

## AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À DRENAGEM GRAVÍTICA NOS LEITOS DE SECAGEM DE LAMAS FECAIS

Estudo baseado nos resultados de uma instalação-piloto, em  
Tete, Moçambique

Osvaldo MOIAMBO<sup>1</sup>; Eleonora LAMPREIA<sup>2</sup>; Filipa FERREIRA<sup>3</sup>; José S. MATOS<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Eng.<sup>a</sup> do Ambiente, Estudante de Doutoramento, CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Lisboa, Portugal. [moiambo03@gmail.com](mailto:moiambo03@gmail.com)

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Civil, Hidra, Hidráulica e Ambiente, Lda., Av. Defensores de Chaves, nº 31 - 1º Esq. 1000-111 Lisboa, Portugal, [eleonoracl@hotmail.com](mailto:eleonoracl@hotmail.com)

<sup>3</sup> Professora Auxiliar, CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Lisboa, Portugal. [filipamferreira@tecnico.ulisboa.pt](mailto:filipamferreira@tecnico.ulisboa.pt)

<sup>4</sup> Professor Catedrático, CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Lisboa, Portugal. [jsm@civil.ist.utl.pt](mailto:jsm@civil.ist.utl.pt)

### RESUMO

No presente artigo é divulgado o trabalho experimental desenvolvido numa instalação-piloto, em Tete, Moçambique, com o objetivo de avaliar a resistência à drenagem gravítica em leitos de secagem de lamas fecais, em resultado da ação do meio filtrante e da camada dos sólidos sedimentados sobre a superfície do meio filtrante (usualmente denominada por *cake*). São evidenciados os principais fatores que influenciam a drenagem gravítica, nomeadamente: a altura de lamas aplicadas, o teor de sólido inicial das lamas e as características das lamas. A resistência à drenagem gravítica foi estimada considerando a perda de humidade das lamas por drenagem, em conformidade com o proposto por Berkay (1998) e por Dominiak *et al.*, (2010). Verificou-se que a resistência do meio filtrante representa pouco menos que 1% da resistência total, sendo que a resistência específica do *cake* apresenta valores entre  $10^{11} - 10^{12}$  m/kg. Tipicamente, o aumento da altura de lamas aplicadas reverte-se numa espessura do *cake* superior, dada a maior presença de sólidos, resultando numa maior resistência ao fluxo e num aumento do tempo total de drenagem. Pretende-se aplicar os resultados deste trabalho no desenvolvimento de um modelo de desempenho hidráulico dos leitos de secagem de lamas fecais.

**Palavras-chave:** Leitos de secagem, Moçambique, resistência específica, drenagem gravítica, lamas fecais.

**Tema:** Serviços de abastecimento, drenagem e tratamento de águas

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema centralizado de saneamento existente em Moçambique foi concebido no período colonial para servir uma população urbana inferior a 1 milhão de habitantes. Atualmente, mais de sete milhões de pessoas (o correspondente a mais de 80% da população urbana moçambicana) não tem acesso a esse sistema. Como esse aumento populacional urbano não foi acompanhado, nem por uma eventual expansão de infraestruturas, nem por um processo de planeamento, o sistema de saneamento tornou-se em alguns casos obsoleto, totalmente insuficiente e, conseqüentemente, potenciador da ocorrência de descargas de efluentes poluídos para os meios recetores (Barroso *et al*, 2015).

O acesso ao saneamento nas zonas não abrangidas pelo sistema centralizado é assegurado por soluções de saneamento *on site*. As lamas são captadas na sanita ou latrina, sendo armazenadas em fossas sépticas ou latrinas. Por vezes, essas infraestruturas apresentam reduzida qualidade porque são construídas a partir de material precário local, como pneus, tambores ou madeira. Há também uma falta de serviços especializados e tecnicamente viáveis para o esvaziamento das fossas sépticas ou latrinas. A carência desses serviços é evidenciada principalmente nos bairros mais pobres, como as zonas periurbanas e os assentamentos informais, onde as latrinas são esvaziadas manualmente (dada a localização, características das latrinas ou fossas e do seu conteúdo) por indivíduos ou por empreiteiros de pequena escala que combinam o esvaziamento com o transporte de lamas (Barroso *et al*, 2015).

Atualmente, não existe em Moçambique uma estação que se dedica ao tratamento de lamas. Quantidades consideráveis de lamas captadas e sem nenhum tipo de tratamento têm sido descarregadas diariamente, de forma descontrolada, no ambiente, em valas de drenagem ou em contentores destinados aos resíduos sólidos, finalizando na lixeira, situada ao redor do centro da cidade. Em alguns casos, as lamas descarregadas e sem tratamento prévio são usadas na agricultura, o que conduz ao aumento significativo do risco de saúde pública bem como à qualidade das águas, por contaminação.

Nos últimos tempos tem havido cada vez mais propostas de utilização de leitos de secagem para a desidratação de lamas fecais (DLF), especialmente nos países em vias de desenvolvimento, por se tratar, principalmente, de uma solução que se ajusta à realidade desses países em termos técnicos, económicos e socio-ambientais. A DLF em leitos de secagem consiste, fundamentalmente, na separação sólido-líquido, através do meio filtrante, por meio da drenagem gravítica da água livre e da evaporação da água adsorvida, capilar e/ou celular.

Trabalhos efetuados anteriormente, com objetivo de melhorar a qualidade dos subprodutos resultantes da DLF e os tempos de desidratação de lamas, contribuíram valiosamente para a melhoria do sistema de DLF. Kuffour, (2010), investigou o efeito de camadas de areia de diferentes diâmetros efetivos na desidratação de lamas fecais, com respeito ao tempo de desidratação, carga de contaminantes nos drenados, taxa de colmatação e quantidade de lamas secas produzidas. O aparato experimental consistiu em três leitos de secagem compostos por meios filtrantes caracterizados com os seguintes diâmetros efetivos de areia:

0.1–0.5 mm, 1.0–1.5 mm e 0.5-1.0 mm. Kuffour constatou que não houve diferenças significativas quanto ao tempo de desidratação de lamas entre os leitos. Observou uma taxa de colmatção superior nos dois leitos compostos por diâmetros efetivos superiores e verificou que o primeiro leito (0.1 0.5 mm) apresentou a melhor eficiência na remoção da carga de contaminantes bem como uma maior produção de lamas secas.

Em Dakar, no Senegal, com objetivo de utilizar as lamas previamente desidratadas como combustível nas indústrias, Seck *et al.* (2015) realizaram ensaios de desidratação de lamas nos leitos de secagem com e sem cobertura tendo testado, igualmente, diferentes taxas de carregamento de lamas. Constataram que a utilização de estufas sobre os leitos não se traduziu no aumento das taxas de secagem dos leitos de secagem. O revolvimento de lamas na superfície dos leitos resultou na redução significativa do tempo de secagem e na taxa de secagem atingindo um teor de sólidos na ordem dos 90%. Observaram que o tempo de secagem das lamas aumentava, igualmente, com a taxa de carregamento aplicada.

Gold *et al.* (2016), com o objetivo de melhorar a desidratação de lamas nos leitos de secagem, utilizaram cinco condicionadores naturais de baixo-custo e que podem ser produzidos localmente, nomeadamente: sementes de Moringa oleífera e press cake, semente de Jatropha curcas, folhas de Jatropha Calotropis e sementes de quitosana. No geral, a sua utilização traduziu-se em melhorias significativas na desidratação de lamas apresentando um desempenho semelhante aos condicionadores convencionais. Para além de referirem dosagens ideais a aplicar, os resultados de Gold *et al.* (2016) indicaram que o condicionamento de lamas pode reduzir o tempo de desidratação nos leitos de secagem em 59-97%, com consequentes reduções nas áreas dos leitos de secagem.

Manga *et al.* (2016), avaliaram o efeito da espessura da camada de areia no desempenho dos leitos de secagem das lamas. Essa avaliação baseou-se essencialmente no tempo total de desidratação, eficiência de remoção da carga de contaminantes, taxa de geração de lamas secas, conteúdo de nutrientes e viabilidade de ovos de helmintos nas lamas secas. Procederam a mistura de lamas provenientes de um balneário público com as de uma fossa séptica na proporção de 1:2, tendo utilizado três unidades de leitos de secagem de lamas piloto com as seguintes espessuras da camada de areia: 150 mm, 250 mm e 350 mm. Constataram que, embora o primeiro filtro tivesse o menor tempo médio de desidratação (3.65 dias), não houve uma diferença significativa atribuível a configurações de espessura do meio filtrante. No entanto, verificaram uma diferença significativa para as cargas de contaminantes nos drenados no que diz respeito a eficiência de remoção e recuperação de sólidos em suspensão, sólidos totais, sólidos voláteis totais, fósforo total, carência química de oxigénio e carência biológica de oxigénio, com a maior eficiência de remoção para cada parâmetro alcançado pelo filtro de espessura superior.

No entanto, há ainda poucos estudos que se refiram especialmente a drenagem gravítica (DG) durante a DLF, principalmente no que se refere aos fatores físicos de maior importância e que influenciam o processo (em regra, responsável pela remoção de grande quantidade de água livre contida nas lamas). Nesse contexto, no presente trabalho pretendeu-se avaliar a resistência à drenagem gravítica proporcionada pelo meio filtrante e pela camada de sólidos sedimentados sobre a superfície do meio filtrante (usualmente denominada por *cake*), durante

a filtração propriamente dita. Abordam-se, igualmente, os principais fatores ou processos macroscópicos que influenciam a drenagem gravítica, nomeadamente: a altura de lamaz aplicadas, o teor de sólido inicial das lamaz e a condição ou “tipologia” das lamaz. Pretende-se, posteriormente, aplicar o conhecimento na formulação de um modelo de desempenho hidráulico dos leitos de secagem.

## 2. ASPETOS TEÓRICOS DA DRENAGEM GRAVÍTICA EM LEITOS DE SECAGEM

A drenagem gravítica de lamaz fecais é um processo bastante complexo e influenciado por vários fatores, incluindo os físicos, químicos e biológicos. Como a operação temporal dos leitos de secagem é descontínua, quando os leitos são carregados com uma determinada altura de lamaz, são verificadas três fases distintas, após o carregamento do leito, a destacar: a) fase inicial ou formação do *cake*, durante a qual as partículas sólidas nas lamaz tendem a sedimentar sobre a superfície do meio filtrante, deixando uma interface clareada mais acima; os sólidos sedimentados vão formando uma camada cada vez mais espessa, usualmente denominada por *cake*; b) fase intermediária ou “filtração propriamente dita”, em que a espessura do *cake* tende a permanecer constante e o nível de água livre vai diminuindo à medida que se dá a filtração pelo *cake* e pelo meio filtrante e; c) fase final, que é caracterizada pelo desaparecimento de toda água livre na superfície do *cake* e pelo surgimento de fissuras. Na Figura 1 é apresentado um esquema referente a cada uma das fases descritas.

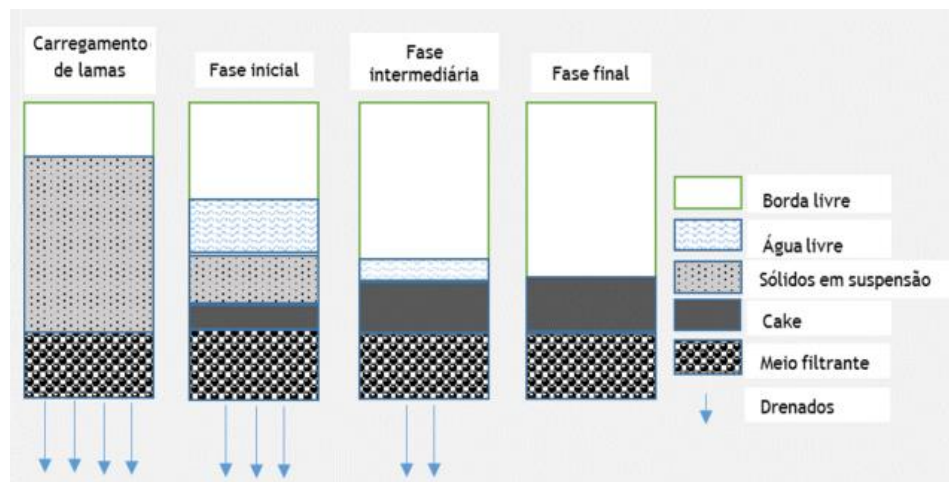


Figura 1. Diagrama esquemático das fases que caracterizam a drenagem gravítica

A altura de lamaz aplicada (a que corresponde uma taxa de carregamento de lamaz) dá origem a uma diferença de pressão hidrostática sobre o *cake* formado e o meio filtrante passando, consequentemente, a ser esta a força responsável pela drenagem gravítica (ver Figura 2). O *cake* formado assume um papel preponderante na ação da filtração por proporcionar uma resistência adicional ao fluxo, usualmente denominada por resistência do *cake*.

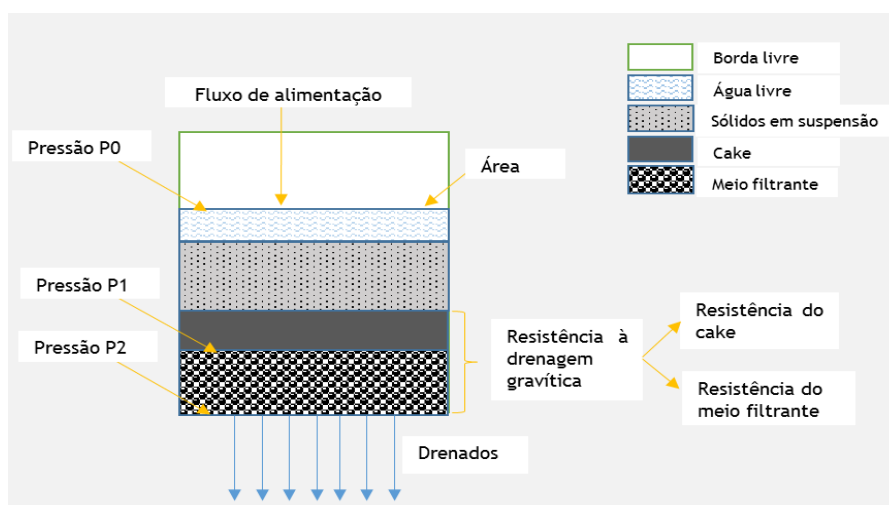


Figura 2. Diagrama esquemático mostrando os principais parâmetros na drenagem gravítica

A oposição à drenagem por parte do *cake* depende da altura de lamas aplicada, do teor de sólidos inicial das lamas e da resistência específica do *cake*. Este último parâmetro é um indicador clássico que representa a resistência do fluxo à drenagem gravítica por cada unidade de massa de sólidos no *cake*. Geralmente, quanto menor o valor da resistência específica, mais filtráveis ou “drenáveis” são as lamas. Na literatura de especialidade, a resistência específica do *cake* é utilizada para descrever a resistência específica média do *cake*, dada a falta de homogeneidade que apresenta este parâmetro ao longo do *cake*, devido ao efeito da compressibilidade (ou seja, a resposta à pressão hidrostática não é uniforme ao longo de toda espessura do *cake*, sendo maior na sua superfície) (Lo, 1971; Christensen *et al.*, 2010; Dominiak *et al.*, 2011).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da instalação experimental

O estudo foi conduzido mediante a exploração de uma instalação-piloto de tratamento de lamas fecais, construída nas instalações da Administração Regional de Águas do Zambeze, na cidade Tete, em Moçambique. Conforme se apresenta na Figura 3, a instalação-piloto apresenta três unidades de leitos de secagem de lamas (designados por LS01, LS02 e LS03), constituídas em plástico, cada uma com 1 m<sup>3</sup> de volume e 1 m<sup>2</sup> de área, possibilitando a operação em condições atmosféricas normais. Cada leito de secagem dispõe de um meio filtrante de 40 cm de espessura, composto por areia e brita, com um dreno no fundo para a coleta dos drenados.

Os leitos de secagem foram montados sobre uma base de alvenaria a aproximadamente 0.5 m do solo, por forma a minimizar o contacto com o terreno e as perdas de calor por condução que daí poderiam decorrer. Foi também colocado, no interior de cada leito, verticalmente, um tubo de PVC perfurado na parte inferior, constituindo um dispositivo de monitorização de água acumulada no meio filtrante. As principais características respeitantes as componentes do meio filtrante utilizado podem ser visualizadas no Quadro 1.





Figura 3. Instalação-piloto de tratamento de lamas na cidade de Tete, Moçambique

Quadro 1. Dimensões das componentes dos leitos de secagem utilizados na EPTLF

Camada	Material	Localização	Função	Espessura da camada (cm)	Diâmetro médio (mm)
1	Brita	Fundo	Suporte	20	19
2	Brita	Intermédio	Suporte	10	10
3	Areia	Topo	Filtro	10	0.3 – 0.6

### 3.2 Avaliação da condutividade hidráulica saturada do meio filtrante

A avaliação da condutividade hidráulica saturada do meio filtrante de cada leito foi realizada através de ensaios experimentais. O procedimento experimental consistiu no enchimento de cada um dos leitos com água até se atingir um determinado nível constante  $N$  (0.47, 0.55, 0.60, 0.65, 0.80, 0.85 e 0.90 m), subindo-se em seguida a tubagem de descarga até uma determinada altura  $H$  (0, 0.25 e 0.44 m), abaixo do nível  $N$ . A medição do caudal descarregado, a carga constante, foi realizada com a anotação dos valores de  $Q$ ,  $N$  e  $H$ .

O valor da condutividade hidráulica foi estimado a partir da equação (1), sendo  $K$  a condutividade hidráulica saturada ( $\text{ms}^{-1}$ ),  $L_m$  a espessura do meio filtrante (m),  $h$  a diferença de altura entre o nível constante  $N$  e a altura de descarga  $H$  (m),  $A$  a área da secção do leito ( $\text{m}^2$ ),  $Q$  o caudal ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ),  $V$  o volume de lama de enchimento ( $\text{m}^3$ ) e  $t$  o tempo decorrido para o enchimento de um determinado volume (s). Na Figura 4 apresenta-se o digrama esquemático com referência aos parâmetros mencionados. Os resultados indicam um valor de  $K$  igual a  $4 \cdot 10^{-4}$  ( $\text{ms}^{-1}$ ) para todos os leitos.

$$K = \frac{QL_m}{hA} = \frac{Vt^{-1}L_m}{(N - H)A} \quad (1)$$

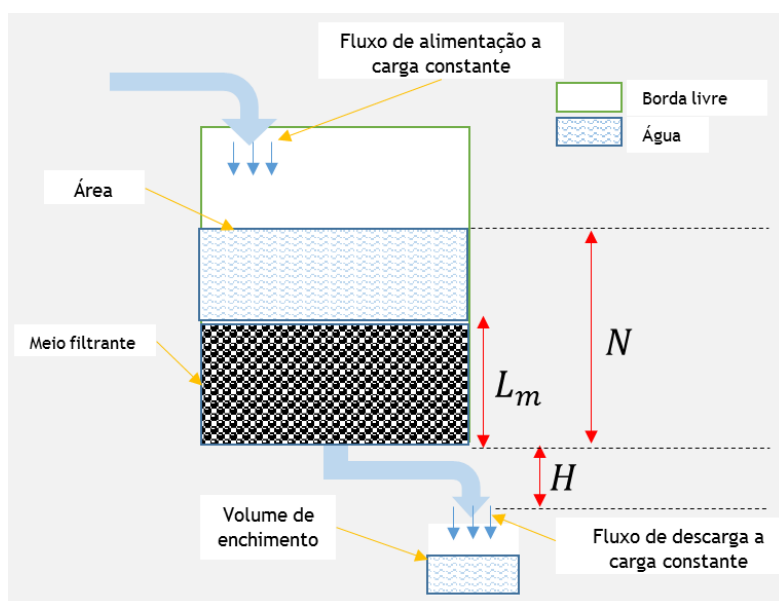


Figura 4. Diagrama esquemático com as principais componentes do ensaio

### 3.3 Recolha de lamas e alimentação dos leitos de secagem

As lamas fecais utilizadas nos ensaios tiveram a proveniência de fossas sépticas individuais (FS) e de balneários públicos (BP), tendo sido recolhidas por camião limpa fossas do concelho municipal da cidade de Tete (o material removido corresponde à lama sedimentada mas também ao volume de águas residuais contido na infraestrutura). Dada capacidade do camião vácuo, não foi possível esvaziar por completo a estrutura de armazenamento do BP01 e da FS03, o que pode ter influenciado as características das lamas, promovendo um efeito de “diluição”. Contudo, é de notar que, mesmo na situação de saneamento a seco, dada a localização e características das latrinas ou fossas e o seu conteúdo, é comum o esvaziamento com a adição de água, pelo que este efeito de diluição pode, na prática, ocorrer.

No Quadro 2 são apresentadas as características gerais dos ensaios realizados, incluindo a origem das lamas utilizadas em cada ensaio. A mistura observada nos ensaios ENS03 e ENS06 foi realizada na proporção de 1:2 (BP:FS), no camião limpa fossas, anteriormente à alimentação dos leitos, garantindo assim uma certa homogeneização.

Quadro 2. Características gerais dos ensaios realizados

Designação do Ensaio	Designação do Leito	Proveniência das Lamas	Altura Inicial das Lamas (cm)
ENS01	LS01	FS01	20.00
ENS02	LS02	FS01	35.00
ENS03	LS03	FS01+BP01	56.00
ENS04	LS01	FS02	30.00
ENS05	LS01	FS03	30.00
ENS06	LS03	FS03+BP01	32.50

### 3.4 Monitorização, amostragem e métodos analíticos

Foram diariamente recolhidas amostras e avaliados os parâmetros teor de sólidos das lamas e volume de drenados. É de referir que, dada inexistência de laboratórios acreditados em Tete, não foram efetuadas outras análises à composição físico-química e microbiológica das lamas. Para a avaliação do teor de sólidos, as amostras de lamas, após recolhidas, foram catalogadas e rapidamente encaminhadas para o laboratório de ambiente da ARA-Zambeze, tendo sido usado o procedimento experimental descrito em APHA (2005). O volume dos drenados ( $V_d$ ) foi quantificado com auxílio de um recipiente graduado, anotando-se o volume e a hora em que se fazia leitura. Os elementos meteorológicos (temperatura ambiente, humidade relativa do ar, precipitação pluviométrica e a velocidade do vento) foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INAM) - Delegação de Tete. No estudo da resistência à drenagem gravítica, a precipitação é dos fatores climáticos mais relevantes por ser responsável pela adição de humidade nas lamas. Como durante os ensaios não houve registo de precipitação (os invernos em Moçambique são tipicamente secos), esse parâmetro foi excluído.

### 3.5 Determinação da resistência à drenagem gravítica

A resistência à drenagem, proporcionada fundamentalmente pelo *cake* e pelo meio filtrante, pode ser determinada a partir da equação 2 (Dominiak *et al.*, 2010). O coeficiente de proporcionalidade da drenagem gravítica  $K_d$  ( $s^{-1}$ ) reflete a resistência proporcionada pelo *cake* e pelo meio filtrante ao movimento do escoamento e depende dos parâmetros:  $\rho$ , a densidade da água ( $kgm^{-3}$ );  $g$ , a aceleração da gravidade ( $ms^{-2}$ );  $\mu$ , a viscosidade dinâmica da água ( $kg/ms^{-1}$ );  $R_c$ , a resistência do *cake* ( $m^{-1}$ ); e  $R_m$ , a resistência do meio filtrante ( $m^{-1}$ ).

$$K_d = \frac{\rho g}{\mu(R_c + R_m)} \quad (2)$$

A soma das duas resistências ( $R_c$  e  $R_m$ ), na equação 2, representa a resistência total à drenagem gravítica. A resistência específica do *cake*  $\alpha$  ( $mkg^{-1}$ ) traduz a dificuldade oferecida pelo *cake* à passagem da água livre, até atingir o meio filtrante (Berkay, 1998), e foi obtida através da equação 3 (Dominiak *et al.*, 2010), sendo  $c$  a concentração de lamas ( $kgm^{-3}$ ) e  $h_o$  a altura inicial de aplicação das lamas (m).

$$R_c = \alpha \cdot c \cdot h_o \quad (3)$$

A resistência do meio filtrante ( $R_m$ ) foi estimada a partir das equações (4) e (5), com base nos resultados dos ensaios de condutividade hidráulica descritos na seção 3.2. Nestas equações  $K_m$  é a permeabilidade do meio filtrante ( $m^{-2}$ ) e  $K$  a condutividade hidráulica saturada ( $ms^{-1}$ ).

$$R_m = L_m(K_m)^{-1} \quad (4)$$

$$K_m = \mu K(\rho g)^{-1} \quad (5)$$

O  $K_d$  foi determinado a partir da equação (6), partindo do princípio prático de que, à medida que a água presente nas lamas é removida por drenagem, o teor de humidade das lamas vai



diminuindo até atingir um ponto (usualmente denominado por capacidade de campo da lama) a partir do qual o fluxo dos drenados cessa ou passa a ocorrer de forma insignificante. Na equação (6)  $PHD_{(t)}$  representa a perda de humidade da lama por drenagem gravítica (%),  $TH$  o teor de humidade das lamas (%),  $C_c$  o teor de humidade da lama na qual a drenagem gravítica cessa ou deixa de ter um efeito preponderante (%),  $t_d$  o tempo decorrido durante a drenagem gravítica (s).

$$PHD_{(t)} = C_c + (TH_{(t-1)} - C_c)e^{K_d * t_d} \quad (6)$$

Na Figura 5 apresenta-se o teor de humidade das lamas em função do tempo total de desidratação, bem como as curvas de perda de humidade por drenagem, determinadas a partir da equação (7), que representa a quantidade de água removida por drenagem em ordem ao tempo. Neste equação,  $V_d$  é o volume de água drenada ( $m^3$ ),  $V_l$  é a quantidade de lamas aplicada ( $m^3$ ),  $V_w$  é a quantidade de água contida nas lamas ( $m^3$ ) e  $TH$  é o teor de humidade das lamas (%).

$$V_{d(t)} = V_l - \frac{V_l * (100 - TH_{(t-1)})}{100 - PHD_{(t)}} \quad (7)$$

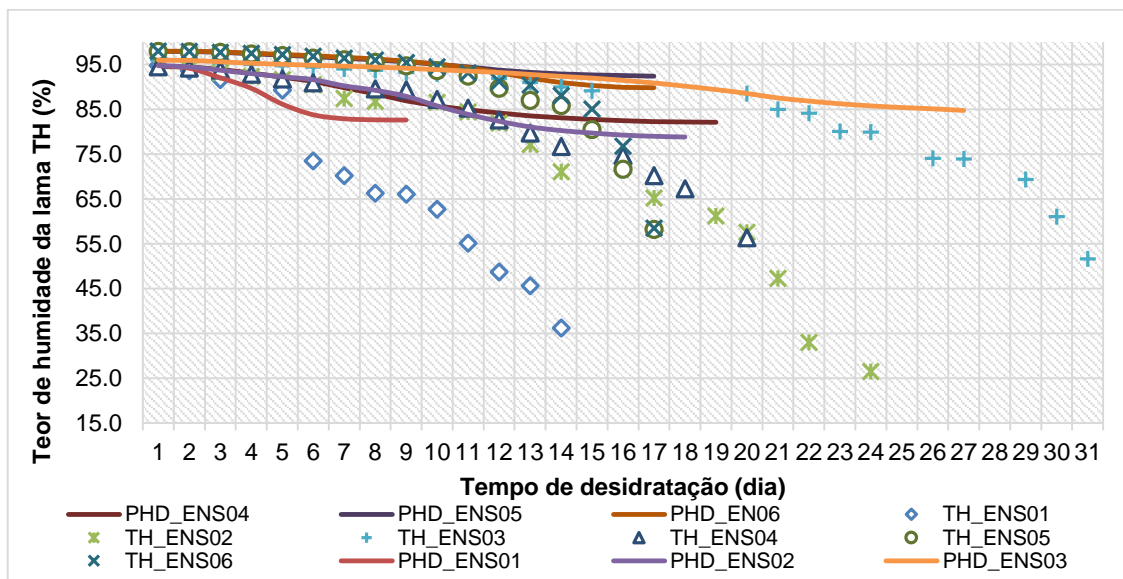


Figura 5. Curvas de teor de humidade e perda de humidade por drenagem

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 3 são apresentados os resultados referentes à resistência do *cake* e do meio filtrante, e à resistência específica do *cake*, incluindo a altura de lamas aplicada, o tempo de drenagem e o teor de sólidos das lamas.

Quadro 3. Altura de lamas aplicadas ( $h_{(t)}$ ), tempo de drenagem ( $t_d$ ), teor de sólidos (TS), resistência do cake ( $R_c$ ), resistência do meio filtrante ( $R_m$ ) e resistência específica do cake ( $\alpha$ ).

Designação do Ensaio	$h$ (m)	$t_d$ (dia)	TS (%)	$R_c$ ( $m^{-1}$ )	$R_m$ ( $m^{-1}$ )	$\alpha$ ( $mkg^{-1}$ )
1) ENS01	0.200	7.3	5.2	$2.0E+12$	$1.3E+10$	$2.1E+11$
2) ENS02	0.350	16.5	5.2	$7.0E+12$	$9.8E+09$	$3.8E+11$
3) ENS03	0.560	25.8	4.0	$2.0E+13$	$1.3E+10$	$8.8E+11$
4) ENS04	0.300	17.5	5.4	$5.4E+12$	$1.3E+10$	$3.3E+11$
5) ENS05	0.300	15.6	2.0	$7.6E+12$	$1.3E+10$	$1.3E+12$
6) ENS06	0.325	15.5	2.0	$4.4E+13$	$9.8E+09$	$6.7E+12$

### Altura de lamas aplicadas

Os resultados indicam que o aumento da altura de lamas aplicadas resultou, como expectável, no aumento do tempo de drenagem, variando linearmente (Figura 6). Verificou-se igualmente (Figura 7) que a resistência específica do cake tende a aumentar com a altura de lamas de lamas aplicada (à exceção dos ensaios ENS05 e ENS06), em conformidade com o observado por Dominiak *et al.* (2010). Tal decorre da compressibilidade do cake, ou seja, quanto maior a pressão sobre o cake (resultante da altura de lamas aplicadas), mais comprimido fica, resultando numa maior resistência ao fluxo (Lo, 1971; Christensen *et al.*, 2010; Dominiak *et al.*, 2011).

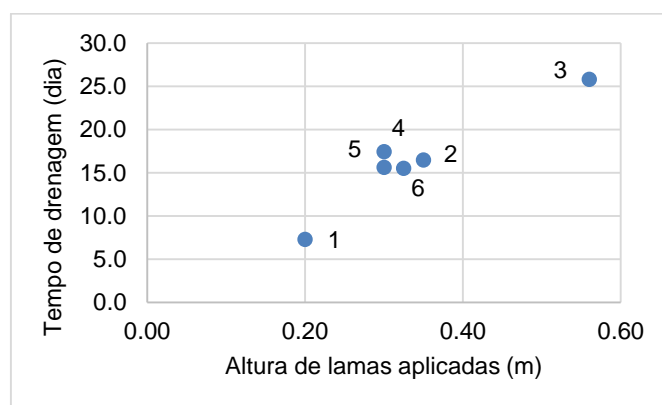


Figura 6. Altura de lama aplicadas vs. tempo de drenagem

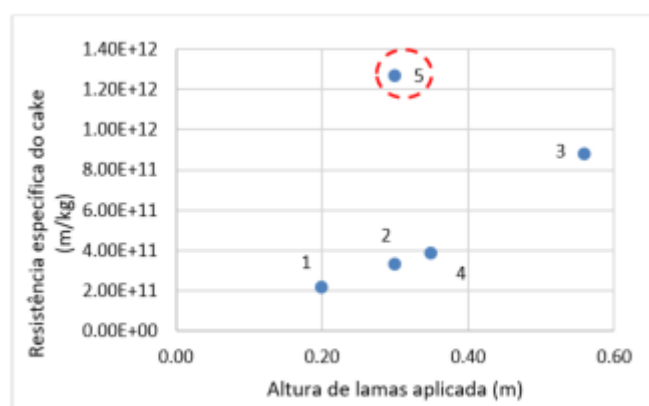


Figura 7. Altura de lama aplicada vs. resistência específica do cake

Os valores *outliers* obtidos nos ensaios ENS05 e ENS06 podem dever-se às características qualitativas das lamas, dado o reduzido teor de sólidos (que se pode justificar dada a dificuldade do camião vácuo em remover a totalidade do conteúdo das fossas). Refere-se que o teor de sólidos inicial das lamas é responsável por definir a quantidade de sólidos do *cake* e, à medida que o teor de sólidos das lamas aumenta, o tempo total de drenagem também aumenta (Lo, 1971; Christensen *et al.*, 2010; Dominiak *et al.*, 2010).

#### **Resistência à drenagem gravítica**

Os resultados revelam que, em todos os leitos, a resistência do meio filtrante representa pouco menos de 1% da resistência total à drenagem gravítica. Esse resultado era expectável porque, em regra, o meio filtrante é caracterizado por uma alta permeabilidade, sendo por essa razão que muitos autores (e.g., Rasmussen *et al.*, 1994; Berkay 1998; Dominiak *et al.*, 2010) optam por não incluir a resistência do meio filtrante em estudos semelhantes.

Os resultados evidenciam dois grupos de ensaios caracterizados por valores de resistências do *cake* de ordens distintas, com destaque para o agrupamento formado pelo ENS03 e ENS06 por apresentarem resistências na ordem dos  $10^{13} \text{ m}^{-1}$  (esse agrupamento corresponde a ensaios em que se procedeu a mistura de lamas provenientes de fossas sépticas com as do balneário público). Em regra, valores de resistência do *cake* elevados indicam maior resistência à drenagem.

#### **Resistência específica do cake**

Os valores da resistência específica do *cake*, para os ensaios ENS01 a ENS04, foram de  $[2 - 9]10^{11} \text{ m/kg}$ , e de  $[1 - 7]10^{12} \text{ m/kg}$  para os ensaios ENS05 e ENS06. Nestes dois últimos ensaios, os valores mais elevados da resistência específica do *cake*, indicam lamas de difícil desidratação. Segundo Berkay (1998), os valores típicos da resistência específica de lamas de estações de tratamento de águas residuais encontram-se na gama de  $[4 - 12]10^{13} \text{ m/kg}$  para lamas ativadas,  $[3 - 30]10^{11} \text{ m/kg}$  para lamas digeridas,  $[3 - 10]10^{11} \text{ m/kg}$  para lamas primárias condicionadas e  $[2 - 20]10^{11} \text{ m/kg}$  para lamas digeridas condicionadas.

### **5. CONCLUSÕES**

O presente estudo avalia a resistência à drenagem gravítica proporcionada pelo *cake* e pelo meio filtrante, incluindo os principais fatores ou processos macroscópicos que influenciam a drenagem gravítica. De um modo geral, o trabalho desenvolvido apresenta conclusões e resultados similares aos obtidos por outros autores, designadamente:

- a resistência do meio filtrante representa pouco menos que 1% da resistência total proporcionada à drenagem gravítica;
- a resistência específica do *cake* apresenta valores entre  $10^{11} - 10^{12} \text{ m/kg}$ ;
- tipicamente, o aumento da altura de lamas aplicadas reverte-se numa espessura do *cake* superior, dada a maior presença de sólidos, resultando numa maior resistência ao fluxo e num aumento do tempo total de drenagem.

O aumento do conhecimento dos fenómenos que condicionam a drenagem gravítica em leitos de secagem de lamas fecais, designadamente a resistência à drenagem gravítica proporcionada pelo meio filtrante e pela camada de sólidos sedimentados sobre a sua superfície (*cake*), reveste-se de particular importância para os países em desenvolvimento, como Moçambique, e será aplicado no desenvolvimento de um modelo de desempenho hidráulico dos leitos de secagem.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam o seu agradecimento às seguintes instituições: i) Camões, Instituto da Cooperação e da Língua, CICL, pelo financiamento à realização do programa Doutoral em Engenharia do Ambiente; ii) à Administração Regional das Águas do Zambeze, ARA-Zambeze, pelo financiamento na montagem e operacionalização da instalação piloto de tratamento de lamas fecais e; iii) ao Conselho Municipal da cidade de Tete, pelo suporte logístico no que se refere a recolha das lamas e respetivo carregamento dos leitos de secagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington D.C.
- Barroso, J. R., Matos, J. M., e Monteiro, A. J. (2015). *Evolução dos Serviços de Saneamento de Águas Residuais em Meio urbano e Alterações Climáticas – O caso de Moçambique*. Encontro Nacional de Entidades Gestoras de Águas e Saneamento – ENEG 2015, (p. 20). Porto.
- Berkday, A. (1998). Properties of Sludge Produced From the Pressurized Wastewater Treatment Process. *Journal of Engineering and Environmental Science*, n. 22, pp 377-385
- Christensen, G.L., Dick, R.I., (1985). Specific resistance measurements: methods and procedures. *Journal of Environmental Engineering* 111, 258-271.
- Christensen, M.L., Dominiak, D.M., Nielsen, P.H., Sedin, M., Keiding, K., (2010). Gravitational drainage of compressible organic materials. *American Institute of Chemical Engineers Journal* 56 (12), 3099-3108.
- Dominiak, D., Christensen, M., Keiding, K., Nielsen, P. H., (2011). Gravity drainage of activated sludge: New experimental method and considerations of settling velocity, specific cake resistance and cake compressibility, *Water Research*.
- Gold, M., Dayer, P., Faye, M. C. a. S., Clair, G., Seck, A., Niang, S., Morgenroth, E., Strande, L. (2016). Locally produced natural conditioners for dewatering of faecal sludge. *Environmental Technology*, 1-13.

Heinss, U., Larmie, S. & Strauss, M. (1998). "Solids Separation and Pond Systems for the Treatment of Faecal Sludges in the Tropics – Lessons Learnt and Recommendations for Preliminary Design", Dübendorf, Suíça: EAWAG/SANDEC.

Kuffour, R. A. (2010). *Improving faecal sludge dewatering efficiency of unplanted drying bed*. PhD Thesis, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil and Geomatic Engineering College of Engineering, Kumasi, Ghana.

Lo, K. M. (1971). *Digital computer simulation of water and wastewater sludge dewatering on sand beds*. Report N°. EVE 26-71-1; Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, University of Massachusetts.

Manga M., Evans B.E., Camargo-Valero M.A., Horan N.J., (2016). Effect of filter media thickness on the performance of sand drying beds used for faecal sludge management. *Water Science and Technology* 26 (9).

Rasmussen, H., Bruus, J.H., Keiding, K., Nielsen, P.H., (1994). Observations on dewaterability and physical, chemical and microbiological changes in anaerobically stored activated sludge from a nutrient removal plant. *Water Research* 28, 417-425.

Seck, A., Gold, M., Niang, S., Mbéguéré, M., Diop, C. Strande, L. (2015). Faecal sludge drying beds: increasing drying rates for fuel resource recovery in Sub-Saharan Africa. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 5 (1), pp.72-80.