

AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DE UM SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO VERTICAL PARA O TRATAMENTO DE LODOS DE CAMINHÕES LIMPA-FOSSA

APPLICABILITY EVALUATION OF A WETLAND BUILT SYSTEM OF VERTICAL FLOW FOR THE TREATMENT OF SLUDGE OF CLEAN CESSPOOL TRUCKS

Cynthia Franco Andrade*

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, Brasil
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
cynfranco@gmail.com

Marcos von Sperling

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, Brasil
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
marcos@desa.ufmg.br

Resumo

A pesquisa consistiu na avaliação da aplicabilidade de um SAC tratando lodo de tanques sépticos, em termos de população atendida, custos, área e aproveitamento das plantas. O SAC avaliado foi construído em 2007 para o tratamento em escala real de esgotos sanitários brutos, conforme o primeiro estágio do sistema francês de SAC, compreendendo três leitos em paralelo. Em setembro de 2013, um leito, com área de 29,1 m², 0,7 m de altura do meio suporte e plantado com capim tifton-85, interrompeu o recebimento de esgotos, e começou a receber a aplicação de lodos de caminhões limpa-fossa uma vez por semana. Este leito foi monitorado por 405 dias, e foram realizadas análises de ST no lodo bruto afluente, líquido percolado efluente e lodo acumulado no leito, bem como análise de produtividade das plantas. Na análise da aplicabilidade chegou-se a um custo total do saneamento inferior a 32 R\$/hab.ano e atendimento a uma faixa de 39 a 131 hab/m².

Palavras-chave: Wetlands construídos. Sistema alagado construído. Tanque séptico. Lodo. Caminhões limpa fossa.

Abstract

The research consisted on the applicability evaluation of a wetland built system treating sludge from septic tanks, in terms of attended population, costs, area and use of plants. The valued wetland built system was built in 2007 for the real scale treatment of crude sewage, as the first stage of the French system of wetland built system, consisting of three tanks in parallel. In September 2013, one tank, with an area 29.1 m², 0.7 m high material support and planted with grass tifton-85, stopped incoming sewage, and began to receive the application of sludge clean cesspool trucks once a week. This tank was monitored for 405 days, and they were made total solids analysis in the affluent crude sludge, percolated liquid effluent and sludge accumulated in the tank, as well productivity analysis of the plants. In applicability analysis met a total cost of sanitation less than 32 R\$/inhabitant.year and response to a range 39-131 inhabitants/m².

Keywords: Wetlands. Wetland built system. Septic tank. Sludge. Cesspool trucks.

1 Introdução

A coleta e o tratamento de esgotos, ainda hoje, são um desafio no mundo. No Brasil, o índice de atendimento da população total com coleta de esgotos é de apenas 46,2% (BRASIL, 2012) e os sistemas individuais de tratamento, como os tanques sépticos, têm sido uma alternativa para destinar adequadamente os efluentes domésticos. No Brasil, 20,7% (IBGE, 2008) da população utilizam os tanques sépticos. Eles se destacam devido ao tratamento *in loco*, o custo relativamente baixo e a simplicidade operacional. Porém, a manutenção necessita ser periódica, pois o lodo acumulado no sistema deve ser removido. A limpeza dos tanques ocorre por meio dos serviços de empresas conhecidas como “desentupidoras” ou “caminhões limpa-fossa”. Algumas dessas empresas não são regularizadas ambientalmente e muitas vezes não fornecem uma destinação adequada do material coletado, despejando-o, por exemplo, em corpos d’água.

O lodo retirado na limpeza dos tanques deve ser tratado e disposto corretamente e para isso os caminhões limpa-fossa têm encaminhado o lodo às estações de tratamento de esgoto (ETE), quando estas existem e podem receber o material. Além disso, os caminhões limpa-fossa nem sempre recolhem o lodo somente de tanques sépticos, abrangendo, por exemplo, resíduos de caixas de gordura ou banheiros químicos, conduzindo a um material ainda mais heterogêneo e de difícil caracterização. Em alguns países da Europa, Ásia e África (UGGETTI *et al.*, 2010), uma alternativa tecnológica para o lodo anaeróbico, incluindo o de tanques sépticos, tem sido o tratamento através de sistemas alagados construídos (SAC), também conhecidos como *wetlands construídos* ou leitos de secagem plantados. A variante de SAC mais adequada para o tratamento de lodo de tanques sépticos é a de escoamento vertical.

Os SAC apresentam algumas características e vantagens interessantes, notadamente citadas por diversos autores, como serem considerados tecnologias apropriadas para pequenas localidades, apresentarem baixo custo em relação a outras tecnologias convencionais e gerarem subprodutos que podem ser aproveitados (KOOTTATEP, 2002; SUNTTI *et al.*, 2011). Com o intuito de melhor ilustrar tais características e vantagens dos SAC, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a aplicabilidade de um SAC tratando lodo de tanques sépticos, em termos de população atendida, custos, área e aproveitamento das plantas.

2 Materiais e métodos

O SAC avaliado foi construído em 2007, com características típicas do primeiro estágio de um sistema francês de escoamento vertical para o tratamento apenas de esgotos sanitários. Consiste em três filtros verticais, com alimentação em pulso e com alternância entre os leitos. A partir de 2013, um dos leitos passou a receber apenas a aplicação de lodo do caminhão limpa-fossa. Cada leito possui 3,1 m de largura, 9,4 m de comprimento e 1,0 m de parede lateral, preenchidos com

0,70 m de meio suporte, sendo 0,40 m de brita 0 na camada superficial, 0,15 m de brita 1 na camada intermediária e 0,15 m de brita 3 na camada inferior, e plantado com capim tifton-85 (*Cynodon dactylon Pers*). A área de cada leito é 29,1m². A saída do sistema era mantida aberta, ou seja, com um baixo tempo de detenção hidráulica (TDH).

A operação do sistema com lodo teve início em 27/09/2013 e foi finalizada após 405 dias de operação, em 05/11/2014, sendo aplicado uma vez por semana todo o volume de lodo de um caminhão limpa-fossa, de empresas distintas. A taxa de aplicação de sólidos (TAS) não era controlada a cada aplicação, como ocorre em outros estudos da literatura, sendo determinada após a análise da concentração de sólidos totais (ST) em laboratório. No que se refere à taxa de aplicação hidráulica (TAH), os leitos recebiam todo o volume transportado por cada caminhão, também implicando em distintas taxas a cada batelada. Tal estratégia foi adotada, pois em uma localidade real, possivelmente, essas seriam as condições de operação, sem exercer controle absoluto sobre os volumes e cargas aplicados.

Para verificação do desempenho do sistema foi avaliada, semanalmente, a concentração de ST no lodo bruto afluente e no líquido percolado efluente, de acordo com as orientações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 2012). A coleta de amostras e análise da camada de lodo acumulada no leito foram realizadas de acordo com orientações propostas por Kiehl (1985), sendo realizada em laboratório a análise do percentual de sólidos totais e umidade. Além disso, realizou-se o corte da parte aérea do capim tifton-85, sendo realizadas a análise de produtividade das plantas, conforme descrito por Pompêo (2013). Maiores detalhes sobre todo o experimento podem ser obtidos em Andrade (2015) e Andrade *et al.* (2015).

A avaliação da aplicabilidade do SAC tratando lodo de tanques sépticos foi realizada por meio de dados primários obtidos no monitoramento e secundários provenientes da literatura.

3 Resultados

Para a avaliação da aplicabilidade do SAC tratando lodo de tanques sépticos é importante destacar alguns resultados obtidos no monitoramento, que são apresentados na Tabela 1. Nota-se que a concentração mediana de ST afluente foi baixa, quando comparada com outros autores: Kootattep *et al.* (2001), Tailândia, de 2000 a 67000 mg/L; Koné e Strauss (2004), Argentina, de 6000 a 35000 mg/L; Suntti *et al.* (2011), Brasil, de 3479 a 36814 mg/L. Consequentemente, a TAS média resultante (81 kgST/m².ano) também foi inferior à relatada na literatura, que tem citado como uma faixa adequada para regiões de clima quente a TAS de 125 a 250 kgST/m².ano. Esses baixos valores, somados à granulometria mais grossa do meio filtrante e ao baixo TDH, podem ter ocasionado na baixa eficiência de remoção do sistema, que em outros estudos tem sido acima dos 90%. Já no que se refere ao desaguamento do lodo acumulado no leito, obteve-se uma elevada

concentração média de 53% de ST e uma relação de STV/ST de 0,60, o que indica que o sistema foi realmente adequado para o tratamento do lodo, por proporcionar bom desaguamento e um lodo digerido.

Tabela 1: Resultados do monitoramento da unidade para tratamento de lodo

Resultado	Valor	Resultado	Valor
Volume médio aplicado em cada semana (m ³)	8	Produtividade cada corte (kg matéria seca/m ²)	1,04 e 1,43
TAS média resultante (kgST/m ² .ano)	81	Taxa de acúmulo de lodo (cm ao ano)	7,3
TAH média resultante (m ³ /m ² .ano)	13,1	Percentual ST lodo bruto (%)	0,23
Concentração mediana de ST afluente (mg/L)	2349	Percentual ST lodo acumulado no leito (%)	53,0
Concentração mediana de ST efluente (mg/L)	1159	STV/ST lodo bruto	0,54
Eficiência de remoção mediana de ST (%)	46	STV/ST lodo acumulado no leito	0,60

Fonte: Autoria própria (2014)

3.1 População atendida

Conhecer o número de habitantes que um sistema tem capacidade de atender é de grande importância para analisar sua aplicação. Conforme a Tabela 2, observa-se que o valor da produção volumétrica de lodo em tanques sépticos citada por alguns autores varia entre 0,3 a 1,5 L/hab.dia. Com esses dados e o volume de lodo bruto recebido no SAC, é possível estimar o número de pessoas atendidas em relação à produção volumétrica. No cálculo para o presente SAC foi considerado o volume médio das aplicações realizadas semanalmente, de 8 m³.

Tabela 2: Estimativa da população atendida com o SAC tratando lodos de tanques sépticos

Referência	Produção volumétrica média de lodo em tanques sépticos, segundo a literatura		Volume médio de lodo por aplicação (L) no presente experimento		Nº de atendidos no leito do experimento (hab)
	Dia (L/hab.dia)	Ano (L/hab.ano)	Semanal	Ano	
Strande <i>et al.</i> (2014)	1,5	548	8000	416000	760
Klingel (2001)	0,8	300	8000	416000	1387
Andreoli <i>et al.</i> (2001) - Valor mín	0,3	110	8000	416000	3799
Andreoli <i>et al.</i> (2001) - Valor máx	1,0	365	8000	416000	1140
ABNT (1993)	-	65	8000	416000	6400

Fonte: Autoria própria (2015)

O SAC de 29,1 m², considerando os resultados com os dados de diferentes autores, apresentou capacidade estimada de atender de 760 hab (STRANDE *et al.*, 2014) até 6400 hab (ABNT, 1993). Analisando com base nas faixas sugeridas por Andreoli *et al.* (2001), pois são autores brasileiros, mais recentes que a NBR 7229 (ABNT, 1993), e talvez retratem melhor a realidade do sistema em estudo, o SAC investigado no presente estudo atende a 1140-3799 hab, a depender das características do lodo, o que equivale a 285-950 famílias com quatro moradores por residência e a 39-131 hab/m² (0,007-0,025 m²/hab).

Suntti (2010) alcançou um máximo de 38 hab/m² (0,03 m²/hab), utilizando a produção

volumétrica de 300 L/hab.ano, citada por Klingel (2001). Koottatep *et al.* (2005) estimaram que a área requerida para a implantação de um SAC tratando lodo é de 32 m²/1000 hab (0,032 m²/hab).

Cabe mencionar, ainda, que o volume médio de 8 m³ (TAH de 14,3 m³/m².ano) foi o mais recorrente aplicado no SAC, devido a essa ser a capacidade mais comum dos caminhões limpa-fossa. Ocorreram aplicações com até 12 m³(o que resultaria em uma TAH de 21,4 m³/m².ano) e o desempenho do sistema foi mantido, o que sugere possibilidades de um atendimento maior de habitantes, sendo bastante interessante para pequenas localidades.

3.2 Custos de implantação e operação

Em relação aos custos de implantação de um SAC tratando lodo de tanque séptico, Heinss *et al.* (1999) estimaram um custo, incluindo implantação, operação e manutenção, de 75–95 US\$/ton ST (~ 150–190 R\$/ton ST). Em estudo mais recente, Giraldi *et al.* (2009) estimaram que o custo de construção de SAC para tratamento de lodo na Itália foi de 150 €/m² (~ 450 R\$/m²), incluindo também os custos para esvaziamento, transporte e disposição final do lodo acumulado (como condicionador do solo, no caso), levando em conta o período de 10 anos para enchimento completo e necessidade de remoção do lodo acumulado.

Em outro estudo na Itália, Giraldi e Iannelli (2009), assumindo uma expectativa de vida global do sistema de 30 anos, estimaram um custo de construção dos SAC de 250 €/m² (~ 750 R\$/m²), levando em conta os custos com aquisição de plantas, plantio, tubulações e obras. Já para a manutenção, incluindo corte de plantas, tratamento, transporte e disposição final do lodo, chegaram ao valor de 130 €/m² (~ 390 R\$/m²). Os autores comentam que os custos podem variar, significativamente, mesmo em uma mesma localidade, pois os custos relacionados com o transporte e disposição final dependem fortemente das condições locais (distância do SAC ao local de disposição, possibilidade de reutilização agrícola, entre outros).

Strande *et al.* (2014) ressaltam que, apesar das análises de custos associados com a construção e manutenção de um SAC não serem representativas dos custos de todo o mundo, elas fornecem alguns indicativos importantes. Destaca-se também que as pesquisas apresentadas são do ano de 2009, podendo haver diferenças na valorização da moeda.

Considerando os custos estimados mencionados pelos autores e a área do SAC da presente pesquisa, foram calculados o custo anual do SAC, conforme Tabela 3. Como o sistema em estudo foi construído originalmente para o tratamento de esgotos domésticos, é difícil computar-se os custos de implantação resultantes. No entanto, pode-se comentar que eles se aproximam mais dos valores citados pro Giraldi *et al.* (2009). Para se converter os custos em uma base anual, necessita-se de utilizar a fórmula do valor presente e gastos anuais constantes. Assumindo uma taxa de juros de 12% ao ano e os horizontes de projeto de 10 e 30 anos do SAC, adotados pelos autores

referenciados, os valores anuais correspondentes estão apresentados na última coluna da Tabela 3.

Tabela 3: Estimativa do custo para implantação e operação do SAC

Referência	Horizonte (anos)	Custo (R\$/m ²)	Área (m ²)	Custo total (R\$)	Custo por ano (*) (R\$/ano)
Giraldi <i>et al.</i> (2009)	10	450,00	29,1	13095,00	2.318,00
Giraldi e Iannelli (2009)	30	1140,00	29,1	33174,00	4.118,00

(*) Custo de amortização, com horizontes de 10 e 30 anos e taxa de juros de 12% ao ano (usar fórmula de relação entre valor presente e gastos anuais constantes)

Fonte: Autoria própria (2015)

Nota-se que os valores citados nos dois estudos são similares quando avaliados anualmente. Se verificado o custo em relação à faixa de população estimada para o SAC, de 1140-3799 habitantes, e considerando o horizonte de 10 anos, o custo (implantação e operação) seria de 6,10-20,33 R\$/hab e 10,84-36,12 R\$/hab, para os valores de Giraldi *et al.* (2009) e Giraldi e Iannelli (2009), respectivamente.

Koottatep *et al.* (2005) estimam que o custo anual de operação e manutenção, excluindo a retirada do lodo acumulado ao final, de um SAC tratando lodo de tanque séptico é de 250 US\$/1000 hab, o que equivale a 0,25 US\$/hab.ano (~ 0,50 R\$/hab.ano). Ressalta-se que há uma diferença de 5 anos entre esse e os outros estudos, e que esse não considera a retirada do lodo ao final da operação.

Apesar das fragilidades da análise, vale para ilustrar que o SAC é uma tecnologia de baixo custo, como apontado por Rulkens (2004), que considera como as principais vantagens dos SAC a sustentabilidade a longo prazo e os custos de operação e de manutenção extremamente baixos.

Nielsen (2015) comenta que o SAC tratando lodo é um processo de baixo custo operacional, baixo consumo de energia, não necessita de pré-tratamento e proporciona um tratamento de lodo de longo prazo. Em seu estudo de análise econômica do tratamento do lodo excedente de lodos ativados em SAC comparada ao tratamento em um sistema mecânico convencional, o autor concluiu que o custo inicial de um SAC é maior do que o de um sistema mecânico convencional, mas o SAC irá fornecer economia significativa de custo operacional, ocasionando em uma poupança expressiva no custo global da instalação, durante 20-30 anos. O autor comenta ainda que o SAC é a opção mais rentável e com menor impacto ambiental.

Gkika *et al.* (2014), em estudo na França que avalia os custos de construção e operação de SAC, resultaram na equação em que o $Custo = 307 \times \text{Área}^{0,900}$, com um R^2 de 0,99, onde a área deve ser inserida em hectares e o resultado do custo é em 10^3 US\$. Os autores comentam ainda que a equação é válida para áreas na faixa de 0,01 e 0,05 ha, a qual não contempla o SAC em estudo.

Cabe ainda realizar uma análise que contemple os custos envolvidos no SAC, já apresentados, mais o custo para implantação dos tanques sépticos e os custos para recolhimento do lodo nos tanques e transporte até o SAC. De acordo com von Sperling (2014), o custo per capita de

implantação de tanques sépticos é entre 80 e 150 R\$/hab. Considerando um valor médio de 120 R\$/hab, a faixa populacional de 1140-3799, tem-se um custo de implantação entre R\$136.800 e R\$455.880. Assumindo uma taxa de juros de 12% ao ano, e o mesmo horizonte de projeto de 10 anos do SAC, o valor de amortização anual (fórmula do valor presente e gastos anuais constantes) correspondente seria de R\$24.211 a R\$80.684, ou seja, 21 R\$/hab.ano. Já com relação à coleta e transporte do lodo, segundo a empresa de caminhões limpa-fossa, JM Desentupidora (2014), a coleta e o transporte do lodo de tanques sépticos dentro de Belo Horizonte, em caminhão com capacidade de 8 m³, é de R\$ 190,00. Se ultrapassado o volume, é cobrado outro transporte e se o deslocamento for para outras cidades, o valor é variável conforme a distância. Com isso, tem-se um valor ao ano de custos com a coleta e transporte do lodo bruto de, aproximadamente, 9880 R\$/ano (Custo em R\$/Caminhão em L x Volume aplicado anual em L/ano = 190/8000 x 416000). Ressalta-se que esse valor pode ser variável entre as empresas de caminhão limpa-fossa e localidades. Considerando a faixa populacional de 1140-3799 habitantes, tem-se um custo de 2,60-8,67 R\$/hab.ano para a realização dessa operação, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Estimativa do custo global do saneamento por tanques sépticos com SAC para lodo, no horizonte de 10 anos

Etapa	Custos do SAC segundo Giraldi et al. (2009)		Custos do SAC segundo Giraldi e Iannelli (2009)	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
População (hab)	1140	3799	1140	3799
Custo implantação de tanque séptico (R\$/hab.ano)	21,00	21,00	21,00	21,00
Custo coleta e transporte do lodo de tanque séptico (R\$/hab.ano)	8,67	2,60	8,67	2,60
Custo implantação e operação de SAC para lodo (R\$/hab.ano)	2,03	0,61	1,20	0,36
Custo total do saneamento (R\$/hab.ano)	31,70	24,21	30,87	23,96

Fonte: Autoria própria (2015)

Dentro das estimativas dos dois estudos quanto ao custo da implantação, operação e manutenção de SAC tratando lodo e considerando o custo da implantação do tanque séptico, a coleta e o transporte do lodo de tanques sépticos, estima-se um custo global do saneamento de 24,21-31,70 R\$/hab.ano para os valores do SAC de Giraldi *et al.* (2009) e 23,96-30,87R\$/hab.ano para Giraldi e Iannelli (2009). Tal resultado indica que essa solução de saneamento é de baixo custo, podendo ser implantada em localidades com um valor inferior a três reais por habitante ao mês. Destaca-se ainda, que, sendo os custos do tratamento do lodo bem menores do que os custos envolvidos na construção do tanque séptico, coleta e transporte do lodo (entre 1% e 7%, segundo os dados da Tabela 4), não há muitas justificativas, do ponto de vista meramente econômico, de não se implantar a solução completa do saneamento por tanques sépticos, incluindo o tratamento adequado do lodo). Outro ponto a se comentar que os custos globais não serão totalmente assumidos, diretamente, pela população. Esta deve arcar com os custos de implantação dos tanques sépticos e de coleta e de transporte do lodo. Os custos associados aos SAC deverão ser de responsabilidade do

prestador de serviços do saneamento na localidade.

3.3 Comparação entre SAC e leitos de secagem

A TAS tem sido considerada o parâmetro mais importante para o dimensionamento de um SAC para tratamento de lodo. Na presente pesquisa, a TAS média foi de 81 kgST/m².ano, valor inferior ao comumente encontrado na literatura.

A NBR 12209/2011 (ABNT, 2011), referente a projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário, recomenda que a TAS de leitos de secagem deve ser menor ou igual a 15 kg ST/m² de leito para cada ciclo de secagem, quando considerado um valor intermediário de 10 kgST/m² e um ciclo de secagem de 15 dias e de limpeza de 5 dias, comumente relatado, calcula-se uma TAS de 183 kgST/m².ano, conforme a Tabela 5. De forma comparativa, a tabela apresenta também os cálculos da área de um leito de secagem para a mesma faixa de população estimada de atendimento do SAC, de 1140-3799 habitantes, bem como a mesma concentração mediana de ST (2349 mg/L) e volume médio aplicado (8 m³). No dimensionamento foram inseridas também estimativas usualmente utilizadas em concepção de projetos e citadas por Andreoli *et al.* (2001).

Tabela 5: Estimativa da área requerida para um leito de secagem

Parâmetros	Mín	Máx	Parâmetros	Mín	Máx
População estimada (hab)	1140	3799	Tempo de Limpeza (dias)	5	5
Concentração mediana de ST (mg/L)	2349	2349	Tempo Ciclo (dias)	20	20
Produção mássica média (gST/hab.d)	11,5	11,5	Volume de lodo desaguado (m ³ /ciclo)	22,9	22,9
Carga de ST no lodo (kgST/d)	13,2	43,9	TAS por batelada (kg ST/m ²)	15	15
Produção volumétrica média (L/hab.d)	0,3	1,0	Bateladas por ano	18	18
Vazão de lodo (m ³ /d)	1,1	1,1	TAS anual (kg ST/m ² /ano)	183	183
Tempo de Secagem (dias)	15	15	Área requerida (m ²)	26,3	87,7

Fonte: Autoria própria (2014); Andreoli *et al.* (2001)

Diante disso, para uma mesma faixa populacional de 1140-3799 habitantes, tem-se a possibilidade de tratamento do lodo gerado nos tanques sépticos ser realizada em um SAC (plantado) de 29,1 m² com TAS de 81 kgST/m².ano e em um leito de secagem (não plantado) com 26,3-87,7 m² e TAS de 183 kgST/m².ano, a depender das características do lodo.

É importante dizer que tal análise não visa concluir se uma tecnologia é melhor do que outra, mesmo porque há outros fatores locais a serem abordados, mas sim conseguir ilustrar as possibilidades de um SAC para tratamento de lodo, que ainda é pouco utilizado no Brasil.

Giraldiet *al.* (2009), em estudo que realiza a análise de custo de SAC tratando lodo de lodos ativados na Itália, relatam que a estação de tratamento possuía leitos de secagem, mas optavam por transportar o lodo para outras estações maiores, por um custo de 12 €/m³ (~ 36 reais/m³) para o transporte, tratamento e disposição final, pois o custo de operação e manutenção dos leitos de

secagem foi avaliado como maior do que o custo de transporte e tratamento externo. Após os leitos de secagem serem convertidos para SAC, o tratamento passou a ser realizado na própria estação. Os autores comentam ainda que o custo de operação e manutenção para tratar nos SAC uma carga específica de 3,8 m³/m² de lodo por ano foi estimado de 4 €/m².ano (~ 12 reais/m².ano), ocasionando em uma economia de 41,6 €/m².ano (~ 125 reais/m².ano).

Giraldi e Iannelli (2009) relatam que SAC são menos caros do que os tradicionais leitos de secagem, uma vez que eles só precisam ser esvaziados a cada poucos anos. Strande *et al.* (2014) comentam que os SAC podem ser mais caros do que os leitos de secagem, tanto em termos de custos de implantação (por exemplo a compra das plantas), como de custos operacionais (como a realização do corte), mas têm a vantagem de exigir menos retiradas do lodo acumulado, sendo de uma vez a cada alguns anos nos SAC, enquanto nos leitos de secagem ocorrem a cada duas ou três semanas.

Cabe ainda destacar que o SAC em estudo, após o desaguamento do lodo acumulado no leito, alcançou um percentual de 53% de ST, enquanto as faixas de concentração de ST para lodos primários em filtros prensa é de 40 a 46%, nos leitos de secagem de 30 a 40% e em centrífugas é de 29 a 34% (ANDREOLI *et al.*, 2001). Em regiões tropicais, segundo Kengne *et al.* (2009), é possível alcançar um percentual de sólidos secos de pelo menos 30% no tratamento de lodo de tanques sépticos em SAC.

3.4 Aproveitamento das plantas

As plantas cultivadas em SAC podem ser reaproveitadas para outros fins, como paisagísticos, artesanato e alimentação animal, como é o caso do capim tifton-85. Sonko *et al.* (2014) comentam que os SAC tratando lodo de tanques sépticos são uma tecnologia promissora para países de baixa renda, pois o lodo pode ser diretamente aplicado e os produtos finais podem ser vendidos para compensar os custos de operação, como por exemplo, uso do lodo acumulado no solo e das plantas para alimentação animal.

Os discos da parte aérea realizados e mensurados na presente pesquisa apresentaram produtividade de 1,04 e 1,43 kg de matéria seca/m² (ou 10,4 e 14,3 ton. de matéria seca/ha), o que pode se estimar no ano, com a realização de 4 cortes, uma produtividade em torno de 50 ton. de matéria seca/ha.ano. Alvim *et al.* (1999), em estudo de análise da resposta do capim tifton-85 a doses de nitrogênio e intervalos de cortes, detectaram produtividades entre 2,6 a 23,1 ton. matéria seca/ha.ano.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1983), um boi de, aproximadamente, 400 kg se alimenta de 8,5 kg de matéria seca/dia, em média. Com isso, sem entrar em detalhes específicos da alimentação animal (pois se alimentam também de outras fontes) e

da importância da avaliação da presença de poluentes e organismos patogênicos nas plantas, a produção obtida na presente pesquisa poderia fornecer a matéria seca equivalente a 20 dias de alimentação de um boi.

4 Conclusões

A avaliação da aplicabilidade do SAC tratando lodo de tanques sépticos confirmou que a tecnologia, realmente, apresenta como vantagem o baixo custo, já que, considerando a implantação do tanque séptico, a coleta e o transporte do lodo e o custo da implantação, operação e manutenção do SAC, o custo do saneamento é de menos de 32 R\$/hab.ano.

Além disso, mostrou-se de potencial interesse para localidades menores, alcançando uma faixa de 39 a 131 hab/m² e possibilidade de aproveitamento das plantas como alimento para animais, podendo diminuir ainda mais o custo do saneamento.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 12209**: elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.

ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F.; VERNEQUE, R. S.; BOTREL M. A. Resposta do tifton 85 a doses de nitrogênio e intervalos de cortes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.12, p. 2345-52, 1999.

ANDRADE, C. F.; VON SPERLING, M.; VALLEJO, L. F. C.; MANJATE, E. S. Avaliação do efeito da recirculação no tratamento de lodo de fossas sépticas em sistemas alagados construídos de escoamento vertical em escala real e piloto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., 2015, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2015.

ANDRADE, C. F. **Avaliação do tratamento do lodo de caminhões limpa-fossa e do percolado em sistemas alagados construídos de escoamento vertical**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2001. 483 p. (Série Princípios básicos do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

APHA/AWWA/WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed.. Washington: APHA, 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**: 2010. Brasília, DF, 2012. 448 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Terminação de bovinos na entressafra**. Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC, 1983. (Série EMBRAPA-CNPGC. Comunicado Técnico, 22).

GIRALDI, D., MASCIANDARO, G.; PERUZZI, E.; BIANCHI, V.; PERUZZI, P.; CECCANTI, B.; IANNELLI, R. Hydraulic and biochemical analyses on full-scale sludge consolidation reed beds in Tuscany (Italy). **Water Science and Technology**, v. 60, n. 5, p. 1209-16, 2009.

- GIRALDI, D.; IANNELLI, R. Short-term water content analysis for the optimization of sludge dewatering in dedicated constructed wetlands (reed bed systems). **Desalination**, v. 246, n. 1-3, p. 92-99, 2009.
- GKIKA, D.; GIKAS, G. D.; TSIHRINTZIS, V. A. Construction and operation costs of constructed wetlands treating wastewater. **Water Science and Technology**, v. 70, n. 5, p. 803-10, 2014.
- HEINSS, U.; LARMIE, S.A.; STRAUSS, M. **Characteristics of faecal sludges and their solids-liquid separation**. Switzerland: EAWAG-SANDEC, 1999. Disponível em: <http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/HEINSS%20et%20al%201994%20Characteristics%20of%20Faecal%20Sludges%20and%20their%20Solids-Liquid%20Separation.pdf>. Acesso em: 12 nov 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Temas e subtemas. Famílias e domicílios. Saneamento básico. Esgotamento sanitário**. 2008. Disponível em: <<http://www.seriesestatisticas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 nov. 2013.
- JM DESENTUPIDORA. **Dados técnicos** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida em jan. 2015.
- KENGNE, I. M.; DODANE, P. H.; AKOA, A.; KONÉ, D. **Vertical-flow constructed wetlands as sustainable sanitation approach for faecal sludge dewatering in developing countries**. *Desalination*, 248, 2009.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985.
- KLINGEL, F. **Nam Dinh urban development project: septage management study**. Switzerland: EAWAG-SANDEC, 2001. 78 p. Disponível em <http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/EWM/Journals/FSM_Vietnam.pdf>. Acesso em 12 nov. 2013.
- KONÉ, D.; STRAUSS, M. Low-cost options for treating faecal sludges (fs) in developing countries: challenges and performance. In: WETLANDS SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 9., e WASTE STABILISATION PONDS, 6., 2004, Avignon, France, **Proceedings...** United Kingdom: IWA, 2004.
- KOOTTATEP, T. Constructed wetlands for septage treatment: towards effective faecal sludge management. In: CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 8., 2002, Arusha, Tanzania. **Proceedings...** United Kingdom: IWA, 2002. p. 17.
- KOOTTATEP, T.; SURINKUL, N.; POLPRASERT, C.; KAMAL, A. S. M.; KONÉ, D.; MONTANGERO, A.; HEINSS, U.; STRAUSS, M. Treatment of septage in constructed wetlands in tropical climate - lessons learnt after seven years of operation. **Water Science and Technology**, v. 51, n. 9, p. 119-126, 2005.
- NIELSEN, S. Economic assessment of sludge handling and environmental impact of sludge treatment in a reed bed system. **Water Science and Technology**, v. 71, n. 9, p. 1286-92, 2015.
- POMPÊO, M. **Macrófitas aquáticas**. Universidade de São Paulo. Portal de Ecologia Aquática. Disponível em: <<http://ecologia.ib.usp.br/portal/>>. Acesso em: 10 dez. 2013.
- RULKENS, W. H. Sustainable sludge management: what are the challenges for the future? **Water Science and Technology**, v. 49, n. 10, p. 11-19, 2004.
- SONKO, E. M.; MBÉGUÉRÉ, M.; DIOP, C.; NIANG, S.; STRANDE, L. Effect of hydraulic loading frequency on performance of planted drying beds for the treatment of faecal sludge. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 4, n. 4, p. 633-41, 2014.
- STRANDE, L.; RONTELTAP, M.; BRDJANOVIC, D. (Ed.). **Faecal sludge management**. Systems approach for implementation and operation. London: IWA, 2014. p. 427.
- SUNTTI, C. **Desaguamento de lodo de tanque séptico em filtros plantados com macrófitas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- SUNTTI, C.; MAGRI, M. E.; PHILIPPI, L. S. Filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical aplicados na mineralização e desaguamento de lodo de tanque séptico. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 63-72, 2011.

UGGETTI, E.; FERRER, I.; LLORENS, E.; GARCIA, J. Sludge treatment wetlands: a review on the state of the art. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 9, p. 2905-2912, 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 470p. (Série Princípios básicos do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).