment and flow regime on clogging development in horizontal subsurface flow constructed wetlands: An experimental evaluation. *Water Research*, v. 45, n. 12, p. 3579 – 3589, 2011. ISSN 0043-1354. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135411001679>>.
- RICE, R. C. Soil clogging during infiltration of secondary effluent. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, v. 46, n. 4, p. 708 – 716, 1974.
- RODRIGUES, R. A.; JUNIOR, V. E. M.; LOLLO, J. A. de. Influência dos constituintes do esgoto no colapso de um solo arenoso. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 15, n. 1, p. 29 – 36, 2010.
- SABRY, T. Evaluation of decentralized treatment of sewage employing upflow septic tank/baffled reactor (usbr) in developing countries. *Journal of Hazardous Materials*, v. 174, p. 500 – 505, 2010. ISSN 0304-3894. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389409015416>>.
- SIEGRIST, R. L.; MCCRAY, J. E.; LOWE, K. S. Wastewater infiltration into soil and the effects of infiltrative surface architecture. *Small Flows Q*, v. 5, n. 1, p. 29–39, 2004.
- SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. *BIOMETRY: The Principles and Practice of Statistic in Biological Research*. 2. ed. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1981. 634 p.
- THULLNER, M. Comparison of bioclogging effects in saturated porous media within one- and two-dimensional flow systems. *Ecological Engineering*, v. 36, n. 2, p. 176 – 196, 2010. ISSN 0925-8574. Special Issue: BioGeoCivil Engineering. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857409000470>>.