

**II-549 – AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DBO, DQO E E. COLI EM UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO POR ZONA DE RAÍZES****Douglas Pereira da Silva Pitaluga<sup>(1)</sup>**

Graduação em Construção Civil/Edifícios pelo Instituto Federal de Goiás – IFG. Mestre em Engenharia do Meio Ambiente pelo PPGEMA da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás - UFG (Turma 2009-2011). Professor permanente do Instituto Federal de Goiás - IFG.

**José Vicente Granato de Araújo**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Master of Science em Engenharia Civil pela Oklahoma State University (USA). Doctor of Philosophy em Engenharia Civil - Water Resources and Environmental Engineering pela Oklahoma State University (USA). Gerente de Hidrogeologia da Saneamento de Goiás S/A - SANEAGO e professor Associado da Universidade Federal de Goiás (UFG).

**Saulo Bruno Silveira e Souza**

Engenheiro Civil pela UNICAMP. Mestre em Engenharia Civil pela UNICAMP. Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Professor dos cursos de graduação em engenharia civil e engenharia ambiental da UFG.

**Ricardo Prado Abreu Reis**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Goiás. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Goiás. Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da FEC - UNICAMP. Professor dos cursos de graduação em engenharia civil e engenharia ambiental da Universidade Federal de Goiás.

**Rogério de Araújo Almeida**

Graduação, mestrado e doutorado em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás - UFG. Professor adjunto da Universidade Federal de Goiás, para os cursos de Agronomia, Zootecnia e mestrado em Engenharia de Meio Ambiente.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Escola de Engenharia Civil, UFG, Praça Universitária s/n. Setor Universitário. CEP 74605-220 - Goiânia - Goiás - Brasil - Fone: (62) 3209 60 84 Fax: (62) 3521 18 67 - e-mail: [saulobruno@yahoo.com.br](mailto:saulobruno@yahoo.com.br)

**RESUMO**

O lançamento de esgotos domésticos e industriais sem tratamento adequado vem acelerando a degradação das águas superficiais. O avanço deste cenário pode provocar grandes alterações nos ecossistemas aquáticos, como mortandade de peixes, florescimento de algas tóxicas, perda da biodiversidade, predominância de algumas espécies e desaparecimento de outras, causando possíveis modificações nas cadeias alimentares, além dos impactos sociais, econômicos e de saúde pública, pela perda de água em qualidade e quantidade (PARESCHI, 2004). A quantidade de esgotos produzidos pelas comunidades urbanas passou a ser superior à capacidade da natureza em depurá-los. Portanto, faz-se necessário tratar o esgoto gerado, antes de lançá-lo no corpo receptor. Os esgotos das ETE's (Estação de Tratamento de Esgoto) devem, simultaneamente, atender às condições e padrões de lançamento e não ocasionar alterações significativas da qualidade da água do corpo receptor, conforme sua classe, nas condições da vazão de referência (CONAMA, 2005). A utilização de espécies vegetais no pós-tratamento de esgoto vem se consolidando como uma alternativa, eficiente, sustentável e de baixo custo, aos sistemas convencionais. O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência do sistema zona de raízes, com três diferentes substratos, areia, brita zero e brita um, precedido de tanque séptico e filtro biológico anaeróbio, no tratamento de esgoto sanitário, nas condições climáticas de Goiânia-GO. Para tanto, foi construído um sistema experimental de tratamento na Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (EEC/UFG), constituído por um tanque séptico, um filtro biológico anaeróbio e três leitos de zona de raízes, em paralelo. O sistema mostrou-se eficiente na remoção de DBO (95,0%), DQO (87,7%) e Coliformes termotolerantes (99,4%).

**PALAVRAS-CHAVE:** Reuso de águas residuárias, *wetlands*, tratamento anaeróbio, alagados construídos, zonas de raízes.

## INTRODUÇÃO

As águas superficiais vêm sofrendo um crescente processo de degradação causado, em grande parte, pelo despejo de esgoto doméstico, industrial e agrícola sem tratamento adequado. A poluição das águas pode provocar alterações nos ecossistemas aquáticos, como mortandade de peixes, florescimento de algas tóxicas, perda da biodiversidade, predominância de algumas espécies e desaparecimento de outras, causando possíveis modificações nas cadeias alimentares, além dos impactos sociais, econômicos e de saúde pública, pela perda de água em qualidade e quantidade (PARESCHI, 2004).

O despejo de esgoto tornou-se de fato um problema público quando a população humana tomou um crescimento desordenado e de forma exponencial. Diante da expansão demográfica, os recursos naturais vêm sofrendo perdas quantitativas e qualitativas. Para atender à grande demanda de consumo, é necessário extrair recursos naturais para a produção, que por sua vez, no processo industrial geram esgotos, que somados aos esgotos domésticos, são lançados nos corpos receptores. Assim, tais ações de extração de recursos naturais e despejo de esgotos, promovem o decaimento da qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

O abastecimento de água tratada traz resultados rápidos e sensíveis melhorias à saúde e às condições de vida de uma comunidade. Entretanto, os dejetos gerados após o uso da água requerem tratamento e disposição final adequados para controle de vetores transmissores de doenças e preservação do meio ambiente (FONSECA, 2005). Países com clima mais quente e seco têm maior consumo de água verificado, conseqüentemente, maior geração de esgotos (BRASIL, 2006).

A quantidade de esgotos produzidos pela humanidade passou a ser superior à capacidade da natureza de depurá-los. Portanto, faz-se necessário tratar os esgotos gerados, antes de lançá-lo no corpo receptor. Os esgotos das ETE's (Estação de Tratamento de Esgoto) devem, simultaneamente, atender às condições e padrões de lançamento de efluentes e padrões de qualidade de água, estabelecidos para diferentes classes dos corpos receptores (CONAMA, 2005).

Deste modo, buscam-se alternativas de tratamento de esgotos, que sejam eficientes, sustentáveis e economicamente viáveis. Entre as soluções mais atrativas evidenciam-se os tratamentos que simulam fenômenos que ocorrem espontaneamente na natureza, como aqueles verificados nos brejos, em que espécies vegetais purificam as águas (ARIAS; BRIX, 2003).

Esses sistemas recebem nomes como: zona de raízes, *wetlands*, alagados construídos, leitos cultivados, dentre outros (TONIATO, 2005). Tais sistemas podem ser implantados nos locais onde o esgoto é gerado, são facilmente operados, consomem pouca energia e são mais flexíveis e menos susceptíveis às variações das taxas de aplicação de esgotos. Estes muitas vezes integram-se ao ambiente construído e são caracterizados como tecnologia de elevado desempenho ambiental (BRIX, 1993; PRESZNHUK et al., 2003; SOLANO; SORIANO; CIRIA, 2004).

Sistemas do tipo zona de raízes são constituídos por quatro principais elementos: as plantas, os substratos, os microrganismos e a coluna d'água. Um dos grandes desafios de aperfeiçoamento desses sistemas tem sido evitar a colmatção precoce do substrato nas unidades de tratamento de esgotos. O substrato é um dos mais importantes elementos dos sistemas de alagados construídos. Além de conferir uma parcela significativa na eficiência do tratamento de esgotos, também contribui no tempo de vida funcional do sistema.

O entupimento ou colmatção do substrato é ocasionado pelo preenchimento dos vazios entre os grãos por partículas oriundas dos esgotos e crescimento das raízes e do biofilme (FONSECA, 2005; SEZERINO et al., 2005; SEZERINO, 2006). A ocorrência desse fenômeno reduz o fluxo hidráulico ao ponto de acarretar o transbordamento de esgoto no leito, inviabilizando o funcionamento da estação e obrigando à substituição do substrato.

Assim, este estudo se justifica por buscar um substrato que viabilize a utilização do sistema zona de raízes no Estado de Goiás, sem a necessidade de constante substituição do substrato. Assim, será avaliado o comportamento de três substratos de diferentes granulometrias num sistema do tipo zona de raízes, precedido de tanque séptico e filtro anaeróbio no tratamento de esgoto sanitário gerado em uma unidade universitária.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Local de estudo

Para a realização do estudo, foi implantado um sistema experimental de tratamento de esgotos na Escola de Engenharia Civil (EEC), localizada no Campus I da Universidade Federal de Goiás (UFG), no Setor Universitário, na região Leste da cidade de Goiânia-GO, na latitude 16°40'39'' S e longitude 49°14'28'' W.

Esta unidade universitária conta com efetivos 1.721 alunos e 122 professores, dispersos entre os períodos matutino, vespertino e noturno. Somados aos 51 funcionários técnico-administrativos, 7 vigias, 10 funcionários de limpeza e 7 funcionários da cantina, totalizam 1.918 pessoas. O levantamento do contingente apresentado foi realizado in loco, por meio de entrevista direta com os coordenadores e gerentes de cada atividade vigente da unidade.

O clima local, segundo classificação de Köppen, é do tipo Aw (quente e semi-úmido com estação seca bem definida, de maio a setembro, e regime pluviométrico tropical, com temperatura média anual de 23,2° C, com as médias mínimas e máximas de 17,9° C e 29,8° C, respectivamente). A precipitação média anual é de 1.575,9 mm e o total anual de insolação é de 2.588,1 h (BRASIL, 1992). A Figura 1 apresenta o fluxograma da metodologia empregada no desenvolvimento do experimento.

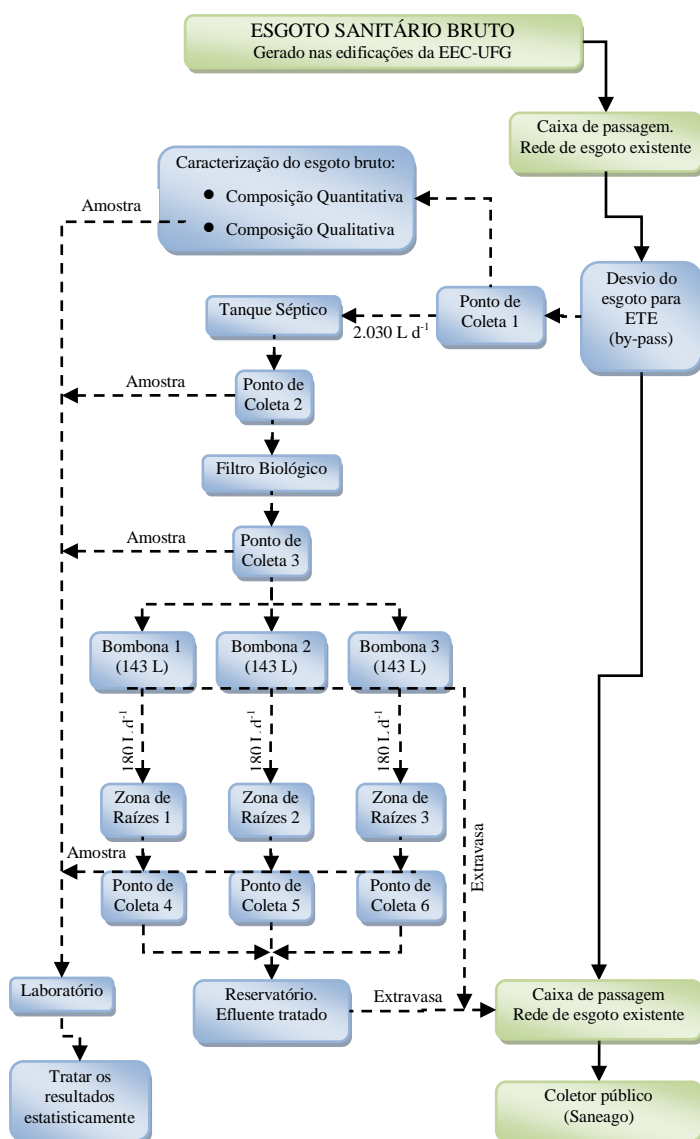


Figura 1: Fluxograma da metodologia empregada na pesquisa.

## Caracterização do esgoto

Os ambientes construídos que contribuem para a composição quantitativa e qualitativa do esgoto na unidade universitária são: os banheiros, a copa dos funcionários, a cozinha da cantina, os laboratórios de análises físico-químicas, bacteriológicas e de solos, e possíveis infiltrações na rede de esgoto.

A vazão de esgoto da unidade universitária foi estimada pelo Método Volumétrico (IDE; OLIVEIRA e BEZERRA, 2010). O procedimento foi realizado de hora em hora, das 07h00min às 23h00min, de 15 em 15 dias, contemplando os cinco dias úteis da semana (segunda a sexta-feira), durante 2 meses e meio. Fora desse intervalo de tempo, isto é, das 23h00min às 07h00min procedeu-se a medição e verificou-se que a vazão é praticamente nula.

Para caracterizar a composição qualitativa do esgoto bruto da unidade universitária, foram feitas cinco coletas compostas e cinco coletas simples. As coletas compostas foram realizadas de hora em hora, das 07h00min às 23h00min, de 15 em 15 dias, contemplando os cinco dias úteis da semana (segunda a sexta-feira), durante 2 meses e meio.

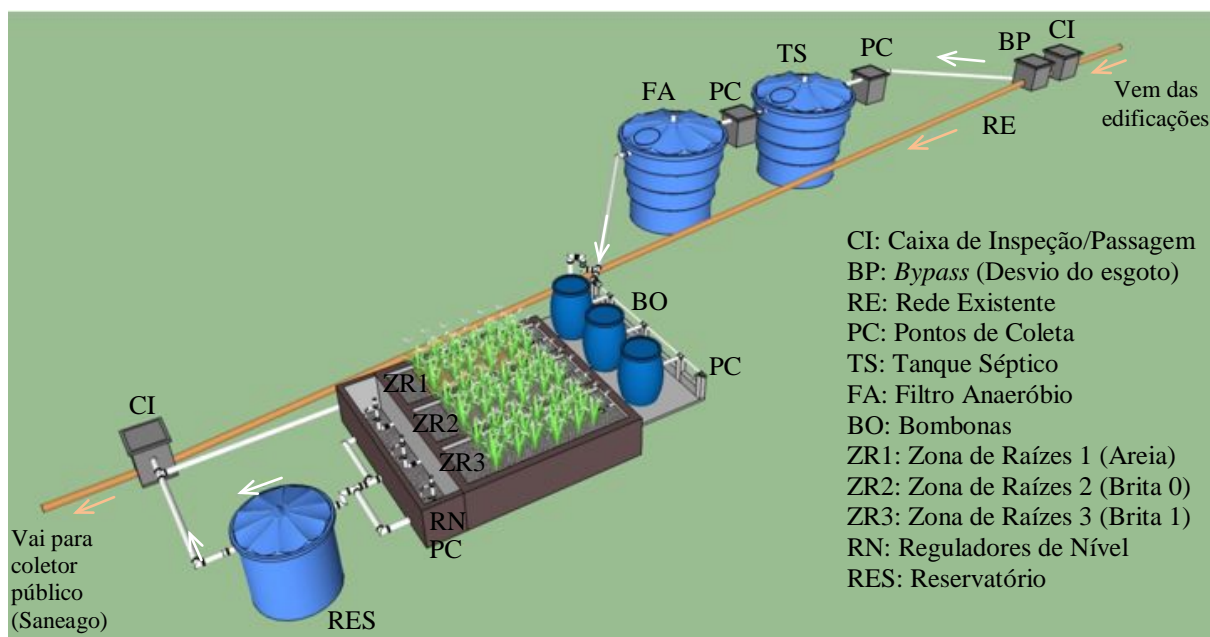
## Tratamento

A estação experimental constituiu-se de um tanque séptico e um filtro anaeróbio, seguidos por três unidades, independentes, de zona de raízes, e por um tanque reservatório para armazenamento do esgoto tratado (Tabela 1, Figuras 2 e 3).

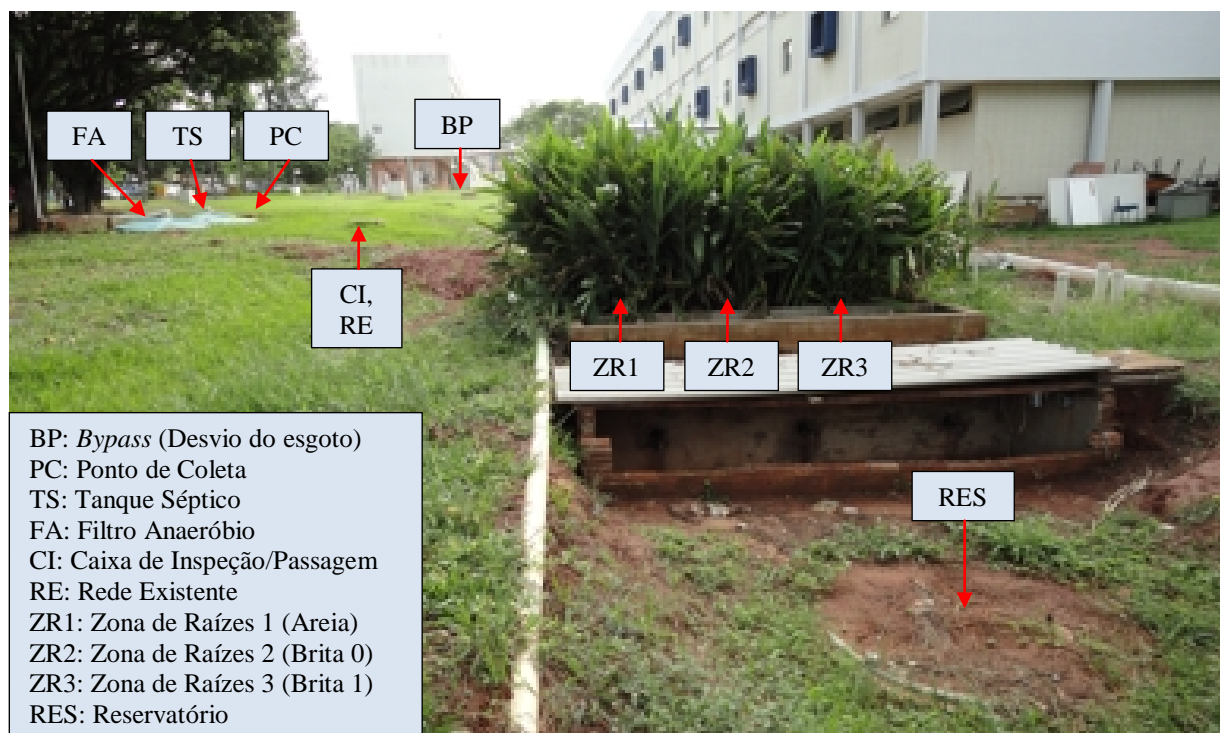
**Tabela 1: Dimensões das unidades do sistema experimental de tratamento de esgoto.**

Unidade	Dimensões (m)			Volume Útil (m³)
	Diâmetro superior	Diâmetro inferior	Profundidade Útil	
Tanque séptico	2,60	2,00	2,00	8,00
Filtro anaeróbio	2,60	2,00	2,00	8,00
Reservatório	1,50	1,50	1,40	2,50
Unidade	Largura	Comprimento	Profundidade Útil	Volume Útil (m³)
Zona de raízes <sup>1</sup>	1,00	3,00	0,55	1,65

<sup>1</sup> Implantadas três unidades idênticas nas suas dimensões.



**Figura 2: Desenho esquemático da vista geral da estação experimental de tratamento de esgoto da unidade universitária EEC-UFG.**



**Figura 3: Vista geral da estação experimental de tratamento de esgoto da unidade universitária EEC-UFG.**

Como unidades de pré-tratamento, foram implantados um tanque séptico e um filtro anaeróbio, em série, de fluxo ascendente. Ambas as unidades são pré-moldadas, dimensionadas segundo a NBR 7.229 (ABNT, 1993) e NBR 13.969 (ABNT, 1997) confeccionadas em fibra de vidro. O tanque séptico e o filtro anaeróbio são de seção circular, que minimiza a área útil em favor da profundidade, com um volume útil de 8 m<sup>3</sup> cada. O filtro anaeróbio foi preenchido com pedaços de manta de poliéster cortados nas dimensões de 2,5 x 2,5 cm, que servem de meio suporte para os microrganismos.

Seguindo orientações da NBR 7.229 (ABNT, 1993) e NBR 13.969 (ABNT, 1997), os dimensionamentos do tanque séptico e do filtro anaeróbio do sistema de tratamento deram-se com base na quantidade de pessoas que permanecem na unidade universitária. A vazão foi medida após a implantação do sistema por meio do Método Volumétrico.

### Tratamento por zona de raízes

Posterior às unidades de pré-tratamento, foram instaladas três bombonas plásticas que recebiam o esgoto proveniente do filtro anaeróbio por meio de um tubo de PVC com diâmetro de 100 mm. As bombonas eram independentes, sendo cada uma para sua respectiva zona de raízes. O esgoto foi distribuído uniformemente nas bombonas até atingir seu nível máximo de armazenamento. O volume útil de cada bombona é de 143 litros. Devido a utilização de apenas 26,6% (540 L d<sup>-1</sup>) da vazão total de esgoto da unidade universitária nos leitos de zona de raízes, o nível dentro das bombonas permanecia sempre estável. O excedente era extravasado para o coletor público por meio de um tubo de PVC com diâmetro de 100 mm. Cada bombona dispõe de registro de entrada e registro de descargas de fundo para devidas manutenções nestas unidades quando necessário (Figura 4).

Com a intenção de aplicar uma vazão definida de esgoto nas zonas de raízes, colocou-se em cada bombona uma bomba submersa com flexibilidade para regulagem de vazão entre 60 L h<sup>-1</sup> e 170 L h<sup>-1</sup>. Com o propósito de aplicar 180 L d<sup>-1</sup> em cada unidade, as bombas foram reguladas para a vazão de 60 L h<sup>-1</sup> e com apoio de um temporizador (timer) aplicou-se o esgoto durante 15 minutos correntes. O procedimento foi retomado de duas em duas horas durante as 24 horas do dia, de segunda a sábado. Assim, por dia ocorreram 12 aplicações de 15 litros em cada leito de zona de raízes. As aplicações nas zonas de raízes eram interrompidas às 18h00min dos sábados e/ou vésperas de feriado, tendo em vista que a produção de esgoto na unidade universitária nos domingos e feriados é desprezível, e retomada às 08h00min do dia seguinte aos domingos e feriados. O TDH



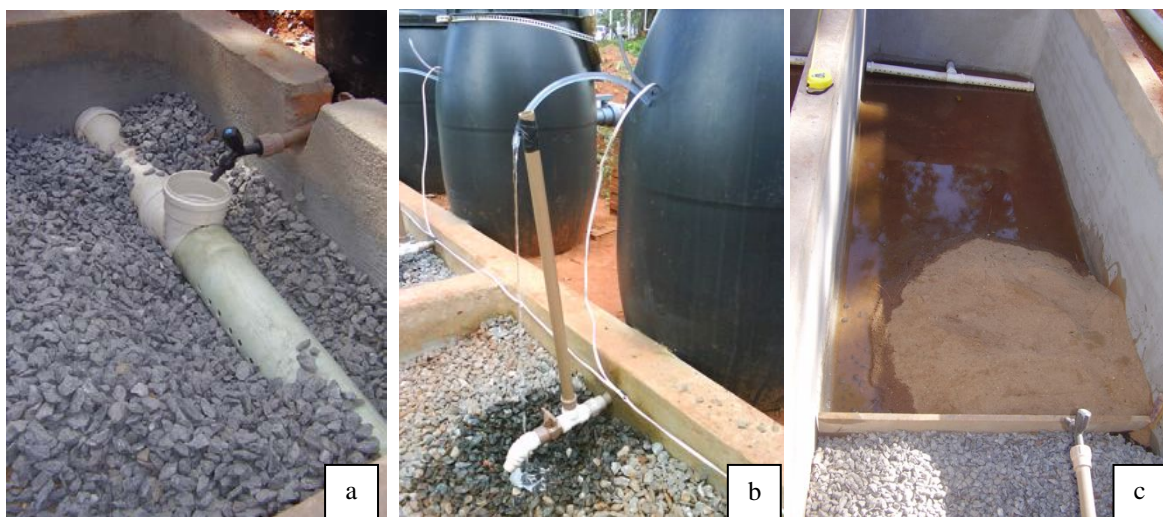
dentro de cada bombona é de dezenove horas. Esse TDH pode ser considerado virtual, uma vez que de duas em duas horas eram renovados quinze litros de esgoto de cada bombona (Figura 4).



**Figura 4: Detalhe das bombonas implantadas para controle de aplicação de esgoto nas zonas de raízes da estação experimental de tratamento de esgoto da unidade universitária EEC-UFG.**

A recomendação de se aplicar  $180 \text{ L d}^{-1}$  de esgoto na zona de raízes se baseia na literatura. Segundo Philippi e Sezerino (2004), a área para o tratamento de esgoto em sistemas alagados construídos varia de menos de um até seis metros quadrados por habitante (considerando que um habitante produz  $180 \text{ L d}^{-1}$  de esgoto). Assim, a área da estação de tratamento em estudo corresponde a três metros quadrados por habitante.

As unidades de zona de raízes, classificadas por Brix (1993) como um sistema de tratamento baseado em macrófitas emergentes de fluxo sub-superficial horizontal, foram construídas in loco, dimensionadas segundo orientações de Philippi e Sezerino (2004). As unidades de zona de raízes são idênticas nas suas medidas, sendo 1,0 m de largura, 3,0 de comprimento, 0,55 m de profundidade útil e 0,65 m de profundidade total, com um volume útil de  $1,65 \text{ m}^3$  cada. As três unidades de zona de raízes foram construídas uma ao lado da outra, e são independentes entre si, cujos detalhes são apresentados na Figura 5.



**Figura 5: a) Detalhe do tubo de aplicação do esgoto na zona de raízes. (b) Detalhe da aplicação do esgoto no tubo de aplicação. (c) Detalhe do tubo de drenagem na zona de raízes da estação experimental de tratamento de esgoto da unidade universitária EEC-UFG.**

As unidades zona de raízes foram demarcadas no terreno, escavadas e construídas com piso em concreto armado e paredes em alvenaria (tijolo comum, 9 cm x 19 cm x 4 cm, deitado) construídas 10 cm acima do nível do terreno. As paredes e os pisos foram impermeabilizados durante e após o reboco. Para receber e distribuir uniformemente o esgoto foi colocado um tubo de PVC com diâmetro de 100 mm em uma das

extremidades do leito, perfurado em toda sua extensão e posicionado na parte superior do leito. A drenagem do esgoto deu-se pela extremidade oposta à entrada, em tubo de esgoto de PVC com diâmetro de 50 mm, posicionado no fundo do leito, igualmente perfurado (Figura 5).

As unidades de zona de raízes foram preenchidas com brita número um nos 50 cm iniciais e finais, ocupando 60 cm de profundidade, para aplicação e drenagem de líquidos, respectivamente. Na parte intermediária de cada unidade utilizou-se diferentes substratos, sendo areia lavada na Zona de Raízes 1 (ZR1), brita número zero na Zona de Raízes 2 (ZR2) e brita número um na Zona de Raízes 3 (ZR3), ocupando 60 cm de profundidade nos seus respectivos leitos (Figura 6). Por ocasião do preenchimento dos leitos utilizou-se de tábuas de madeira para separar a brita da areia na Zona de Raízes 1 (ZR1), e a brita zero da brita um na Zona de Raízes 2 (ZR2), retirando as tábuas em seguida.



**Figura 6:** Detalhe dos leitos preenchidos com os substratos da estação experimental de tratamento de esgoto da unidade universitária EEC-UFG.

Os substratos foram caracterizados fisicamente seguindo a NBR 6502 (ABNT, 1995) e NBR 7181 (ABNT, 1984). O diâmetro dos grãos da areia variou entre 0,08 mm e 0,9 mm, a brita zero entre 0,08 mm e 20 mm e a brita um entre 10 mm e 50 mm. A medição de vazios dos substratos foi realizada pelo Método do Balão Volumétrico (EMBRAPA, 1997). A areia possuía 40% de espaços vazios e as britas 50% de espaços vazios.

As três unidades foram vegetadas com a espécie *Hedychium coronarium* J. König, conhecida por Lírio do Brejo, escolhida pela elevada eficiência no tratamento de esgoto sanitário nas condições climáticas de Goiânia, além de proporcionar efeito paisagístico e aromático (ALMEIDA, 2005; ALMEIDA; OLIVEIRA; KLIEMANN, 2007).

No plantio das espécies vegetais foram utilizadas mudas correspondentes a plantas adultas com brotações no rizoma, com oito plantas por metro quadrado. As plantas foram previamente coletadas em seu ambiente natural, tiveram suas folhas cortadas e foram armazenadas em local úmido e sombreado, com vistas à brotação. Após o transplantio das mudas procedeu-se a sua irrigação com água de torneira, do sistema público. As plantas que morreram foram substituídas, de forma a manter o estande inicial. Seguindo as recomendações de Sievers (1993) e Solano; Soriano; Ciria (2004), a aplicação do esgoto iniciou-se após o pegamento das plantas, o que ocorreu aos trinta dias após o transplante.

O nível do resíduo líquido no interior dos leitos foi mantido em aproximadamente cinco centímetros abaixo da superfície do substrato, para evitar seu afloramento e possível proliferação de mosquitos e liberação de maus odores. No primeiro terço inferior do tubo foi conectado uma torneira para coleta de amostras de esgoto tratado para análise laboratorial.

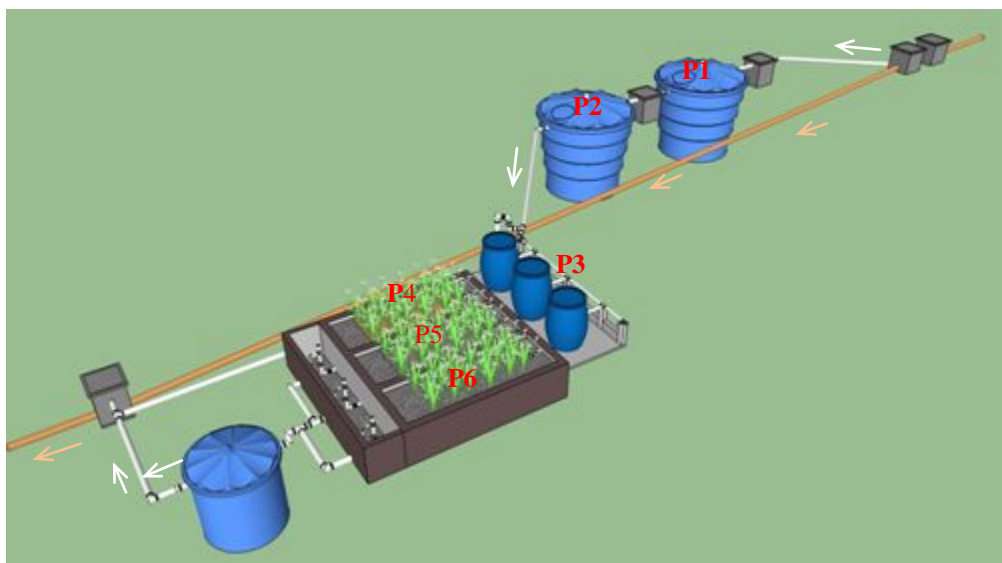
## Coletas e análises

Após trinta dias do início da aplicação de esgoto nas unidades zona de raízes, iniciaram-se as coletas de amostras para a análise da qualidade do esgoto. As coletas foram realizadas quinzenalmente, por um período de dez meses, sempre no turno matutino. Durante as coletas as amostras eram conservadas em gelo numa caixa térmica. Imediatamente após o término das coletas as amostras eram conduzidas aos laboratórios da ETE Goiânia – Saneago e da UFG. Os parâmetros avaliados foram: DBO, OD, DQO, Coliformes Termotolerantes, Potencial Hidrogeniônico, Condutividade Elétrica, Fósforo Total, Nitrogênio Total Kjeldahl, Nitrogênio Amoniacal, Turbidez, Cor Aparente, Óleos e Graxas, Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis, Sólidos Totais Fixos.

Foram coletadas amostras de esgoto antes e após cada uma das unidades de tratamento do sistema, totalizando seis pontos de coleta (Tabela 2, Figura 7 e 8). Em cada ponto de coleta foi instalado um dispositivo (torneira ou registro) para melhor precisão na coleta, evitando possíveis alterações na composição das amostras.

**Tabela 2: Identificação dos pontos de coletas de amostras de esgoto para análises laboratoriais.**

Ponto	Local da coleta
P1	Antes do tanque séptico (esgoto bruto)
P2	Depois do tanque séptico
P3	Depois do filtro anaeróbio
P4	Depois da zona de raízes 1
P5	Depois da zona de raízes 2
P6	Depois da zona de raízes 3



**Figura 7: Detalhe da distribuição dos pontos de coleta de amostras para análises laboratoriais da estação experimental de tratamento de esgoto da unidade universitária EEC-UFG.**

Os parâmetros foram analisados conforme metodologias determinadas pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA; AWWA; WPCF, 1995).





**Figura 8:** Detalhe do ponto de coleta de amostras para análises laboratoriais de uma das unidades zonas de raízes da estação experimental de tratamento de esgoto da unidade universitária EEC-UFG.

## RESULTADOS

A vazão média do esgoto da unidade universitária é de 2.030 L.d<sup>-1</sup>, sendo que a vazão máxima diária de 3,5 L.min<sup>-1</sup> ocorria normalmente às 12h00min, horário do término das aulas do turno matutino. O turno matutino concentra maior quantidade de pessoas.

Os resultados das análises laboratoriais de caracterização do esgoto bruto produzido na unidade universitária e utilizado no experimento são apresentados na Tabela 3. A maioria dos parâmetros esteve dentro da margem de referência dos valores citados pela literatura brasileira para esgoto bruto doméstico.

**Tabela 3: Composição físico-química e bacteriológica média do esgoto bruto e valores de referência.**

PARÂMETRO	CONCENTRAÇÃO NO ESGOTO			
	Bruto	Referência1	Referência2	Referência3
DBO (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	417	200 a 500	100 a 400	100 a 300
Oxigênio Dissolvido (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	-	-	-	-
DQO (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	965	400 a 800	200 a 800	250 a 1.000
Coliformes (NMP 100mL <sup>-1</sup> )	3,8x10 <sup>7</sup>	-	10 <sup>5</sup> a 10 <sup>8</sup>	-
Potencial Hidrogeniônico	7,4	6,7 a 7,5	6,5 a 7,5	-
Condutividade Elétrica (μS cm <sup>-1</sup> )	924	-	-	-
Fósforo Total (mg L <sup>-1</sup> )	7,3	5 a 25	5 a 20	6 a 20
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg L <sup>-1</sup> )	94	-	20 a 85	20 a 85
Nitrogênio Amoniacal (mg L <sup>-1</sup> )	41	20 a 40	10 a 50	12 a 50
Turbidez (UNT)	167	-	-	-
Cor (Pt L <sup>-1</sup> )	364	-	-	-
Óleos e Graxas (mg L <sup>-1</sup> )	110	55 a 170	50 a 150	50 a 150
Sólidos Totais (mg L <sup>-1</sup> )	748	700 a 1.350	-	350 a 1.200
Sólidos Totais Voláteis (mg L <sup>-1</sup> )	460	-	-	-
Sólidos Totais Fixos (mg L <sup>-1</sup> )	289	-	-	-

1 Segundo Sperling (1996a); 2 Segundo Jordão e Pessôa (2005); 3 Segundo Metcalf e Eddy (1981)

O valor médio da DBO foi de 417 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> e o da DQO foi de 965 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>. O valor da DBO do esgoto bruto da unidade universitária apresenta-se dentro da faixa de referência da literatura brasileira, que cita os valores entre 200 a 500 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> (SPERLING, 2005), 100 a 400 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> (JORDÃO; PESSÔA, 2005) e acima da faixa de referência citado pela literatura internacional, que é de 100 a 300 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> (METCALF; EDDY, 1981). Já a DQO do esgoto bruto da unidade universitária apresenta-se acima da faixa de referência da

literatura brasileira que cita entre 400 a 800 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> (SPERLING, 2005), 200 a 800 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> (JORDÃO; PESSÔA, 2005) e dentro da margem de referência dada pela literatura internacional que é de 250 a 1.000 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> (METCALF; EDDY, 1981).

Cabe-se dizer que o esgoto bruto da unidade universitária é predominantemente doméstico, visto que, a relação entre DQO/DBO é de 2,3. Segundo Sperling (2005) a relação DQO/DBO do esgoto bruto doméstico varia de 1,7 a 2,4. Portanto, entende-se que há predominância das frações biodegradáveis no esgoto bruto da unidade universitária.

Para o parâmetro coliformes termotolerantes o valor médio foi de 3,8x10<sup>7</sup> NMP 100mL<sup>-1</sup>. Segundo Jordão e Pessoa (2005) o esgoto bruto doméstico contém cerca de 10<sup>5</sup> a 10<sup>8</sup> NMP 100mL<sup>-1</sup> de coliformes termotolerantes. Já Fernandes (1997) cita a faixa de coliformes termotolerantes do esgoto doméstico bruto entre 10<sup>5</sup> a 10<sup>7</sup>. Portanto, percebe-se, que esgoto bruto da unidade universitária apresentou valores dentro da faixa de referência reportado pela literatura brasileira.

### Desempenho do tanque séptico-filtro anaeróbio (TS-FA)

Tendo em vista que as unidades TS-FA foram dimensionadas com base na quantidade de pessoas que permanecem na unidade universitária, a vazão medida posteriormente gerou o tempo de detenção hidráulico de 3,94 dias no tanque séptico, desconsiderando o volume de lodo. Abordando o cálculo e as considerações da NBR 7.229 (ABNT, 1993), que inclui o volume de lodo para limpezas anuais, este valor passa a ser de 1,2 dias.

O tempo de detenção hidráulico no filtro anaeróbio foi de 3,94 dias, desconsiderando o material filtrante. Em ambas unidades, tanque séptico e filtro anaeróbio, o TDH ficou acima do sugerido pela NBR 7.229 (ABNT, 1993) e NBR 13.969 (ABNT, 1997) que é de 0,92 dias para vazões entre 1.501 e 3.000 L d<sup>-1</sup>. As dimensões, volume e TDH do tanque séptico e filtro anaeróbio são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4: Dimensões, Volume Útil e Tempo de Detenção Hidráulica propiciados pelas unidades tanque séptico e filtro anaeróbio do sistema.**

Unidade	Dimensões (m)			Volume Útil (m <sup>3</sup> )	Vazão (L d <sup>-1</sup> )	TDH (dias)
	Diâmetro superior	Diâmetro inferior	Profundidade Útil			
Tanque séptico	2,60	2,00	2,00	8,00	2.030	1,20
Filtro anaeróbio	2,60	2,00	2,00	8,00	2.030	3,94

Os resultados da eficiência do tanque séptico e filtro anaeróbio são apresentados na Tabela 5.

A matéria orgânica, que é representada pelos parâmetros DBO e DQO, obteve o valor médio de saída do tanque séptico de 217 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> e 590 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, respectivamente. Essa redução na carga orgânica do esgoto bruto da unidade universitária resultou em uma eficiência de 48% na DBO e 38,9% na DQO. Segundo Jordão e Pessoa (2005), a eficiência na remoção de DBO do efluente do tanque séptico pode variar de 30% a 50%. Ávila (2005) ao avaliar o desempenho do sistema TS-FA do Centro Experimental de Tratamento de Esgotos da UFRJ, obteve uma eficiência de 48,7% para DBO e 46,5% para DQO no tanque séptico.

O valor médio de saída do filtro anaeróbio foi de 131 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> de DBO e 342 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> de DQO, resultando uma eficiência de 40% e 42%, respectivamente. Assim, o sistema TS-FA, obteve uma eficiência global de 69% para DBO e 65% para DQO. A eficiência do sistema TS-FA para o parâmetro DBO pode variar de 75 a 95% (CHERNICHARO, 1997), 70% a 85% (JORDÃO; PESSÔA, 2005), 50 a 70% (METCALF; EDDY, 1981), 40 a 75% (ABNT, 1997).

Para o parâmetro coliformes termotolerantes o valor médio de saída do efluente foi de 5,0x10<sup>6</sup> NMP 100mL<sup>-1</sup> no tanque séptico e 9,6x10<sup>5</sup> NMP 100mL<sup>-1</sup> no filtro anaeróbio, promovendo uma eficiência de 86,8% e 81%, respectivamente. A eficiência global do sistema TS-FA com relação ao parâmetro: coliformes termotolerantes foi de 97%. Eficiência similar a encontrada por Madera, Silva e Peña (2011), ao avaliarem um sistema TS-FA de uma ETE, que foi de 98% na remoção de coliformes termotolerantes.

**Tabela 5: Valores médios afluentes e efluentes das unidades de pré-tratamento, tanque séptico e filtro anaeróbio, e eficiência percentual em relação aos parâmetros.**

PARÂMETRO1	Tanque Séptico		EP4 (%)	Filtro Anaeróbio		EP4 (%)	EPG5 (%)
	AF2	EF3		AF2	EF3		
DBO	417	217	48	217	131	40	69
OD	-	1,0	-	1,0	1,1	-	-
DQO	965	590	38,9	590	342	42	65
COLIF.	$3,8 \times 10^7$	$5,0 \times 10^6$	86,8	$5,0 \times 10^6$	$9,6 \times 10^5$	81	97
pH	7,4	6,7	-	6,7	6,9	-	-
COND.	924	942	-1,9	942	869	7,7	6,0
FOSF.	7,3	5,9	19,2	5,9	5,8	1,7	20
NTK	94	87	7,4	87	70	19,5	25,5
N.AMON.	41	57	-39	57	52	8,8	-27
TURB.	167	205	-23	205	126	38	25
COR	364	376	-3,3	376	342	9,0	6,0
OG	110	31	71,8	31	19	39	83
ST	748	740	1,1	740	470	36	37
STV	460	389	15,4	389	199	49	57
STF	289	351	-21	351	270	23	6,6

1 Parâmetro: DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ); OD: Oxigênio Dissolvido ( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ); DQO: Demanda Química de Oxigênio ( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ); COLIF.: Coliformes Termotolerantes ( $\text{NMP } 100\text{mL}^{-1}$ ); pH: Potencial Hidrogeniônico; COND.: Condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ); FOSF.: Fósforo Total ( $\text{mg L}^{-1}$ ); NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl ( $\text{mg L}^{-1}$ ); N. AMON.: Nitrogênio Amoniacal ( $\text{mg L}^{-1}$ ); TURB.: Turbidez (UNT); COR: Cor Aparente ( $\text{Pt L}^{-1}$ ); OG: Óleos e Graxas ( $\text{mg L}^{-1}$ ); ST: Sólidos Totais ( $\text{mg L}^{-1}$ ); STV: Sólidos Totais Voláteis ( $\text{mg L}^{-1}$ ); STF: Sólidos Totais Fixos ( $\text{mg L}^{-1}$ ). 2 AF: Afluente. 3 EF: Efluente. 4 EP: Eficiência Percentual (%) =  $100 (\text{entrada} - \text{saída}) / \text{entrada}$ . 5 EPG: Eficiência Percentual Global (%) =  $100 (\text{entrada total} - \text{saída total}) / \text{entrada total}$ .

### Desempenho das zonas de raízes

Durante o período verificado, aplicou-se o mesmo volume de entrada de esgoto nas três unidades de zona de raízes, 1.344 litros. Já o volume de saída de esgoto foi de 434,5 litros na ZR1, 516,5 na ZR2 e 529,5 na ZR3, assim, ocorreu a evapotranspiração de 909,5 litros, 827,5 litros e 814,5 litros, respectivamente, correspondente a 67,7%, 61,6% e 60,6%. Estes valores estão similares a evapotranspiração da terra, onde 70% a 75% da precipitação voltam à atmosfera por meio da evapotranspiração (BRASIL, 2006).

Assim, considerando a evapotranspiração das plantas e o material de preenchimento (substratos), as unidades de zona de raízes, que permitiu fixar as vazões de entrada por meio do ajuste das bombas, gerou tempos de detenção, na ordem de 12,3 dias para ZR1, 11,9 dias para ZR2 e 11,6 dias para ZR3 (Tabela 6).

**Tabela 6: Dimensões úteis, volume útil, vazão de aplicação, vazios dos substratos, evapotranspiração das plantas e Tempo de Detenção Hidráulica propiciados pelas unidades de zona de raízes do sistema.**

Unidade	Dimensões (m)			Volume ( $\text{m}^3$ )	Vazão ( $\text{L d}^{-1}$ )	Vazios (%)	EPT (%)	TDH (dias)
	Largura	Comprimento	Profundidade					
ZR1	1,00	3,00	0,55	1,65	180	40	67,7	12,3
ZR2	1,00	3,00	0,55	1,65	180	50	61,6	11,9
ZR3	1,00	3,00	0,55	1,65	180	50	60,6	11,6

Deve ser destacada aqui a importância da evapotranspiração das plantas nos sistemas zona de raízes. Desprezando esse fenômeno, o TDH das unidades estudadas neste experimento seria de 4 dias para ZR1 e 4,6 dias para ZR2 e ZR3, bem diferente do TDH real.

Considerando a evapotranspiração das plantas, a Tabela 7 apresenta os valores médios das concentrações de saída dos atributos do esgoto para cada tratamento, as médias das eficiências percentuais de cada tratamento na remoção dos atributos do esgoto, os resultados de testes de média e os coeficientes de variação. A discussão dos resultados é realizada em seguida, individualmente, para cada um dos parâmetros analisados.

**Tabela 7: Tratamentos referente a cada parâmetro1, valores médios de entrada do esgoto (EFA)2, valores médios de saída (AZR)3, média de eficiência percentual (EP)4, média geral de saída5, CV6 e agrupamento7, verificados no tratamento de esgoto sanitário por zona de raízes. Goiânia-GO. 2011.**

TRATAMENTO	DBO1			COLIF. 1			DQO1		
	EFA2	EZR3	EP4	EFA2	EZR3	EP4	EFA2	EZR3	EP4
ZR1: Areia	131	7	96,4 a	9,5x10 <sup>5</sup>	5,8x10 <sup>3</sup>	99,5952 a	342	60	88,4 a
ZR2: Brita zero		12	94,4 b		5,8x10 <sup>3</sup>	99,6257 a		70	87,3 a
ZR3: Brita um		12	94,2 b		1,8x10 <sup>4</sup>	98,8948 b		73	87,4 a
MÉDIA5		10,3	95,0		9,9x10 <sup>3</sup>	99,3719		67,7	87,7
CV6	1,7			0,7			3,0		

1Parâmetro: DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio (mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>); COLIF.: Coliformes Termotolerantes (NMP 100mL<sup>-1</sup>); DQO: Demanda Química de Oxigênio (mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>); COLIF.: Coliformes Termotolerantes (NMP 100mL<sup>-1</sup>); pH: Potencial Hidrogeniônico; COND.: Condutividade 2EFA: Efluente do filtro anaeróbio; 3EZR: Efluente da zona de raízes; 4Eficiência Percentual (EP) de remoção da carga do atributo, calculada pela equação  $EP(\%) = 100 \times (CE \times QE) - (CS \times QS) / (CE \times QE)$ ; em que CE: Concentração do atributo no esgoto antes da zona de raízes; QE: Vazão diária de entrada; CS: Concentração do atributo no esgoto após a zona de raízes; QS: Vazão diária de saída considerando a evapotranspiração das plantas; 5Média geral de saída; 6CV: Coeficiente de variação; 7Agrupamento: Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de LSMEANS a 5% de probabilidade.

O valor médio geral de saída para DBO do efluente tratado foi de 7,0 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> no tratamento com areia e 12 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> no tratamento com brita zero e no tratamento com brita um (Tabela 7). Estes valores não atendem a Resolução Conama n° 357, que estabelece o valor mínimo de 5,0 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> para lançamentos de efluentes em corpos receptores de Classe 2 (CONAMA, 2005). Todavia, atende o decreto estadual n° 1.745 de 1979, que no seu artigo 22 estabelece como padrão de lançamento para DBO o valor de 60 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, podendo este valor ser ultrapassado desde que os sistemas de tratamento reduza a carga poluidora em termos de DBO em no mínimo 80% (GOIÁS, 1979). Portanto, verifica-se que as unidades de zona de raízes estudadas atendem os padrões exigidos pelo decreto estadual nos quesitos carga orgânica do efluente e eficiência do sistema de tratamento.

Considerando a evapotranspiração das plantas, a maior média percentual na redução da DBO no efluente tratado foi de 96,4%, verificado na unidade preenchida com areia, que teve diferença significativa dos demais tratamentos. A unidade com brita zero obteve redução da DBO de 94,4% e a unidade com brita um alcançou 94,2% de eficiência, que por sua vez não se diferem entre si. A eficiência mínima da ZR1 para DBO foi de 93,8% aos 285 dias após início da aplicação do esgoto e máxima de 99,0% aos 240 dias. Na ZR2 eficiência mínima foi de 89,7% aos 45 dias após início da aplicação do esgoto e máxima de 99,0% aos 240 dias. Já na ZR3 a eficiência mínima foi de 89,8% aos 60 dias após início da aplicação do esgoto e máxima de 99,0% aos 30 dias.

Os tratamentos com os substratos brita foram menos eficientes que o tratamento com areia. O efeito de filtragem, propiciada pela areia pode ter influenciado na maior eficiência dos tratamentos com este substrato na redução da DBO. Em sistemas zona de raízes, a DBO associada com sólidos é removida por meio da filtração e/ou sedimentação. Já a DBO solúvel/coloidal em solução é reduzida por meio da atividade dos microrganismos colonizados nos substratos ou nas raízes das plantas e suspensos na coluna d'água (STOWELL et al., 1981).

Sezerino et al. (2005) em sistemas de alagados construído de fluxo sub-superficial horizontal implantado em Florianópolis-SC utilizando substrato areia, vegetado com taboa (*Typha* spp) e TDH de 3,9 dias, obtiveram uma eficiência de 63% no parâmetro DBO. Almeida (2005, 2007), utilizando o substrato areia num sistema vegetado com Lírio do Brejo (*Hedychium coronarium*) e TDH de 4,09 dias, obteve eficiência de 88,38%, em Goiânia. Eficiência percentual dos autores citados apresenta-se abaixo da obtida neste trabalho (96,4%), qual pode estar relacionado ao TDH, que no presente estudo foi de 12,3 dias na unidade preenchida com areia.

Sikora et al. (1995) afirmaram que é necessário um período de detenção de 8 a 33 dias para alcançar uma eficiência de 90% na redução da DBO num sistema de tratamento de zona de raízes com fluxo sub-superficial horizontal, nas condições climáticas do Alabama, EUA. Akrotos e Tsihrintzis (2007) ao avaliarem um sistema de bancada de fluxo horizontal vegetado com taboa (*Typha* spp) e preenchido com brita zero obtiveram eficiência no parâmetro DBO de 87,9%, 94%, 91,2% e 90,2% com TDH de 6, 8, 14 e 20 dias, respectivamente, em temperaturas acima de 15° C. O presente estudo alcançou uma redução no atributo DBO de 94,4% (brita zero) com o TDH de 11,9 dias, nas condições climáticas de Goiânia, GO.

Zanella (2008), ao avaliarem um sistema de fluxo sub-superficial vegetado com papiro, preenchido com brita um e TDH de 1,5 dias, alcançou uma eficiência global (pré-tratamento mais zona de raízes) de 80% nas



condições climáticas de Campinas, SP. Eficiência global inferior a encontrada no presente estudo que foi de 98,2%, considerando o pré-tratamento mais zona de raízes preenchida com brita um e TDH de 11,6 dias. A eficiência máxima encontrada pelo autor foi de 98% aos 119 dias de operação e mínima de 62% aos 239 dias. Valores inferiores ao encontrado no presente trabalho que obteve eficiência máxima de 99,0% aos 30 dias e mínima de 89,8% aos 60 dias após início da aplicação do esgoto.

Martins (2009) utilizando substratos sobrepostos na sequência brita três, brita um, areia e brita um em um sistema de fluxo sub-superficial vertical vegetado com taboa (*Typha spp*) e TDH de 4,6 dias, obteve uma redução da DBO de 76,6%, nas condições climáticas de Goiânia-GO. Numa outra unidade com as mesmas características, utilizando como vegetação o caniço (*Phragmites australis*) a autora alcançou uma eficiência de 61,3%.

A diferença dos valores pode ser devida à evapotranspiração das plantas, desconsiderada pelos autores citados.

No parâmetro DQO, a redução média percentual foi de 88,4% na ZR1, 87,3% na ZR2 e 87,4% na ZR3 (Tabela 8), considerando a evapotranspiração das plantas. A eficiência mínima da ZR1 para DQO foi de 81,2% aos 210 dias após início da aplicação do esgoto e máxima de 96,8% aos 165 dias. Na ZR2 eficiência mínima foi de 78,8% aos 195 dias após início da aplicação do esgoto e máxima de 94,8% aos 30 dias. Já na ZR3 a eficiência mínima foi de 81,0% aos 210 dias após início da aplicação do esgoto e máxima de 94,9% aos 135 dias. Não houve diferença significativa dos tratamentos na remoção deste atributo.

O valor médio geral de saída para DQO foi de 60 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> na ZR1, 70 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> na ZR2 e 73 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> na ZR3 (Tabela 7). Assim como para OD, a Resolução Conama n° 357 (CONAMA, 2005) e o Decreto Goiano n° 1.745 (GOIÁS, 1979), que dispõe as condições e padrões de lançamento de efluentes não fazem referência aos limites de Demanda Química de Oxigênio em efluentes.

Tal redução da DQO está similar ao encontrado por Almeida (2005, 2007), que ao utilizar substrato areia num sistema vegetado com Lírio do Brejo (*Hedychium coronarium*), obteve eficiência de 89,39%, em Goiânia, mesmo com o TDH abaixo (4,09 dias) do utilizado no presente estudo (12,3 dias). Sezerino et al. (2005) em sistemas de alagados construído de fluxo horizontal sub-superficial implantado em Florianópolis-SC utilizando substrato areia, vegetado com taboa (*Typha spp*) e TDH de 3,9 dias, obtiveram uma eficiência de 76%. Souza et al. (2004), durante o período de três anos acompanharam o desempenho de um sistema zona de raízes preenchido com areia e vegetado *Juncus spp*, com TDH de 10,1 dias, observaram uma redução mínima da DQO de 70% aos 900 dias e máxima de 86% aos 180 dias. Valores inferiores aos encontrados no presente trabalho.

Akratos e Tsihrantzis (2007) ao avaliarem um sistema de bancada de fluxo horizontal vegetado com taboa (*Typha spp*) e preenchido com brita zero, na Grécia, obtiveram eficiência no parâmetro DQO de 75,2%, 87,7%, 84,6% e 93,1% com TDH de 6, 8, 14 e 20 dias, respectivamente, para temperaturas abaixo de 15° C e 88,7%, 92,6%, 92,8% e 91,8% para temperaturas acima de 15° C com os respectivos TDH. Valor superior do encontrado no presente trabalho (87,3%), levando em consideração que o presente estudo foi realizado em temperaturas acima de 15° C e TDH de 11,9 dias.

Zanella (2008), ao avaliar um sistema de fluxo sub-superficial vegetado com papiro, preenchido com brita um e TDH de 1,5 dias, alcançou uma eficiência de 62,1% na redução da DQO, nas condições climáticas de Campinas, SP. Eficiência inferior a encontrada no presente estudo que foi de 87,4%, considerando o TDH de 11,6 dias na zona de raízes preenchida com brita um. Martins (2009) utilizando substratos sobrepostos na sequência brita três, brita um, areia e brita um em um sistema de fluxo sub-superficial vertical vegetado com taboa (*Typha spp*) e TDH de 4,6 dias, obteve uma redução da DQO de 62,3%, nas condições climáticas de Goiânia-GO. Num sistema com as mesmas características, utilizando como vegetação o caniço (*Phragmites australis*) a autora alcançou uma eficiência de 68,6%.

Destaca-se que a DQO é reduzida principalmente por processos físicos (sedimentação e filtração) (SOLANO; SORIANO; CIRIA, 2004). Tal ação foi verificada por Sikora et al. (1995) ao observarem que, o tratamento testemunha (sem plantas) foi tão eficiente na redução da DQO quanto os tratamentos com plantas.

A relação DQO/DBO na saída foi da ordem de 8,6 na ZR1, 5,8 na ZR2 e 6,1 na ZR3. Relações altas indicam presença de frações não biodegradáveis elevadas. A relação DQO/DBO tende a aumentar à medida que o esgoto passa pelas unidades de tratamento, uma vez que fração biodegradável é reduzida após passar por estas

unidades, ao contrário da fração inerte que permanece predominantemente inalterada. Assim, o efluente final do tratamento biológico apresenta valores da relação DQO/DBO usualmente superiores a 3,0 (ALMEIDA, 2005).

Considerando a evapotranspiração das plantas, houve uma redução média percentual de Coliformes Termotolerantes de 99,5952% na ZR1, 99,6257% na ZR2 e 98,8948% na ZR3 (Tabela 7). A eficiência mínima da ZR1 na remoção de Coliformes Termotolerantes foi de 98,7968% aos 120 dias após início da aplicação do esgoto e máxima de 99,9901% aos 165 e 255 dias. Na ZR2 eficiência mínima foi de 97,1020% aos 45 dias após início da aplicação do esgoto e máxima de 99,9910% aos 165 e 255 dias. Já na ZR3 a eficiência mínima foi de 97,1462% aos 45 dias após início da aplicação do esgoto e máxima de 99,9911% aos 255 dias.

Houve diferença significativa entre ZR3 e os demais tratamentos na remoção de Coliformes Termotolerantes. Não houve diferença significativa entre os tratamentos ZR1 e ZR2 para este parâmetro. O valor médio geral de saída de Coliformes Termotolerantes foi de  $5,8 \times 10^3$  NMP  $100\text{mL}^{-1}$  na ZR1 e ZR2 e  $1,8 \times 10^4$  NMP  $100\text{mL}^{-1}$  na ZR3. A legislação brasileira não determina limite de Coliformes Termotolerantes para os efluentes de ETE, porém, a Resolução Conama nº 357 (CONAMA, 2005) determina que a contribuição do efluente não pode elevar a contagem de coliformes termotolerantes nos corpos receptores acima de 1.000 NMP  $100\text{mL}^{-1}$  e não deverá ser excedido um limite de 1.000 Coliformes Termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral, em corpos receptores de Classe 2, respectivos a região de Goiás. Entende-se assim, que o limite máximo de Coliformes Termotolerantes permitido ao efluente da ETE será determinado pela vazão do efluente, vazão do corpo receptor e a concentração de coliformes já existentes no corpo receptor (ALMEIDA, 2005).

A ZR2 e ZR1, preenchidas com substrato brita zero e areia, respectivamente obtiveram maior eficiência. Similar a encontrada por Almeida (2005, 2007), que utilizando o substrato areia num sistema vegetado com Lírio do Brejo (*Hedychium coronarium*) e TDH de 4,09 dias, obteve eficiência de 99,61%, nas condições climáticas de Goiânia.

Meira et al. (2001), obtiveram uma redução de 97% e 99,1% com um TDH de 5 e 10 dias, respectivamente, utilizando brita zero num sistema de fluxo sub-superficial vegetado com taboa (*Typha* spp) nas condições climáticas de Campina Grande, Paraíba. Na mesma região em um sistema com características similares e TDH de 10 dias, Costa et al. (2003), observaram uma redução de 99,96% de Coliformes Termotolerantes. Eficiências observadas pelos autores encontram-se superior a encontrada neste trabalho (98,8948%), mesmo com características e TDH similares.

Zanella (2008), observou na contagem de Coliformes Termotolerantes uma concentração de  $1,0 \times 10^3$  NMP  $100\text{mL}^{-1}$  num sistema de fluxo sub-superficial vegetado com papiro, preenchido com brita um e TDH de 1,5 dias, em Campinas, SP. Valor inferior ao encontrada no presente estudo que foi de  $1,8 \times 10^4$  NMP  $100\text{mL}^{-1}$ , considerando o TDH de 11,6 dias na zona de raízes preenchida com brita um.

Utilizando substratos sobrepostos na sequência brita três, brita um, areia e brita um em um sistema de fluxo sub-superficial vertical vegetado com taboa (*Typha* spp) e TDH de 4,6 dias, Martins (2009) obteve uma redução de coliformes termotolerantes de 83,2% nas condições climáticas de Goiânia. Num sistema com as mesmas características, utilizando como vegetação o caniço (*Phragmites australis*) alcançou uma eficiência de 96%. A autora sugeriu que adotasse um TDH maior para uma melhor redução de coliformes, fato ocorrido no presente trabalho, que de fato melhorou a eficiência na remoção de coliformes.

De acordo com Meira et al. (2001), o tempo de detenção hidráulica influência na remoção dos coliformes termotolerantes. A autora observou também que as plantas têm papel fundamental nessa redução. Para tal situação, Leopoldo e Conte (1996) pressupuseram que as macrófitas liberam enzimas que possam agir na eliminação destes microrganismos. Arias e Brix (2003) e Karathanasis, Potter e Coyne (2003) afirmam que algumas plantas liberam metabólitos finais com propriedade antibióticas.

Outra constatação foi observada por alguns autores. Os microrganismos patogênicos presentes nos esgotos são eliminados, também, por meio de significativo decaimento natural, das condições desfavoráveis a que são expostos nos leitos construídos, exposição a raios ultravioleta, adsorção, filtração pelo meio suporte, sedimentação e morte por predação e competição com outros microrganismos. Entretanto vale salientar que a eficiência na remoção de bactérias em alagados construídos é decorrente, também, da população influente. Sendo que a eficiência é alta quando a população influente também é alta, mas apresenta eficiências negativas

quando a população influente é inferior que as taxas de produção no local (MANSOR, 1998; VYMAZAL et al., 1998; CUNHA, 2006).

Salaro Junior (2008) observou um aumento de E.Coli num sistema vegetado com Junco utilizando como substrato pedregulho e TDH de 8,8 horas. O autor supõe que o aumento se deu por que o sistema proporcionou condições ideais para a proliferação destes microorganismos através do fornecimento de matéria orgânica e temperatura. Percebe-se também que o TDH baixo favoreceu para tal aumento.

## CONCLUSÕES

- O sistema de tratamento do tipo zona de raízes de fluxo sub-superficial horizontal, precedido de tanque séptico e filtro anaeróbio mostrou-se eficiente no tratamento de esgoto sanitário gerado na unidade universitária EEC-UFG com os três substratos de diferentes granulometrias.
- Não houve diferença significativa entre as eficiências dos tratamentos na remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO).
- O tratamento ZR1 (substrato areia) foi mais eficiente nos parâmetros: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos; Demanda Química de Oxigênio (DQO), não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos;
- O tratamento ZR2 (substrato brita zero) foi mais eficiente nos parâmetros: coliformes termotolerantes, não diferindo estatisticamente do ZR1 (substrato areia) e diferindo estatisticamente do ZR3 (substrato brita um);
- Os três substratos avaliados atendem as legislações vigentes para lançamentos de esgotos. Os valores médios de saída dos atributos atendem pelo menos uma das legislações vigentes para lançamentos de efluentes em corpos receptores de Classe 2, qual seja Resolução CONAMA n° 357 (CONAMA, 2005) e/ou Decreto Goiano n° 1.745 de 1979 (GOIÁS, 1979), exceto o Nitrogênio Amoniacal.
- As diferenças das eficiências percentuais dos três substratos utilizados são próximas. Essa conclusão possibilita a utilização de um substrato como brita zero ou brita um que colmatará a longo prazo com eficiência similar ao substrato areia que colmata precocemente.
- O sistema pode ser considerado como sistema de tratamento terciário por remover poluentes específicos como: nutrientes e coliformes temotolerantes que não são suficientemente removidos no tratamento secundário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-7181: solo – análise granulométrica: método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1984.
2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-7229: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos: procedimento**. Rio de Janeiro, 1993.
3. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-6502: rochas e solos: terminologia**. Rio de Janeiro, 1995.
4. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-13.969: tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projetos, construção e operação: procedimento**. Rio de Janeiro, 1997.
5. AKRATOS, C. S.; TSIHRINTZIS, V. A. **Effect of temperature, HRT, vegetation and porous media on removal efficiency of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands**. Ecological Engineering, v. 29, p. 173-191, 2007.
6. ALMEIDA, R. A. **Substratos e plantas no tratamento de esgoto por zona de raízes**. Goiânia, GO: Universidade Federal de Goiás, 2005. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Universidade Federal de Goiás - UFG, 2005. 108 p.
7. ALMEIDA, R. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMANN, H. J. **Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 1-9, 2007.

8. APHA; AWWA; WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19ª edição, Washington D. C./USA, American Public Health Association, 1995.
9. ARIAS, C. A.; BRIX, H. **Humedales artificiales para el tratamiento de águas residuales**. Revista Ciência e Ingeniería Neogranadina, v.13, p. 17-24, 2003.
10. ÁVILA, R. O. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte**. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, programa de pós-graduação de engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. 166 p.
11. BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília, DF, 1992. 84 p.
12. BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3. ed. rev. Brasília, DF, 2006. 408 p.
13. BRIX, H. **Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes, and treatment performance**. In: MOSHIRI, G.A. (Ed.) *Constructed wetlands for water quality improvement*. Boca Raton: CRC Press, p. 9-23, 1993.
14. CHERNICHARO, Carlos A. L. **Reatores Anaeróbios**. Vol. 5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997. 246 p.
15. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). **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**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, ano 142, n. 53, Seção 1, p. 58-63, 18 mar. 2005.
16. COSTA, L. L.; CEBALLOS, B. S. O.; MEIRA, C. M. B. S.; CAVALCANTI, M. L. F. **Eficiência de Wetlands construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colifagos e bacteriófagos**. Revista de biologia e ciências da terra, v. 3, n. 1, 2003.
17. CUNHA, C. A. G. **Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas**. São Carlos, SP: 2006. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo – USP, 2006. 157 p.
18. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p.
19. FERNANDES, C. **Esgotos Sanitários**. João Pessoa: UFPB/ Editora Universitária, 1997. 434p.
20. FONSECA, S. P. P. **Tratamento de esgoto por disposição no solo**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), 2005. 40 p.
21. GOIÁS. **Decreto nº 1.745, de 06 de dezembro de 1979. Aprova o regulamento da lei nº 8.544, de 17 de outubro de 1978, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente**. Goiânia, GO, 06 dez, 1979. Disponível em: <<http://www.agenciaambiental.go.gov.br/legislacao>>. Acesso em: 11 fev. 2011.
22. IDE, C. N.; OLIVEIRA, K. R. F.; BEZERRA, L. P. **Sistema de Esgotamento Sanitário – Coleta de amostras de água e esgoto: Guia do profissional em treinamento - Recesa** <[http://vsites.unb.br/ft/enc/recursos\\_hidricos/NURECO/arq/CAEA/CAEA\\_v2.pdf](http://vsites.unb.br/ft/enc/recursos_hidricos/NURECO/arq/CAEA/CAEA_v2.pdf)> Acesso em: 27 abril 2010.
23. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005. 932 p.
24. LEOPOLDO, P. R.; CONTE, M. L. **Processo fito-pedológico aplicado no tratamento de efluentes doméstico**. In: XXVII CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, AIDIS, 1996, Cidade do México, Anais... Cidade do México: AIDIS, v. 1, p. 1-8, 1996.
25. KARATHANASIS, A. D.; POTTER, C. L.; COYNE, M. S. **Vegetation effects on fecal bacteria, BOD, and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater**. Ecological Engineering. V. 20, p. 157-169, 2003
26. MADERA, C. A.; SILVA, J. P.; PEÑA, M. R. **Sistemas combinados de tratamento de águas residuais basados em tanque séptico-filtro anaeróbio-humedales: una alternativa sostenible en pequeñas comunidades de países tropicales**. Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de águas residuales, Universidade Del Valle. Disponível em: <<http://www.ingenieroambiental.com/4014/humed.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2011.
27. MANSOR, M. T. C. **Uso de leito de macrófitas no tratamento de águas residuárias**. Campinas, SP: 1998. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, 1998. 106 p.
28. MARTINS, L. L. **Eficiência de espécies vegetais no tratamento de esgoto sanitário por zona de raízes**. Goiânia, GO: 2009. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Escola de Engenharia Civil – Universidade Federal de Goiás, 2009. 138 p.
29. MEIRA, C.; CEBALLOS, B. S. O.; SOUZA, J. T.; KONIG, A. **Wetlands vegetados no polimento de águas superficiais poluídas: primeiros resultados**. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE



- ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2001, João Pessoa. Anais... Rio de Janeiro: ABES, p. 1-6, 2001.
30. METCALF; EDDY. **Tratamiento y depuración de las aguas residuales**. Ed. Labor, Barcelona, 1981.
31. PARESCI, D. C. **Caracterização da fauna de rotífera em área alagada construída para tratamento de esgoto doméstico – Piracicaba (SP)**. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2004. 168 p.
32. PHILIPPI, L.S.; SEZERINO, P.H. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. Florianópolis, Ed. do autor, 2004. 144 p.
33. PRESZNHUK, R. A. O.; KAICK, T. S. V.; CASAGRANDE JUNIOR, E. F.; UMEZAWA, H. A. **Tecnologia apropriada e saneamento: análise de eficiência de estações de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes**. In: SEMANA DE TECNOLOGIA: TECNOLOGIA PARA QUEM E PARA QUÊ? Um Olhar Interdisciplinar, 2003, Curitiba. Anais... Curitiba: Cefet-PR, p. 336-340, 2003.
34. SALARO JUNIOR, R. **Avaliação da eficiência de sistema fito-pedológico (wetlands) na depuração de efluentes domésticos gerado em pequena comunidade**. Botucatu, SP: 2008. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, 2008. 137 p.
35. SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; ALVARENGA, R. A. F.; VALENTE, V. B.; PHILIPPI, L. S. **Filtro plantado com typha spp de fluxo horizontal (constructed wetland) aplicado como polimento de efluente de lagoa facultativa**. 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2005, Campo Grande, MS. Anais... Campo Grande: ABES, II-348, CD-ROM, 2005.
36. SEZERINO, P. H.; **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. Florianópolis, SC: 2006. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. 171 p.
37. SIEVERS, D. M. **Design of submerged flow wetlands for individual homes and small wastewater flows**. Columbia: University of Missouri. (Special Report, 457), 1993. 11 p.
38. SIKORA, F. J. *et al.* Ammonium removal in constructed wetlands with recirculating subsurface flow: removal rates and mechanisms. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 32, n. 3, p. 193-202, 1995.
39. 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.
40. SOUZA, J. T., VAN HAANDEL, A., LIMA, E. P. C.; HENRIQUE, I. N. **Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator uasb**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9, n. 4, p. 285-290, out-dez, 2004.
41. SPERLING, M. V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, v. 1, 1996a. 243 p.
42. SPERLING M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais; 2005. 452 p.
43. STOWELL, R.; TCHOBANOGLOUS, G.; COLT, J.; KNIGHT, A. **Concepts in aquatic system design**. Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, 107, P 919-940, 1981
44. TONIATO, J. V. **Avaliação de um wetlands construído no tratamento de efluentes sépticos – Estudo de caso Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil**. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Escola Nacional de Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz, 2005. 95 p.
45. VYMAZAL, J. **Types of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**. Proceedings: 6th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, CEA/UNESP e IAWQ, Águas de São Pedro/SP, 27 set. a 02 de out, V. 1, p. 150-166, 1998.
46. ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: Wetlands construído utilizando brita e bambu como suporte**. Campinas, SP: 2008. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, 2008. 189 p.