

TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÉPTICOS EM WETLANDS CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL

SEPTIC WASTE TREATMENT IN VERTICAL FLOW CONSTRUCTED WETLANDS

Édio Damásio da Silva Júnior*

Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde – GO, Brasil
Departamento de Engenharia Ambiental
edio.damasio@ifgoiano.edu.br

Rogério de Araújo Almeida

Universidade Federal de Goiás, Goiânia – GO, Brasil
Escola de Engenharia Civil
rogerioufg@gmail.com

Elisa Rodrigues Siqueira

Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás, Goiânia – Brasil
siqueira.rodrigues@gmail.com

Ábio Rodvalho da Silva

Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia – Brasil
abiors@hotmail.com

Andriane de Melo Rodrigues

Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde – GO, Brasil
andriane.melo@gmail.com

Resumo

A utilização de wetlands construídos (WC) no tratamento de resíduos sépticos (RS) ainda é bastante limitada no Brasil, principalmente em função de poucas pesquisas sobre o tema. O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de uma WC de fluxo vertical descendente no tratamento de RS, dando ênfase especificamente na eficiência de tratamento do líquido percolado e do biossólido acumulado nas células de tratamentos para atendimento à legislação ambiental brasileira. Foram construídas duas células (uma vegetada com capim vetiver e a outra sem vegetação) experimentais para recepção e tratamento dos RS. Tanto o RS bruto como a fração líquida lixiviada tratada, além do lodo acumulado nos leitos foram avaliados por meio de parâmetros físico-químicos e microbiológicos ao longo do tempo. Observou-se que a WC apresentou maior eficiência e adequado atendimento à legislação ambiental em relação ao tanque controle, com exceção do teor de nitrogênio amoniacal, para o lixiviado tratado. O sistema sem plantas sempre apresentou elevada variação de eficiência e pouco atendimento à legislação. Com relação ao lodo acumulado, ambos os leitos de tratamento apresentaram eficiência de tratamento para posterior uso agrícola, mas para isso, houve a necessidade de pelo menos um mês como período de “descanso”, sem aplicações.

Palavras-chave: Lodo séptico. Alagados construídos. Legislação ambiental.

Abstract

The use of constructed wetlands (CW) in the treatment of septic waste (SW) is still very limited in Brazil, mainly due to limited research on the topic. The objective of this study was to evaluate the use of a vertical downward flow toilets in the treatment of SW, emphasizing specifically on the treatment efficiency of the percolated liquid and sludge accumulated in the cells of treatments for compliance with Brazilian environmental legislation. Two cells were built (one vegetated with vetiver grass and other vegetation without) experimental for reception and treatment of SW. Any gross SW as the liquid fraction leachate treated, besides the accumulated sludge in beds were evaluated by physical-chemical and microbiological parameters over time. It was observed that the toilet was more efficient and adequate compliance with environmental legislation in the control tank, with the exception of ammonia nitrogen content in the treated leachate. The system without plants always showed high variation of efficiency and little compliance with legislation. Regarding the accumulated sludge, both treatment beds had treatment efficiency for future agricultural use, but for that there was a need for at least one month as a period of "rest" without applications.

Keywords: Septic sludge . Wetlands constructed. Environmental legislation.

1 Introdução

Wetlands construídos (WC) são sistemas projetados para melhorar a qualidade do meio ambiente, principalmente através da redução da carga de poluição lançada nos corpos hídricos. São ambientes formados por um conjunto de naturais processos de purificação da água, resultados da interação do poluente com a vegetação, solo e comunidade microbológica existente na área alagada (NIKOLIĆ; MILIĆEVIĆ; MILENKOVIĆ, 2009).

Estes sistemas podem ser instalados no local onde o esgoto é gerado, podem ser operados por pessoas com baixa escolaridade, exigem pouca energia, são mais flexíveis e menos suscetíveis às variações de aplicação de cargas orgânicas (BRIX, 1994; SOLANO; SORIANO; CIRIA, 2004).

A utilização destes ambientes no tratamento de águas residuárias ocorre desde a década de 1950 em nível mundial. Desde então, seu uso tem sido investigado em vários países para o tratamento de diferentes resíduos, com eficiência satisfatória, baixo custo de implantação e operação (KADLEC; WALLACE, 2008).

O tratamento de resíduos sépticos (RS) em WC foi pesquisado de forma pioneira por Liénard; Payrastre (1996), em Lyon, na França, em lagoas cultivadas com Reed (*Phragmites australis*), e serviu de inspiração posterior para novas pesquisas como Koottatep et al. (2004), que avaliaram durante 7 anos, um WC de fluxo vertical, vegetado com taboa (*Typha angustifolia*).

Embora pesquisas internacionais apresentem WC como sendo adequados para o tratamento de vários tipos de resíduos, estudos sobre sua utilização no tratamento de RS ainda são muito recentes e quase inexistentes no Brasil, destacando-se apenas trabalhos como o de Suntti, Magri e Philippi (2011).

Mediante a falta de informações sobre o comportamento e eficiência de WC's no tratamento de RS em nível nacional, este estudo teve como objetivo avaliar o uso de uma WC de fluxo vertical

descendente no tratamento destes resíduos, dando ênfase especificamente na eficiência de tratamento do líquido percolado e do biossólido acumulado nas células de tratamentos.

2 Material e métodos

2.1 Configuração experimental

Para avaliar a eficiência da WC no tratamento de RS foi implantada uma estação de tratamento experimental, com duas células (Figura 1). Uma foi vegetada com Capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) e a outra permaneceu sem vegetação, para servir como testemunha.

A célula vegetada foi denominada de WC e a outra, de célula ou tanque controle.

Figura 1 - Estação experimental para tratamento de RS em alagados construídos

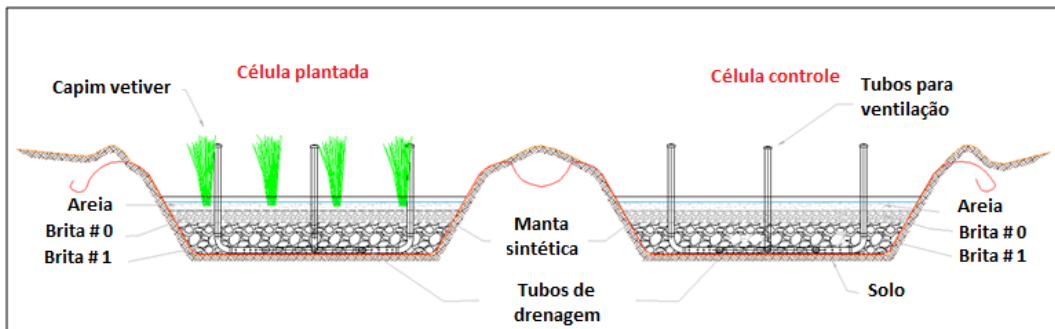


Fonte: Autoria própria (2013)

2.2 Configuração, dimensionamento e substrato

As células foram escavadas no solo, impermeabilizadas com manta de PVC e preenchidas com camadas sobrepostas de substrato. A partir do fundo para a superfície foram dispostos 40 cm de brita # 1, 15 cm de brita # 0 e 10 cm de areia média (Figura 2). Acima da superfície de cada leito de tratamento foi deixada uma borda livre de 55 cm para armazenar os resíduos durante as aplicações. Cada célula possui forma 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 na base superior e 1,20 m de profundidade total.

Figura 2 - Seção transversal representativa do sistema de tratamento implantado

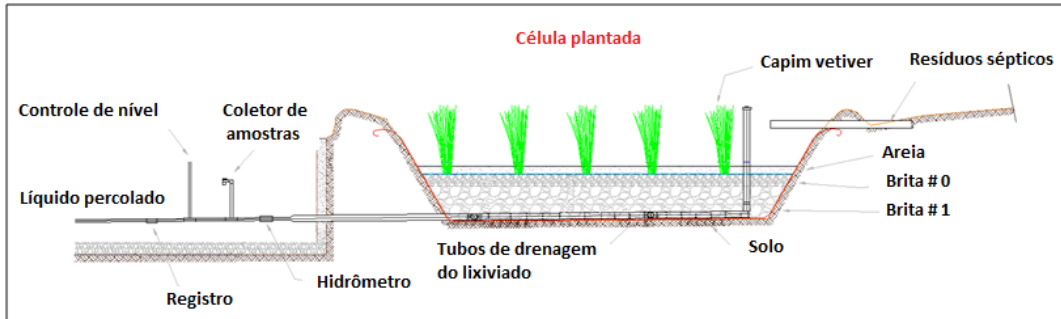


Fonte: Autoria própria (2013)

Nas bases inferiores das células de tratamento foram implantados sistemas de coleta e drenagem de lixiviado, por meio de tubulações de PVC com 75 mm de diâmetro, perfuradas em três filas longitudinais de furos de 10 mm.

Foi acoplado, ao lado de fora de cada sistema de drenagem de lixiviado, um hidrômetro para medir o volume de efluentes, uma torneira para amostragem do líquido tratado, um tubo vertical para controlar o nível do líquido interno das células e um registro para esgotamento das mesmas (Figura 3). O nível de líquido foi mantido a cerca de 10 cm abaixo da superfície do substrato, a fim de manter o escoamento subsuperficial, evitando o contato direto do líquido com a atmosfera.

Figura 3 - Seção longitudinal representativa das unidades hidráulicas da estação experimental em estudo



Fonte: Autoria própria (2013)

Uma das células foi vegetada com vinte mudas de Capim Vetiver, espaçadas 60 cm de distância entre elas.

2.3 Aplicação dos resíduos sépticos

A forma de alimentação das células de tratamento ocorreu em bateladas, através da aplicação em média de 3,3 m³ de RS em cada tanque, por semana. A taxa média de aplicação de sólidos foi de 34,36 kg de ST/m² ano. Já a taxa volumétrica média foi de 0,165 m³/m² semana.

Os RS foram aplicados através do esgotamento do líquido dos caminhões, que, antes de adentrar às células de tratamento, passavam por uma grade para retenção de sólidos grosseiros. Ao

ser esgotado às células, o resíduo caía sobre um bloco de concreto, sua energia cinética era dissipada, espalhando o RS pela superfície e propiciando lenta infiltração.

Com as aplicações, o material sólido contido no RS foi sendo acumulado na superfície de cada leito. A parte líquida do RS percolava pelos vazios do substrato até alcançar o nível de controle. O excedente era drenado pelo tubo de controle de nível e mensurado pelos hidrômetros.

Depois de seis dias de aplicação, procedeu-se o esvaziamento de ambos os leitos de tratamento através da abertura dos registros. Assim, o tempo de retenção hidráulica (TRH) foi de 6 dias. Com a abertura dos registros, os líquidos percolados eram completamente drenado e seus volumes medidos por hidrômetros. Nova aplicação de RS era realizada no dia seguinte. Este ciclo repetiu-se por um período de 98 dias consecutivos, num total de 14 aplicações.

2.4 Cálculo da eficiência do sistema de tratamento

O cálculo da eficiência de tratamento dos RS em WC considerou a remoção da carga poluente (concentração x volume), tal como sugerido por Almeida e Ucker (2011) (Equação 1).

$$Ef (\%) = 100 * \frac{[(Ce*Ve)-(Cs*Vs)]}{Ce*Ve} \quad (1)$$

Onde:

Ef = eficiência percentual na remoção de carga poluente de um atributo específico (%)

Ce = concentração de entrada (mg/L)

Cs = concentração de saída (mg/L)

Ve = volume de entrada (L)

Vs = volume de saída (L)

Os volumes de saída foram medidos por hidrômetros. Já os volumes de entrada foram estimados pela pesagem dos caminhões antes e após o processo de descarga. Assim, obteve-se o valor da massa esgotada. Amostras de RS foram recolhidas para avaliação de sua massa específica para posterior cálculo do volume de entrada de RS nos tanques.

Aos volumes de entrada foram adicionados volumes de chuvas, que foram estipulados através de um pluviômetro instalado no local. A diferença entre o volume aplicado (RS e precipitação) e o volume drenado (Vs) foi atribuída à evapotranspiração do sistema.

2.5 Amostragem dos resíduos

Para a avaliação das concentrações de parâmetros de poluição, amostras foram coletadas a partir do RS bruto e após passagem pelos leitos de tratamento. O resíduo bruto foi amostrado durante a alimentação dos leitos, de forma composta, recolhendo-o de forma composta diretamente

no tudo de entrada dos tanques. Ao todo, 13 semanas de amostragens e análises laboratoriais foram realizadas. Já as amostras de resíduos tratados foram coletadas nas torneiras destinadas para tal finalidade, no 6º dia após a aplicação, imediatamente antes da drenagem completa dos leitos.

2.6 Parâmetros analisados

Foram analisados nos resíduos brutos: pH, umidade, óleos e graxas, sólidos totais, fixos, voláteis e sedimentáveis, nitrogênio total, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, fósforo total, DBO, coliformes totais, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* e ovos viáveis de helmintos. Estes parâmetros foram escolhidos para geral caracterização do teor de material orgânico, nutrientes e microrganismos patógenos, visando posteriores usos na agricultura (fração sólida) e disposição em corpo hídrico (fração líquida tratada).

Para análise dos parâmetros dos efluentes tratados foram avaliadas: pH, óleos e graxas, sólidos totais, fixos, voláteis e sedimentáveis, nitrogênio amoniacal, fósforo total, DBO, coliformes totais e *Escherichia coli*. Estes parâmetros foram estudados em função da possibilidade de disposição do efluente líquido tratado em corpos hídricos, conforme Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 430 (BRASIL, 2011), embora a mesma não exija o controle de todos estes parâmetros.

Além disso, o lodo acumulado em ambas as superfícies do sistema foi recolhido para análise posterior. Para isso, analisou-se periodicamente: sólidos totais, voláteis e fixos, coliformes totais, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* e ovos viáveis de helmintos. Estes parâmetros foram avaliados em função da possibilidade de uso agrícola do lodo tratado, conforme Resolução CONAMA nº 375 (BRASIL, 2006), embora a mesma não exija o controle de todos estes parâmetros.

3 Resultados e discussão

A caracterização do RS bruto (Tabela 1) apresentou valores típicos aos reportados na literatura, destacando-se a alta variabilidade e falta de normalidade de dados, exceto para o pH e umidade.

Tabela 1 - Análise estatística da caracterização do RS bruto

(continua)				
Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
pH	8,40	7,38	7,76	7,50
Umidade (%)	99,99	94,85	99,05	99,75
Óleos e graxas totais (mg/L)	398,40	23,40	115,05	73,50
Fósforo total (mg/L)	20,70	0,20	6,76	0,90
Nitrogênio total (mg/L)	727,11	49,72	304,22	220,03

(conclusão)

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
Nitrogênio orgânico (mg/L)	649,60	3,30	220,00	113,55
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	274,40	37,80	108,08	99,40
Nitrito (mg/L)	1,20	0,01	0,21	0,10
Nitrato (mg/L)	48,00	3,31	19,72	15,50
Sólidos totais (mg/L)	26320,00	488,00	5635,73	2471,00
Sólidos fixos (mg/L)	12171,00	136,00	2481,00	924,00
Sólidos voláteis (mg/L)	21782,00	352,00	4662,73	1646,00
Sólidos sedimentáveis (ml/L)	470,00	0,40	89,78	45,50
DBO ₅ (mg/L)	960,00	110,00	369,58	300,00
Coliformes totais (NMP/100 mL)	1,64E+08	3,27E+06	4,64E+07	1,25E+07
<i>Escherichia coli</i> (MNP/100 mL)	7,50E+07	3,23E+05	1,48E+07	5,20E+06
<i>Salmonella spp.</i>	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
Ovos viáveis de helmintos (ovos/g ST)	1,8	0,00	0,75	0,60

Fonte: autoria própria (2013)

Devido ao alto teor de matéria orgânica, nutrientes e agentes patogênicos, destaca-se a necessidade de tratamento adequado de RS antes da sua disposição no ambiente.

Após aplicação destes resíduos e TRH de 6 dias, a fração líquida lixiviada em cada tanque apresentou eficácia variada. As Tabelas 2 e 3 mostram os valores das análises do efluente dos tanques sem vegetação e plantado (WC), respectivamente.

Tabela 2 - Resultado das análises do resíduo tratado e esgotado da célula sem vegetação

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
pH	7,48	7,08	7,31	7,31
Óleos e graxas totais (mg/L)	45,60	2,60	17,78	14,40
Fósforo total (mg/L)	3,49	0,01	1,17	0,08
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	226,80	21,28	73,78	58,80
Sólidos totais (mg/L)	6.229,00	483,50	1.472,35	938,00
Sólidos sedimentáveis (ml/L)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
DBO ₅ (mg/L)	850,00	20,00	356,36	200,00
Coliformes totais (NMP/100 mL)	860.000,0	2.920,00	150.908,33	53.380,00
<i>Escherichia coli</i> (MNP/100 mL)	57.300,0	630,00	14.135,83	6.350,00

Fonte: Autoria própria (2013)

Tabela 3 - Resultado das análises do resíduo tratado e esgotado da célula plantada

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
pH	7,37	6,80	7,10	7,03
Óleos e graxas totais (mg/L)	52,6	1,50	18,40	20,40
Fósforo total (mg/L)	2,60	0,02	0,87	0,14
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	229,6	38,08	99,55	98,00
Sólidos totais (mg/L)	5.788,0	415,00	1.556,75	893,00
Sólidos sedimentáveis (ml/L)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
DBO ₅ (mg/L)	79,10	10,00	43,56	40,00
Coliformes totais (NMP/100 mL)	410.600,0	7.960,00	77.355,00	47.000,00
<i>Escherichia coli</i> (MNP/100 mL)	64.400,0	100,00	14.932,50	4.700,00

Fonte: Aatoria própria (2013)

Tendo em conta os padrões de lançamento de esgoto em corpos hídricos criado pela Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), a WC forneceu tratamento adequado para os parâmetros pH, óleos e graxas totais, sólidos sedimentáveis e DBO. No entanto, o sistema provou não ser suficiente na remoção de nitrogênio.

O pH do efluente, sempre variou de 6,80 a 7,37, dentro da gama de 5 a 9, estabelecida pela citada resolução. O total de óleos e graxas variou entre 52,6 mg/L e 1,50 mg/L, sendo abaixo do limite de 100 mg/L estabelecido pela legislação. O teor de sólidos de sedimentação apresentou resultados mais baixos do que 0,1 ml/L. Os valores de DBO variaram de 79,1 mg/L a 110 mg/L, com um valor médio de 43,56 mg/L, tudo abaixo de 120 mg/L exigido pela resolução.

Já a concentração de nitrogênio amoniacal do efluente da WC variou de 229,6 mg/L a 38,08 mg/L, com um valor médio de 99,55 mg/L e longe de 20 mg/L estabelecido pela legislação ambiental.

Houve também tratamento significativo de fósforo total, sólidos totais, coliformes totais e *Escherichia coli* pela WC, apesar desta resolução não estabelecer padrões de descarga em cursos hídricos para estes parâmetros. No entanto, estes valores podem ser usados em cálculos envolvendo o enquadramento dos recursos hídricos de acordo com a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005).

Sobre o sistema de controle (sem plantas), a eficiência deste atendeu à legislação ambiental apenas para sólidos sedimentáveis, pH e óleos e graxas. Mostrou-se insatisfatório na remoção de carga orgânica e nitrogênio amoniacal.

Na maioria dos parâmetros estudados, tanto pela média como mediana, a WC apresentou valores mais altos de eficiência do que o tanque controle. As Tabelas 4 e 5 mostram a eficiência de cada sistema. A WC removeu em média 91,17% de DBO, mantendo-se sempre com eficiência de remoção superior a 80%. Já o tanque controle apresentou grandes flutuações entre 37,94% e

98,51%, tendo semanas (cerca de 40% do período de estudo) com valor negativo, isto é, quando a concentração de saída era maior do que a entrada.

Tabela 4 - Eficiência do tratamento do RS na célula controle

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
Óleos e graxas totais (%)	96,25	71,42	84,21	85,13
Fósforo total (%)	99,96	16,17	81,91	89,98
Nitrogênio amoniacal (%)	75,32	17,96	44,10	40,85
Sólidos totais (%)	97,12	8,75	60,10	59,22
Sólidos sedimentáveis (%)	99,98	73,87	97,19	99,81
DBO ₅ (%)	98,51	37,94	69,42	70,29
Coliformes totais (%)	99,97	74,59	96,45	99,86
<i>Escherichia coli</i> (%)	99,98	95,73	99,16	99,93

Fonte: A autoria própria (2013)

Tabela 5 - Eficiência do tratamento do RS na célula vegetada

Parâmetro	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
Óleos e graxas totais (%)	98,32	85,01	93,61	95,29
Fósforo total (%)	99,50	83,11	91,76	90,69
Nitrogênio amoniacal (%)	83,31	1,92	46,13	51,42
Sólidos totais (%)	98,02	5,34	65,30	67,86
Sólidos sedimentáveis (%)	99,99	88,53	98,68	99,88
DBO ₅ (%)	99,40	82,29	91,17	89,54
Coliformes totais (%)	99,992	92,81	99,09	99,84
<i>Escherichia coli</i> (%)	99,991	96,16	99,43	99,93

Fonte: A autoria própria (2013)

Tendo em consideração as exigências da Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), a WC atendeu a eficiência mínima de 60% e concentração efluente de 120 mg/L para DBO.

Ao longo das aplicações, a camada superficial de lodo aumentou em ambos os tanques, dependendo da concentração de sólidos e da retenção de umidade no sistema. A camada de lodo na WC sempre foi superior devido à sua maior capacidade de retenção de água. A retenção de umidade pelo sistema de controle foi inferior, devido à radiação solar direta e à elevada taxa de infiltração e evaporação do lodo.

A aplicação de RS tornou-se mais difícil na WC com o aumento da camada de lodo (Figura 4), dificultando a infiltração e tratamento dos mesmos, uma vez que alterações no comportamento hidráulico do sistema reduzem o TRH.

Figura 4 - Imagem representativa de ambos os leitos de tratamento com destaque para o lodo acumulado após diversas aplicações de RS



Fonte: Autoria própria (2013)

Tanto durante como após as aplicações, o lodo ficou sob interações com o ambiente, favorecendo o seu tratamento. As Tabelas 6 e 7 apresentam a caracterização do lodo do tanque controle e na WC, respectivamente. Destaca-se que as aplicações do RS encerraram-se após a 14ª semana.

Tabela 6 - Evolução do tratamento do lodo acumulado no tanque controle

Parâmetro	10ª semana	14ª semana	17ª semana	19ª semana
Sólidos totais (% ST/amostra)	32,75	37,63	96,25	95,37
Sólidos fixos (% SF/ST)	35,68	37,67	48,32	52,89
Sólidos voláteis (% SV/ST)	64,32	62,33	51,68	47,11
Ovos viáveis de helmintos (ovo/g de ST)	1,76	0,0	0,0	-
Coliformes totais (NMP/g)	7,28 x 10 ⁵	5,11 x 10 ⁵	1.480,0	885,00
<i>Escherichia coli</i> (MPN/g)	8,31 x 10 ⁴	3,16 x 10 ⁴	82,0	72,00
<i>Salmonella spp.</i>	Ausência	Ausência	Ausência	-
Umidade (%)	64,70	62,37	3,75	4,63

Fonte: Autoria própria (2013)

Tabela 7 - Evolução do tratamento do lodo acumulado no tanque com vegetação

Parâmetro	10ª semana	14ª semana	17ª semana	19ª semana
Sólidos totais (% ST/amostra)	24,62	11,95	91,35	92,21
Sólidos fixos (% SF/ST)	32,48	34,25	57,36	67,15
Sólidos voláteis (% SV/ST)	67,52	65,75	42,64	32,85
Ovos viáveis de helmintos (ovo/g de ST)	4,70	0,0	0,0	-
Coliformes totais (NMP/g)	3,57 x 10 ⁶	9,94 x 10 ⁵	2.200,0	980,00
<i>Escherichia coli</i> (MPN/g)	4,69 x 10 ⁵	8,30 x 10 ⁴	122,0	102,00
<i>Salmonella spp.</i>	Ausência	Ausência	Ausência	-
Umidade (%)	80,32	88,05	8,65	7,79

Fonte: Autoria própria (2013)

Estes resultados mostram que, mesmo durante as aplicações, os lodos de ambos os sistemas foram tratados. No final da semana 14, a última aplicação, destaca-se o lodo da WC com alta umidade, elevados valores de coliformes totais e *Escherichia coli*, além da ausência de ovos viáveis e *Salmonella spp.* em ambos os sistemas. Também ao longo do tempo, a redução da concentração de sólidos totais e sólidos voláteis fixos aumentou, sugerindo a estabilização do lodo.

Após a análise do RS bruto, destacou-se o alto teor nutricional de nitrogênio (total, orgânico, amônia, nitrito e nitrato) e fósforo total. Neste sentido, a utilização agrícola de lodo pode ser uma alternativa para destinação ambientalmente segura, conforme a Resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006). Para isso, é necessária a redução dos níveis de organismos patogênicos que atendem à mencionada resolução.

Todos estes valores referidos nesta legislação foram enquadrados em ambos as células de tratamento, cerca de um mês após o cessamento aplicações. Isto sugere que deve haver um período de "descanso" para um melhor tratamento do lodo antes de ser retirado para aplicação agrícola.

4 Conclusão

Com base nas condições de projeto apresentadas (TRH de 6 dias, taxa de aplicação média de sólidos de 34,36 kg ST/m² ano, taxa de aplicação volumétrica média de 0,165 m³/m².semana, aplicação vertical descendente e em bateladas), conclui-se que a eficiência da WC foi significativamente mais elevada do que o sistema de controle, especialmente na remoção de DBO (sempre acima de 80%).

Em relação à legislação ambiental nacional, a WC sempre se comportou em conformidade para descarga do efluente tratado em curso de água, exceto para a presença de nitrogênio amoniacal. Já o tanque controle apresentou diversas limitações e não conformidade para diversos parâmetros.

Referindo-se ao lodo acumulado na superfície de ambos os leitos, recomenda-se um período de "repouso" (sem aplicação) por cerca de 1 mês, para sua posterior utilização na agricultura, segundo os parâmetros estudados.

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, v. 8, n. 4, p. 39-45, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA 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.

_____. **Resolução CONAMA 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.

_____. **Resolução CONAMA 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.

BRIX, H. Functions of macrophytes in constructed wetlands. **Water Science Technology**, v. 29, n. 4, 1994.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. **Treatment wetlands**. 2th. ed. Boca Raton, United States of America: CRC Press, 2008. 1046 p.

KOOTTATEP, T. et al. Treatment of septage in constructed wetlands in tropical climate –Lessons learnt after seven years of operation. In: CONFERENCE ON WETLANDS SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 9., 2004, Avignon, França. **Proceedings...**Londres: IWA, 2004.

LIÉNARD, A.; PAYRASTRE, F. Treatment of sludge from septic tanks in a reed-bed filters pilot plants. In: CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 5., 1996, Vienna, Austria. **Proceedings...**London: IWA 1996.

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**, v. 7, n. 1, 2009.

SOLANO, M. L.; SORIANO, P.; CIRIA, M. P. Constructed wetlands as a sustainable solution for wastewater treatment in small villages. **Biosystems Engineering**, London, v. 87, n. 1, p.109-118, 2004.

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, 2011.