

## REMOÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS PATÓGENOS DE RESÍDUOS SÉPTICOS EM LEITOS COM E SEM VEGETAÇÃO

Édio Damásio da Silva Júnior<sup>1</sup>; Rogério de Araújo Almeida<sup>2</sup>; Elisa Rodrigues Siqueira<sup>3</sup>; Ábio Rodvalho da Silva<sup>4</sup>; Andriane de Melo Rodrigues<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Professor MSc., Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde (ediodamasio@gmail.com), Rio Verde – Brasil

<sup>2</sup> Professor Dr., Universidade Federal de Goiás, Goiânia – Brasil

<sup>3</sup> Analista ambiental mestre da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás, Goiânia – Brasil

<sup>4</sup> Discente de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia - Brasil

<sup>5</sup> Discente de Engenharia Ambiental, Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde - Brasil

Recebido em: 31/03/2015 – Aprovado em: 15/05/2015 – Publicado em: 01/06/2015

### RESUMO

Os resíduos sépticos (RS) possuem elevada carga orgânica e teores de organismos patogênicos, o que limita sua utilização agrícola ou disposição em corpos hídricos. Então, devem ser tratados adequadamente antes de sua disposição final, preferencialmente por tecnologias simples e de baixos custos. Este trabalho objetivou comparar a eficiência de leitos de alagados construídos (com e sem vegetação) na higienização dos RS. Foram construídas duas células, escavadas no solo e preenchidas com camadas sobrepostas de brita e areia para aplicação e tratamento dos RS. Uma das células foi cultivada com a espécie vegetal Capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) e a outra permaneceu sem vegetação. Aplicaram-se o RS na superfície dos leitos e avaliaram-se a eficiência na remoção da carga patogênica mediante análise de coliformes totais, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. e ovos viáveis de helmintos. A eficiência de remoção de patógenos de RS na fração líquida tratada foi ligeiramente superior no leito com plantas. Já a redução de patógenos no lodo acumulado na superfície dos leitos foi ligeiramente mais rápida no tanque sem vegetação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Alagados construídos; Esgoto séptico; Higienização.

### REMOVAL OF PATHOGENS MICROORGANISMS IN SEPTIC WASTE IN BEDS WITH AND WITHOUT VEGETATION

### ABSTRACT

Septic wastes (SW) have high organic load and levels of pathogenic organisms, which limit their agricultural use or disposal in water bodies. So they should be adequately treated before the final disposal, preferably by simple and low cost

technologies. This study aimed to compare the efficiency of constructed wetlands beds in the SW sanitation. Two cells were built, dug in the ground and filled with overlapping layers of gravel and sand for application and treatment of SW. One of the cells was cultivated by the plant specie Vetiver Grass (*Chrysopogon zizanioides*) and the other remained without vegetation. SW was applied to the surface of beds and evaluated their efficacy in the removal of pathogenic load by analysis of total coliforms, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. and viable helminth eggs. SW of pathogen removal efficiency in the treated liquid fraction was slightly higher in the bed with plants. Pathogen reduction from the sludge accumulated on the surface of the beds was slightly faster in the tank without vegetation.

**KEYWORDS:** Constructed wetlands; Sanitation; Septic sewage.

## INTRODUÇÃO

A composição de resíduos sépticos (RS) gerados pelas atividades domésticas apresenta alta composição de nutrientes e matéria orgânica (adequado para uso na agricultura). Entretanto, a presença de organismos patogênicos, provenientes em sua maioria de excretas humanas, o torna um resíduo com características nocivas à saúde humana (BETTIOL & CAMARGO, 2006; SREESAI et al., 2013).

Tais resíduos são originados do esgotamento de sistemas individuais de tratamento e disposição de esgoto doméstico, também conhecidos como tanques e fossas sépticas. Estes resíduos acabam dispostos no meio ambiente de forma inadequada oferecendo problemas à saúde pública e causando impactos ambientais (ANDREOLI & POMPEO, 2009).

A fração de patógenos presentes nos RS é causa de preocupação relacionada à saúde pública, por ser responsável pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como diarreia, hepatite, parasitoses intestinais, entre outras, o que torna seu tratamento fator fundamental para melhoria das condições de vida da população humana (JORDAO & PESSOA, 2011).

Existem diversas alternativas para o tratamento do RS. Estes podem ser independentes ou combinados com o tratamento convencional de esgoto sanitário.

O grande desafio que se apresenta é desenvolver um sistema de tratamento baseado em alternativas limpas visando a sustentabilidade, o baixo custo de implantação, a simplicidade operacional e o baixo consumo energético, principalmente para serem implantadas nos locais de geração do resíduo. Neste contexto, destacam-se os sistemas de alagados construídos (SAC's), que são sistemas naturais de tratamento de resíduos com bom desempenho no seu desaguamento e mineralização (SOLANO et al., 2004).

Sistemas alternativos, como os SAC's, têm sido pesquisados para tratamento de RS, com destaque para os trabalhos de LIÉNARD & PAYRASTRE (1996), KOOTTATEP et al. (2004) e SUNTTI et al. (2011). Todavia, ainda apresentam poucas publicações, principalmente em nível nacional. Os SAC's se enquadram nos pressupostos da sustentabilidade, sob o aspecto energético, econômico e da não necessidade da adição de produtos químicos, além de se adequarem especialmente para pequenas comunidades (SUNTTI, 2010).

A utilização dos SAC's para o tratamento de RS resulta um produto final menos agressivo ao meio ambiente. Entretanto, segundo SILVA JÚNIOR (2013),

ainda são necessários estudos mais detalhados para legitimar o seu desempenho através da medição de parâmetros físico-químicos e principalmente da remoção de micro-organismos patógenos.

Visando a remoção de micro-organismos patógenos em resíduos sépticos, este trabalho pesquisou a remoção em leitos com e sem vegetação, avaliando a possibilidade de reutilização ou destinação final destes resíduos para que deixem de gerar riscos e prejuízos ao meio ambiente e à saúde pública.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Local de estudo**

Este estudo foi realizado nas dependências da Estação de Tratamento de Esgoto Drº Hélio Seixo de Brito, na cidade de Goiânia, Goiás, em coordenadas geográficas 16°37'55" Sul e 49°15'44" Oeste.

O clima da região de estudo é do tipo tropical sub-úmido, caracterizado por duas estações bem definidas e diferenciadas. Há um inverno seco com temperaturas mínimas diárias mais baixas (média de 17,7 °C) e elevada amplitude térmica. Já o verão é quente (média de 29,8 °C) e chuvoso. Na primavera são registradas as temperaturas mais elevadas. A temperatura é amena durante todo o ano, com média de 23,2 °C. O ar é relativamente seco na maior parte do ano, chegando a níveis críticos entre os meses de julho e setembro e ao extremo em agosto (valores menores que 20%). O índice pluviométrico é de aproximadamente 1.570 mm anuais, sendo dezembro o mês de maior precipitação (média de 268 mm) e julho o de menor (média de 7 mm) (GOIAS, 2015).

A região de estudo possui altitude média de 750 metros, com relevo plano a pouco ondulado. Esta se localiza num estado onde o cerrado é a vegetação predominante de 70% de seu território, embora boa parte da mesma já tenha sido suprida para desenvolvimento de atividades humanas como a agropecuária. A região apresenta solo do tipo latossolo vermelho e com granulometrias variadas de argilosa a arenosa (GOIAS, 2015).

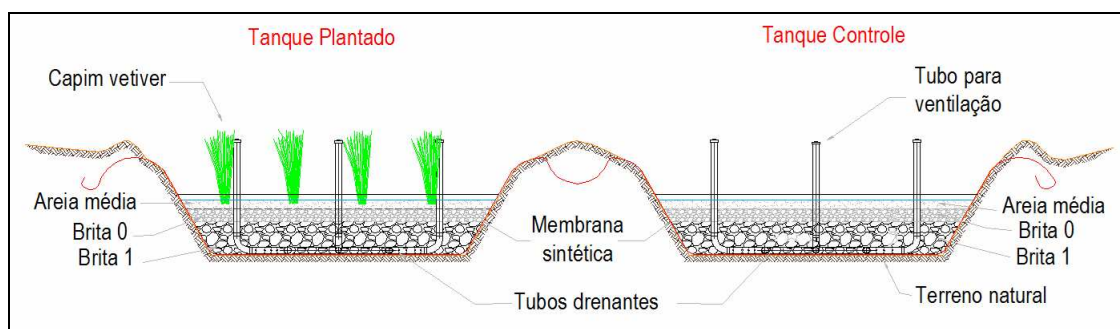
### **Implantação dos leitos de tratamento**

Foi construída uma estação experimental, em escala piloto, do tipo alagado construído de fluxo subsuperficial vertical descendente, composta por duas células (Figura 1) para tratamento de resíduos sépticos (RS). Em uma foi plantada a espécie Capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) e a outra permaneceu sem vegetação, para servir de testemunha.



**FIGURA 1** – Vista geral da estação experimental de tratamento de resíduos sépticos do tipo alagados construídos, com um leito vegetado e outro não.

As células foram escavadas no solo, impermeabilizadas com manta de PVC e preenchidas com camadas sobrepostas de substrato. Do fundo para a superfície, foram utilizados 40 cm de brita #1, 15 cm de brita #zero e 10 cm de areia média (Figura 2), totalizando 65 cm de meio suporte. Acima da superfície dos leitos de tratamento foi deixada uma borda livre de 55 cm, destinada a armazenar o resíduo por ocasião das aplicações.



**FIGURA 2** – Corte transversal representativo da estação experimental implantada.

Cada célula possui formato de tronco de pirâmide invertida com dimensões de 3,0 m x 4,0 m de base inferior, 4,15 m x 5,15 m de base superior e 1,20 m de profundidade total. Foi construída uma barreira com sacos preenchidos com solo ao redor das células, no intuito de evitar que águas pluviais escoadas pelo terreno adentrassem nas mesmas. A célula plantada recebeu 20 mudas da espécie vegetal Capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), espaçadas 60 cm umas das outras. No fundo das células foram instalados sistemas conjugados de drenagem de lixiviado para escoamento da fração líquida tratada.

Na parte externa de cada sistema de drenagem foi instalado um

hidrômetro, para medir o volume efluente, uma torneira, para coletas de amostras do líquido tratado, um tubo vertical, para controle do nível interno de líquidos nas células e um registro para seu esvaziamento. O nível de líquidos foi mantido a cerca de 10 cm abaixo da superfície do substrato.

### **Operação dos leitos de tratamento**

O funcionamento dos sistemas se deu em bateladas, aplicando-se, em média, 3,3 m<sup>3</sup> de RS por célula, semanalmente, mediante o esgotamento de caminhões “limpa fossas”. A taxa média de aplicação de sólidos foi de 34,36 kg ST/m<sup>2</sup>.ano e volumétrica de 0,165 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.semana.

O resíduo era disposto em uma caixa receptora onde era gradeado (malha de 2 cm x 2 cm) e escoava por gravidade, igualitariamente, às células de tratamento. Dentro das células, o resíduo caía em um bloco de concreto, tendo sua energia dissipada, espalhava-se pela superfície e infiltrava lentamente. A parte líquida percolava preenchendo os espaços vazios até o fundo do substrato e subia, até atingir o nível de controle. O volume excedente era drenado pelo tubo de controle de nível e mensurado pelos hidrômetros.

Após seis dias da aplicação, procedia-se ao esvaziamento dos leitos de tratamento, mediante abertura dos registros. No dia seguinte era realizada nova aplicação. O ciclo se repetiu por um período de 98 dias consecutivos (março a junho), totalizando 14 aplicações.

Posteriormente à disposição dos RS no sistema, sua fração líquida percolava pelo substrato e parte da fração sólida (denominada de lodo) ficava retida na superfície do substrato, acumulando-se ao longo das aplicações. Ao final das 14 aplicações, o lodo acumulado na superfície dos leitos ficou em “descanso” por cerca de 2 meses, para melhor tratamento.

### **Avaliação da remoção de patógenos**

Foram realizadas coletas (e análises laboratoriais) de RS *in natura* e pós-tratamento na célula vegetada e na sem vegetação, bem como do lodo acumulado durante e após as aplicações do RS. Do resíduo *in natura*, avaliou-se os parâmetros microbiológicos: ovos viáveis de helmintos; *Salmonella* spp.; *Escherichia coli* e coliformes totais.

Da fração líquida tratada, foram avaliadas apenas os valores de *Escherichia coli* e Coliformes totais, uma vez que são os parâmetros englobados pela resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2005). Da fração sólida retida em ambos os leitos de tratamento, avaliou-se a presença de: ovos viáveis de helmintos; *Salmonella* spp.; *Escherichia coli* e coliformes totais, estabelecidas pela resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2006), objetivando um possível uso agrícola do lodo tratado.

A resolução nº 375/2006 estabelece como um dos parâmetros de referência para enquadramento do lodo a concentração de coliformes termotolerantes. Entretanto, nesta pesquisa analisou-se a concentração de coliformes totais, que são mais abrangentes e incluem o grupo dos termotolerantes. Além disso, foi avaliada a presença e concentração da bactéria *Escherichia coli*, que não é contemplada pela referida resolução. Não foi analisada a presença de vírus entéricos, também exigido para a classificação do lodo. O cálculo de eficiência do

sistema no tratamento do RS considerou a remoção da carga poluidora (volume vezes concentração do atributo), conforme sugerido por ALMEIDA & UCKER (2011) (Equação 1).

$$Ef (\%) = 100 \times [(Ce \times Ve) - (Cs \times Vs)] / (Ce \times Ve) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

*Ef (%)* = eficiência percentual de remoção da carga poluidora de determinado atributo;

*Ce* = concentração afluente do atributo;

*Cs* = concentração efluente do atributo;

*Ve* = volume afluente;

*Vs* = volume efluente.

Os volumes afluentes foram estimados mediante a pesagem dos caminhões limpa-fossa, antes e após o processo de descarga. Com isso, obteve-se o valor da massa esgotada. Coletaram-se amostras do resíduo para avaliação da sua massa específica e posteriormente, cálculo do volume de RS de entrada nos tanques. A precipitação pluviométrica, também considerada no volume de entrada, foi medida por um pluviômetro, instalado ao lado dos tanques de tratamento.

Com base nos dados de precipitação e da área superficial de cada tanque, calcularam-se os volumes de contribuição de água da chuva para cada um destes. Os volumes efluentes aos sistemas foram medidos por hidrômetros instalados na saída de cada tanque. Foram utilizados hidrômetros padrão tipo B (7,0 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>), que mediam tanto o líquido drenado por ocasião do esgotamento dos tanques, quanto o líquido extravasado pela tubulação de controle de nível.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sob o ponto de vista da presença de micro-organismos, o RS *in natura* indicou concentrações variadas dos mesmos, com exceção do gênero *Salmonella* spp. (que não foram identificadas em nenhuma das amostras).

Para ovos viáveis de helmintos, em quase todas as amostras coletadas foi verificada sua presença, com valores máximos de 1,8 ovos/g de sólidos totais (ST) e média de 0,75 ovos/g de ST, conforme Tabela 1. Apenas algumas amostras de RS *in natura* não apresentaram ovos viáveis de helmintos.

**TABELA 1** Caracterização dos resíduos sépticos *in natura* segundo a presença de patógenos.

| Atributo                                         | Máximo                 | Mínimo                 | Média                  | Mediana                |
|--------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Ovos viáveis helmintos (ovos.g <sup>-1</sup> ST) | 1,8                    | 0,00                   | 0,75                   | 0,60                   |
| Coliformes totais (NMP.g <sup>-1</sup> )         | 1,64 x 10 <sup>8</sup> | 3,27 x 10 <sup>6</sup> | 4,64 x 10 <sup>7</sup> | 1,25 x 10 <sup>7</sup> |
| <i>Escherichia coli</i> (NMP.g <sup>-1</sup> )   | 7,50 x 10 <sup>7</sup> | 3,23 x 10 <sup>5</sup> | 1,48 x 10 <sup>7</sup> | 5,20 x 10 <sup>6</sup> |
| <i>Salmonella</i> spp.                           | Ausente                | Ausente                | -                      | -                      |

A presença de ovos de helmintos é fator sanitário importante ao se avaliar a transmissão de doenças aos seres humanos, pois estes parasitas podem contaminar os alimentos ou até mesmo a água para consumo direto. A infecção se dá principalmente por via oral, por meio da ingestão de água e alimentos

contaminados e/ou pela pele em contato direto com solo contaminado (JORDAO & PESSOA, 2011).

A remoção de ovos de helmintos dos RS, antes de seu lançamento no meio ambiente é fundamental, pois segundo SPERLING (2005), os helmintos possuem como característica dose infectiva baixa, ou seja, elevada probabilidade de causar contaminação aos seres humanos mesmo com baixas concentrações de ovos. Já a presença de coliformes totais e *E. coli*, também pode ser considerada bastante elevada, mesmo sendo pouco inferior às características de esgoto doméstico bruto (JORDAO & PESSOA, 2011), mas não deixando de conferir características danosas à saúde humana e ao meio ambiente. Mesmo com a ausência do gênero *Salmonella* spp., a presença de outros tipos de organismos patógenos nos RS já conferem riscos à saúde humana e merecem tratamento adequado antes de sua disposição no meio ambiente.

A legislação ambiental brasileira, em específico a resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2011), não estabelece valores para padrão de lançamento de organismos patógenos em corpos hídricos, dificultando assim a obtenção de referenciais para avaliação do grau de impactos à saúde humana. Entretanto, pensando no uso da água para atividades variadas (irrigação, balneabilidade, consumo e outros), tem-se a resolução nº 357/2005 que limita a quantidade de coliformes termotolerantes de *E. coli* presentes na água do corpo hídrico para seus respectivos usos conforme as classes.

Caso a água do corpo hídrico, cujo efluente tratado no SAC seja nele lançado, venha a servir para abastecimento humano, os critérios estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 (BRASIL, 2011), do Ministério da Saúde, devem ser avaliadas. Esta necessidade se dá mediante o fato de que a presença de coliformes totais e *E. coli* indicam o risco da existência de outros organismos patogênicos que representam risco à saúde dos consumidores.

Após a disposição dos RS nos leitos de tratamento (com e sem vegetação), observou-se relativa redução dos teores de coliformes totais e *E. coli* na fração líquida efluente aos sistemas de tratamento. As Tabelas 2 e 3 apresentam as concentrações do resíduo líquido tratado por ambos os leitos, sem vegetação e com vegetação, respectivamente.

**TABELA 2** Caracterização dos resíduos sépticos líquidos tratados pelo tanque controle.

| Atributo                                       | Máximo                | Mínimo                | Média                 | Mediana               |
|------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Coliformes totais (NMP.g <sup>-1</sup> )       | 8,6 x 10 <sup>5</sup> | 2,9 x 10 <sup>3</sup> | 1,5 x 10 <sup>5</sup> | 5,3 x 10 <sup>4</sup> |
| <i>Escherichia coli</i> (NMP.g <sup>-1</sup> ) | 5,7 x 10 <sup>4</sup> | 630,00                | 1,4 x 10 <sup>4</sup> | 6,3 x 10 <sup>3</sup> |

**TABELA 3** Caracterização dos resíduos sépticos líquidos tratados pelo tanque vegetado.

| Atributo                                       | Máximo                | Mínimo                | Média                 | Mediana                |
|------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Coliformes totais (NMP.g <sup>-1</sup> )       | 4,1 x 10 <sup>5</sup> | 7,9 x 10 <sup>3</sup> | 7,7 x 10 <sup>4</sup> | 4,7 x 10 <sup>4</sup>  |
| <i>Escherichia coli</i> (NMP.g <sup>-1</sup> ) | 6,4 x 10 <sup>4</sup> | 100,00                | 1,5 x 10 <sup>4</sup> | 4,70 x 10 <sup>3</sup> |

A concentração de coliformes totais do efluente líquido tratado foi, em geral, menor para o leito vegetado do que no leito sem vegetação, levando em consideração a média e mediana dos dados obtidos, o que representou melhor eficiência de tratamento na presença das plantas. Já para a concentração de *Escherichia coli*, o resíduo líquido tratado apresentou resultados semelhantes (considerando a média dos valores) para ambos os leitos de tratamento. Analisando



a mediana dos dados obtidos, tem-se que houve ligeira superioridade na eficiência de remoção pela presença das plantas.

De forma geral, tanto para a remoção de coliformes totais e *Escherichia coli*, pode-se avaliar que há maior efetividade na presença de plantas. Dados de pesquisas que comprovam a eficiência na remoção de coliformes e *E.coli* de esgoto sanitário por leitos cultivados com plantas existem em grande quantidade, tanto em nível nacional (CALIJURI et al., 2009; MATOS et al., 2010; BUFÁICAL, 2010; QUEGE, 2011; UCKER, 2012), como em nível internacional (POLPRASERT & KOOTTATEP, 2004; OLLEDA et al., 2008; KADLEC & WALLACE, 2009; GIKAS & TSIHRINTZIS, 2010). Por outro lado, pesquisas que descrevem a remoção destes patógenos de RS são encontradas com maiores dificuldades (principalmente em nível nacional), uma vez que são pouco estudados. Prova disso é que pesquisas como a de SUNTTI (2011), nem relatam a remoção de patógenos em RS pelo SAC.

De forma geral, acredita-se que os mecanismos de remoção de micro-organismos patógenos em ambos os leitos estudados são similares aos apresentados na literatura para tratamento de esgoto doméstico. As bactérias heterótrofas, comumente encontradas em águas naturais e águas residuárias, possuem capacidade de proliferar no substrato (meio suporte), formando um biofilme que promove a autodepuração do resíduo séptico (neste caso). Na degradação biológica dos constituintes orgânicos do RS e na eliminação de patógenos em alagados artificiais, o substrato e as raízes das macrófitas têm papel crucial (NIKOLIĆ et al., 2009).

Já no leito sem vegetação, tanto o processo de filtragem, quanto a formação de certo biofilme no leito, foram responsáveis para promover a remoção de patógenos do resíduo em estudo. Além disso, neste processo, a radiação ultravioleta desempenha um importante papel na redução de patógenos.

DANH et al. (2009), MANGKOEDIHARDJO & TRIASTUTI (2011) e DATTA et al. (2013) são exemplos clássicos de utilização da espécie vegetal estudada neste trabalho para a remediação de ambientes contaminados. Os dois primeiros trabalhos destacam a remoção de metais pesados e compostos orgânicos pelo capim vetiver. Já o segundo, apresenta a eficiência dessa vegetação na remoção de um antibiótico. Neste contexto, a espécie avaliada possui diversas aplicações na remediação de ambientes contaminados, seja por compostos orgânicos, inorgânicos ou organismos patógenos.

Com relação à fração sólida (denominada de lodo) retida na superfície de ambos os leitos de tratamento, também houve processo de tratamento. A caracterização do lodo, realizada na 9ª semana de aplicação, apresentou altos valores de coliformes totais e *Escherichia coli*, baixas quantidades de ovos viáveis de helmintos e ausência de *Salmonella* spp., em ambos os leitos (Tabelas 4 e 5).

**TABELA 4** Caracterização do lodo acumulado no tanque controle segundo a presença de patógenos.

| Atributo                                         | 9ª<br>Semana           | 13ª<br>Semana          | 16ª<br>Semana | 19ª<br>Semana |
|--------------------------------------------------|------------------------|------------------------|---------------|---------------|
| Ovos viáveis helmintos (ovos.g <sup>-1</sup> ST) | 1,76                   | 0,00                   | 0,00          | -             |
| Coliformes totais (NMP.g <sup>-1</sup> )         | 7,28 x 10 <sup>5</sup> | 5,11 x 10 <sup>5</sup> | 1.480,00      | 885,00        |
| <i>Escherichia coli</i> (NMP.g <sup>-1</sup> )   | 8,31 x 10 <sup>4</sup> | 3,16 x 10 <sup>4</sup> | 82,00         | 72,00         |
| <i>Salmonella</i> spp.                           | Ausente                | Ausente                | -             | -             |

**Nota:** As aplicações encerraram-se na 13ª semana.



**TABELA 5** Caracterização do lodo acumulado no tanque plantado segundo a presença de patógenos.

| Atributo                                          | 9 <sup>a</sup><br>Semana | 13 <sup>a</sup><br>Semana | 16 <sup>a</sup><br>Semana | 19 <sup>a</sup><br>Semana |
|---------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Ovos viáveis helmintos (ovos. g <sup>-1</sup> ST) | 4,70                     | 0,00                      | 0,00                      | -                         |
| Coliformes totais (NMP.g <sup>-1</sup> )          | 3,57 x 10 <sup>6</sup>   | 9,94 x 10 <sup>5</sup>    | 2.200,00                  | 980,00                    |
| <i>Escherichia coli</i> (NMP.g <sup>-1</sup> )    | 4,69 x 10 <sup>5</sup>   | 8,30 x 10 <sup>4</sup>    | 122,00                    | 102,00                    |
| <i>Salmonella</i> spp.                            | Ausente                  | Ausente                   | -                         | -                         |

**Nota:** As aplicações encerraram-se na 13<sup>a</sup> semana.

Na 13<sup>a</sup> semana, o lodo de ambas as células se enquadraram como tipo B (CONAMA, 2006) (coliformes termotolerantes < 10<sup>6</sup> NMP g<sup>-1</sup> ST; ovos viáveis de helmintos < 10 ovos g<sup>-1</sup> ST), com destaque ainda para as altas concentrações de coliformes totais e *Escherichia coli*, e para a ausência de ovos viáveis de helmintos e *Salmonella* spp., em ambos os leitos. Novamente as concentrações de micro-organismos no tanque controle foram menores do que no sistema com plantas.

As influências da radiação solar direta e da temperatura apresentam-se como os principais fatores contribuintes para redução de organismos patógenos (LANG & SMITH, 2008). Além disso, as rápidas variações de umidade que ocorreram no tanque controle em relação ao plantado, são fatores que podem explicar tais resultados. Existe também a possibilidade de que as plantas possam liberar exsudados radiculares, juntamente à presença dos micro-organismos, favorecendo a mobilidade e metabolização dos contaminantes e organismos patógenos (WU et al., 2012).

BUFAIÇAL (2010) sugere que o processo de hidratação e desidratação do lodo em tratamento seja um dos responsáveis pela redução da quantidade de organismos patogênicos presentes. Já LANG & SMITH (2007), destacam que a influência da umidade e aeração do ambiente pode ser responsável pela redução de *Escherichia coli* presente.

Cessada as aplicações (na 13<sup>o</sup> semana), os lodos dos dois leitos de tratamento se enquadraram na classe B, inadequados ao uso agrícola, conforme estabelecido pelo CONAMA (2006). Cerca de um mês após a última aplicação (16<sup>a</sup> semana), o lodo de ambos os leitos ainda não se enquadrava na classe A, em virtude da elevada concentração de coliformes totais. Neste período, a concentração de ovos viáveis de helmintos e *Salmonella* spp. já estavam abaixo do limite estabelecido pela resolução.

Após a 19<sup>a</sup> semana, ou cerca de dois meses após a última aplicação, a concentração de coliformes totais dos lodos de ambos os leitos se reduziu a valores menores que 1.000 NMP g<sup>-1</sup> ST, o que promoveu seus enquadramentos segundo o tipo A (CONAMA, 2006). Novamente, as concentrações de patógenos foram menores no tanque sem vegetação do que no plantado. Neste sentido, nos sistemas em estudo, o processo de redução de patógenos para atendimento ao enquadramento do lodo na classe A durou cerca de 2 meses após serem suspensas as aplicações, tempo inferior (mínimo de 3 meses) ao estipulado pela técnica de secagem em leitos de areia ou em bacias, pavimentadas ou não, recomendado pela USEPA (1999).

O leito sem vegetação apresentou maior rapidez no processo de higienização do lodo em virtude principalmente de fatores climáticos (radiação solar,

evaporação, temperatura, etc.) do que o leito com plantas, como descrito por STEFANAKIS & TSIHRINTZIS (2011). Como parte desta pesquisa se desenvolveu no período de estiagem, não se deve descartar a influência climática de outras épocas do ano ou outras regiões, na colmatação e eficiência do SAC, uma vez que com a variação de temperatura, radiação solar e precipitação, fatores como a atividade biológica e taxa de evapotranspiração também são modificados.

O uso agrícola do lodo de esgoto é recomendável, como excelente fertilizante natural, conforme propõem QUINTANA, CARMO & MELO (2011). Entretanto, de forma geral, o uso agrícola do lodo deverá seguir ao determinado pelas normas ambientais vigentes, levando-se em consideração as culturas aptas a serem utilizadas e formas de manejo do solo, bem como as taxas e formas de aplicação. Além disso, a presença de poluentes orgânicos e inorgânicos no lodo não deve ser descartada, fazendo-se necessário sua prévia avaliação antes da aplicação nas áreas agrícolas.

O uso agrícola do lodo está relacionado à classe em que este se enquadrar e à cultura permitida, conforme estabelece o CONAMA (2006). Só é permitido o uso agrícola para lodos que se enquadrem na classe A e, ainda, os fatores relacionados ao manejo e monitoramento deverão ser seguidos.

### **CONCLUSÕES**

A eficiência de remoção de patógenos de resíduos sépticos na fração líquida tratada foi ligeiramente superior no leito com plantas em relação ao leito sem vegetação. Entretanto, de forma geral, ambos os leitos de tratamento apresentaram significativa redução de carga patogênica.

Estudos relacionados à disposição destes resíduos tratados em corpos hídricos devem levar em consideração a legislação ambiental específica.

Com relação ao lodo acumulado na superfície de ambos os leitos de tratamento, o atendimento aos critérios estabelecidos pela legislação ambiental brasileira, para o enquadramento do lodo na classe A, foi alcançado, em ambas as células, dois meses após a última aplicação, reforçando a necessidade de uma fase de “descanso” dos leitos para retirada e utilização agrícola do lodo.

Os dois sistemas de tratamento avaliados (plantado e controle) apresentaram capacidade de tratamento do lodo dos RS, no que se refere à redução de organismos patógenos. Entretanto, a redução de patógenos foi ligeiramente mais rápida no tanque controle (sem vegetação). Por outro lado, a presença de plantas possui como vantagem o aspecto estético e paisagístico a ser considerado em um sistema de tratamento de RS de forma descentralizada.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pela concessão de recursos financeiros e à Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO) pelo apoio e parceria.

### **REFERÊNCIAS**

ALMEIDA, R. A. & UCKER, F. E. Considerando a evapotranspiração no cálculo de eficiência de estações de tratamento de esgoto com plantas. **Revista Engenharia**

**Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, 8(4): 39-45, 2011.

ANDREOLI, C. V.; POMPEO, R. P. Introdução. In: **Lodo de fossa e tanque séptico**: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final. Cleverson Vitório Andreoli (coord.). Rio de Janeiro: ABES, 2009.

BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A. **A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola**. In: Lodo de Esgoto: Impactos ambientais na agricultura. Wagner Bettiol e Otávio Antônio de Camargo (editores). Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

BRASIL – Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

BUFÁIÇAL, D. S. S. **Eficiência do leito de macrófitas na remoção de ovos de helmintos e coliformes termotolerantes e no desaguamento de lodo de esgoto sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

CALIJURI, M. L.; BASTOS, R. K. X.; MAGALHÃES; T. B.; CAPELETE, B. C. & DIAS, E. H. O. Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. **Engenharia Sanitária e ambiental**,14(3): 421-430, 2009.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

DANH, L. T.; TRUONG, P.; MAMMUCARI, R.; TRAN, T; & FOSTER, N. Vetiver grass, *Chrysopogon zizanioides*: a choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. **International Journal of Phytoremediation**, 11(1): 664-691, 2009.

DATTA, R.; DAS, P.; SMITH, S.; PUNAMIYA; P.; RAMANATHAN, D. & REDDY R. Phytoremediation potential of vetiver grass [*chrysopogon zizanioides* (L.)] for tetracycline. **International Journal of Phytoremediation**, 15 (4): 343-351, 2013.

GIKAS, G. D. & TSIHRINTZIS, V. A. On-site treatment of domestic wastewater using a small-scale horizontal subsurface flow constructed wetland. **Water Science & Technology**, 62(3): 603–614 , 2010.

GOIAS – Governo de Goiás. Conheça Goiás. **Aspectos físicos**. Disponível em: <[www.goias.gov.br/paginas/conheca-goias/aspectos-fisicos](http://www.goias.gov.br/paginas/conheca-goias/aspectos-fisicos)>. Acesso em: 15 maio 2015.

JORDÃO, E. P. & PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Editoria ABES, 6ª edição, Rio de Janeiro, RJ, 2011 .

KADLEC, R. H. & WALLACE, S. D. **Treatment wetlands**. Taylor & Francis Group, 2ª ed, 2009.

KOOTTATEP, T.; SURINKUL, N.; POLPRASERT, C.; KAMAL, A. S. M.; KONÉ, A.; MONTANGERO, D.; HEINSS, U. & STRAUSS, M. Treatment of septage in constructed wetlands in tropical climate –Lessons learnt after seven years of operation. In: 9th International IWA Specialist Group Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, Avignon, France, 2004.

LANG, N. L. & SMITH, S. R. Influence of soil type, moisture content and biosolids application on the fate of *Escherichia coli* in agricultural soil under controlled laboratory conditions. **Journal of Applied Microbiology**, 103(6): 2122-2131, 2007.

LANG, N. L. & SMITH, S. R. Time and temperature inactivation kinetics of enteric bacteria relevant to sewage sludge treatment processes for agricultural use. **Water Research**, 42(8): 2229-2241, 2008.

LIÉNARD, A. & PAYRASTRE, F. **Treatment of sludge from septic tanks in a reed-bed filters pilot plants**. In: 5ª International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Vienna, Austria, 1996.

MANGKOEDIHARDJO, S. & TRIASTUTI, Y. Vetiver in phytoremediation of mercury polluted soil with the addition of compost. **Journal of Applied Sciences Research**, 7 (4): 465-469, 2011.

MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; BORGES, A. C. & MATOS, M. P. Influência da taxa de carga orgânica no desempenho de sistemas alagados construídos cultivados com forrageiras. **Artigo técnico: Engenharia Sanitária e Ambiental**, 15 (1): 83-92, 2010.

NIKOLIĆ, V; MILIĆEVIĆ, D. & MILENKOVIĆ, S. Wetlands, constructed wetlands and their's role in wastewater treatment with principles and examples of using it in Serbia. **Architecture and Civil Engineering**, 7 (1), 2009.

OLLEDA, P.; BLANCO, I.; ANSOLA, G. & LUIS, E. Removal of wastewater pathogen indicators in a constructed wetland in Leon, Spain. **Ecological Engineering**. 33 (3): 252-257. 2008.

POLPRASERT, C. & KOOTTATEP, T. Integrated pond and constructed wetland systems for sustainable wastewater management. **In:** 9th International IWA Specialist Group Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, 2004.

QUEGE, K. E. **Tratamento de esgoto sanitário pelo sistema zona de raízes utilizando plantas de bambu.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

QUINTANA, N. R. G.; CARMO, M. S. & MELO, W. J. **Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica.** Nucleus, 8(1): 1-10, 2011.

SILVA JÚNIOR, E. D. **Tratamento do lodo de resíduos de fossas e tanques sépticos em um sistema de alagado construído.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

SOLANO, M. L.; SORIANO, P. & CIRIA, M. P. Constructed wetlands as a sustainable solution for wastewater treatment in small villages. **Biosystems Engineering**, 87(1): 109-118, 2004.

SPERLING, M. V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3ª edição, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

SREESAI, S.; PEAPUENG, P.; TIPPAYAMONGKONKUN, T. & STHIANNOPKAO, S. Assessment of a potential agricultural application of Bangkok-digested sewage sludge and finished compost products. **Waste Management & Research**, 31(9): 925-936, 2013.

STEFANAKIS, A. I. & TSIHRINTZIS, V. A. Dewatering mechanisms in pilot-scale Sludge Drying Reed Beds: Effect of design and operational parameters. **Chemical Engineering Journal**, 172 (1): 430– 443, 2011.

SUNTTI, C. **Desaguamento de lodo de tanque séptico em filtros plantados com macrófitas.** Dissertação (Mestrado 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**, 16(1): 63-72, 2011.

UCKER, F. E. **Eficiência do capim Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L. Nash) no tratamento de esgoto sanitário.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia

Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

USEPA - **United States Environmental Protection Agency. Decentralized systems technology fact sheet: septage treatment/disposal.** Washington, DC, 1999.

WU, F. Y.; CHUNG, A. K. C.; TAM, N. F. Y. & WONG, M. H. Root exudates of wetland plants influenced by nutrient status and types of plant cultivation. **International Journal of Phytoremediation**, 14 (6): 543-553, 2012.