



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**DESENVOLVIMENTO DE MACRÓFITAS EM LEITOS NO
TRATAMENTO DO EFLUENTE SANITÁRIO**

KAROLLINE DE PAULA SILVA GOMES

Brasília

Julho de 2017

KAROLLINE DE PAULA SILVA GOMES

**DESENVOLVIMENTO DE MACRÓFITAS EM LEITOS NO
TRATAMENTO DO EFLUENTE SANITÁRIO**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Delvio Sandri

Brasília

Julho de 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Gomes, Karolline de Paula Silva

Desenvolvimento de macrófitas em leitos no tratamento do efluente sanitário / Karolline de Paula Silva Gomes. Orientador: Delvio Sandri, Brasília, 2017. Monografia – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2017, 37 p.: il.

1. Esgoto. 2. Água residuária. 3. Leitos cultivado. 4. Macrófitas.

I. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária / Universidade de Brasília. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GOMES, K. P. S. **Desenvolvimento de macrófitas em leitos no tratamento do efluente sanitário.** 2017. 37 p. Monografia - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Karolline de Paula Silva Gomes

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO: Desenvolvimento de macrófitas em leitos no tratamento do efluente sanitário

GRAU: 3º ANO: 2017

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Gomes, Karolline de Paula Silva

Email: karolgomes.unb@gmail.com

KAROLLINE DE PAULA SILVA GOMES

**DESENVOLVIMENTO DE MACRÓFITAS EM LEITOS NO TRATAMENTO DO
EFLUENTE SANITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovado em 06 de julho de 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Delvio Sandri
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília
Orientador

Prof. Dr. Cícero Lopes da Silva
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília
Examinador

Mes. Jazmín de la Cruz Magaña
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília
Examinadora

A minha família e amigos, pelo apoio, estímulo e compressão
Em memória do meu grande amigo Henrique Bittencourt, o qual tive o prazer
de conhecer, conviver e sempre lembro com saudades.

Dedico...

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me guiar para o caminho certo, pelas pessoas maravilhosas que ele colocou no meu caminho durante essa jornada e oportunidades que fizeram a diferença em minha vida.

Aos meus pais Ângela Maria da Silva e Enoc Marra, pelos exemplos de força e determinação que sempre me inspiram e apoiaram para que eu nunca desistisse dos meus sonhos.

As minhas irmãs Kássia Christie da Silva Lima e Geovana Silva Marra, por toda amizade, carinho, conselho.

Ao Professor Delvio Sandri, por todo tempo de orientação, pelos ensinamentos, pela paciência, compreensão e apoio.

Aos meus grandes amigos Juliana Cristina, Gabriel Quaresma, Livia Ananias e Andréa Oliveira com quem dividi alegrias, tristezas, angustias e aventuras durante esses cinco anos, pela amizade, companheirismo e paciência.

Ao meu irmão Thiago, minhas tias Maria José e Zilá por todo apoio, carinho e por terem me acolhido quando precisei.

Ao Octacílio Moraes, por ser essa pessoa incrível, carinhosa e paciente, que está sempre está ao meu lado me apoiando em todos os momentos.

A Universidade de Brasília, por ser um lugar único, onde amadureci e fiz grandes amigos que levarei para a vida toda, por todo auxílio financeiro que recebi durante a graduação.

A todos os professores pelos ensinamentos, que contribuíram tanto para o meu crescimento profissional como pessoal. Em especial aos professores José Ricardo Peixoto, Nara Oliveira, Marina Frizzas e Ana Maria Resende Junqueira pelas oportunidades que me proporcionaram.

Aos funcionários da FAL por todo o auxílio durante o desenvolvimento dos experimentos, em particular ao senhor Zé Vieira, Queen, e o senhor Miro.

A todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho e da minha graduação.

Agradeço

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 CARACTERIZAÇÕES DOS ESGOTOS DOMÉSTICOS.....	2
2.2 FORMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	3
2.3 TRATAMENTOS CONVENCIONAIS.....	4
2.3.1 Lagoas de Estabilização.....	4
2.3.2 Sistema de Lodos Ativados	6
2.3.3 Filtro Biológico	7
2.3.4 Tanques Sépticos	7
2.4 TRATAMENTOS NATURAIS	8
2.4.1 Sistema de Zona de Raízes	9
2.5 MACRÓFITAS.....	10
2.5.1 Taboa (<i>Typha ssp</i>)	11
2.5.2 Papiro Brasileiro (<i>Cyperus giganteus</i>)	11
2.5.3 Lírio do Brejo (<i>Hedychium coronarium Koehne</i>)	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO E ORIGEM DO ESGOTO	13
3.2 DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DO EFLUENTE.....	13
3.2.1 Condução do Esgoto e Descrição Geral da ETE/FAL/UnB.....	13
3.2.2 Tanques Sépticos em Série.....	16
3.2.3 Caixa de Passagem	17
3.2.4 Sistema de Zona de Raízes ou Leitos Cultivados.....	17
3.3 MANEJO DAS MACRÓFITAS NOS LEITOS DE CULTIVO	19
3.3.1 Desenvolvimento das Plantas	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5 CONCLUSÕES	30
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Planta baixa da estação de tratamento de esgoto (ETE/FAL/UnB).....	15
FIGURA 2. Vista dos três tanques sépticos (TS1, TS2 e TS3) e indicação do sentido de escoamento do esgoto.....	16
FIGURA 3. Caixa de passagem para os leitos cultivados e vertedouros triangular no interior da caixa de passagem.....	17
FIGURA 4. Vista interna dos leitos antes do preenchimento com brita com detalhe do sistema do controle do nível (cavalete) de efluente no interior dos leitos.....	18
FIGURA 5. Vista do leito cultivado com taboa (Leito 1), papiro-brasileiro (Leito 2), lírio do brejo (Leito 3) após o plantio e leito sem plantas (Leito 4), no transplântio.....	19
FIGURA 6. Leitos de cultivos após 6 meses do tansplântio, janeiro/2016.....	19
FIGURA 7. Esquema representativo dos leitos dividido em quatro blocos.....	20
FIGURA 8. Massa fresca e massa seca do papiro brasileiro por blocos para pesagem.....	22
FIGURA 9. Número de plantas ou perfilhamento da macrófita Lírio do brejo, Papiro brasileiro e Taboa, para diferentes datas de medida.....	24
FIGURA 10. Altura das plantas da macrófita Lírio do brejo, Papiro brasileiro e Taboa, para diferentes datas de medida.....	26
FIGURA 11. Diâmetro do caule da macrófita lírio do brejo, Papiro brasileiro e taboa, para diferentes datas de medida.....	29

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Perfilhamento ou número de plantas para cada espécie de macrófita Lírio do brejo, Papiro brasileiro e Taboa.....	23
TABELA 2. Altura das plantas para cada espécie de macrófita Lírio do brejo, Papiro brasileiro e taboa.....	25
TABELA 3. Diâmetro do caule das plantas para cada espécie de macrófita Lírio do brejo, Papiro brasileiro e taboa.	27
TABELA 4. Porcentual de variação (Var %) entre o peso fresco e peso seco das macrófitas lírio do brejo, papiro brasileiro e taboa.....	29

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento de três espécies de macrófitas em sistema de zona de raízes no tratamento de esgoto doméstico. O experimento foi realizado na Fazenda Água Limpa – FAL da Universidade de Brasília – UnB, no período de outubro de 2015 a julho de 2016. A estação de tratamento de esgoto é composta por três tanques sépticos constituídos de Policloreto de Vinila (PVC) e quatro leitos cultivados em série, sendo três deles cultivados respectivamente com as macrófitas Taboa (*Typha spp*), Papiro brasileiro (*Cyperus giganteus*) e Lírio do brejo (*Hedychium coronarium Koehne*). Para facilitar as avaliações cada leito de cultivo foi dividido em 4 blocos com 24 plantas (4 fileiras com 6 plantas), totalizando 96 plantas avaliadas. As avaliações foram realizadas em intervalos de 15 em 15 dias, onde avaliou-se, altura das plantas, diâmetros do caule, perfilhamento, peso fresco e peso seco de cada uma das macrófitas. As espécies Lírio do brejo, papiro brasileiro e taboa apresentaram desenvolvimento menor na entrada do sistema de zona de raízes sendo progressivo em direção à saída dos mesmos. O papiro brasileiro e a taboa apresentam melhor desenvolvimento, adaptação e uniformidade dentro no sistema de zona de raízes para as variáveis perfilhamento, altura da planta, diâmetro do caule e peso fresco e seco. O lírio do brejo não se adaptou ao efluente de esgoto da FAL/UnB, com desempenho satisfatório somente no quarto final do sistema de zona de raízes.

PALAVRAS-CHAVE: esgoto doméstico, águas residuárias, zona de raízes, macrófitas.

ABSTRACT

The present work had as objective to evaluate the development of three species of macrophytes in a root zone system in the treatment of domestic sewage. The experiment was carried out at the Água Limpa - FAL farm of the University of Brasília - UnB, from October 2015 to July 2016. The sewage treatment plant is composed of three septic tanks made of Polyvinyl chloride (PVC) and four Cultivated beds, three of them cultivated respectively with the macrophytes Taboa (*Typha* spp), Brazilian papyrus (*Cyperus giganteus*) and Lily of the marsh (*Hedychium coronarium* Koehne). To facilitate the evaluations, each cultivar bed was divided into 4 blocks with 24 plants (4 rows with 6 plants), totaling 96 evaluated plants. The evaluations were carried out at intervals of 15 in 15 days, where it was evaluated, plant height, stem diameters, tillering, fresh weight and dry weight of each of the macrophytes. The macrophyte species Brush lily, giant papyrus and taboa presented minor development at the entrance of the root zone system being progressive toward the exit of the same. The Brazilian papyrus and taboa present better development, adaptation and uniformity within the root zone system for the variables tillering, plant height, stem diameter and fresh and dry weight. The marsh lily did not adapt to the FAL / UnB sewage effluent, with satisfactory performance only in the final quarter of the root zone system.

KEYWORDS: domestic sewage, wastewater, root zone, macrophytes.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial à vida, seja como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies, como elemento representativo de valores sociais e culturais, além de ser fundamental no desenvolvimento de várias atividades econômicas. Deste modo sua presença no ambiente em quantidade e qualidade adequadas para utilização é imprescindível (ESTEVES, 1998; BRAGA et al., 2002; REBOUÇAS, 2002).

No entanto, tem se tornado um recurso cada vez mais escasso, seja pelo aumento da demanda, com o crescimento populacional, ou pela redução da oferta, com poluição dos mananciais, através do lançamento de esgoto doméstico não tratado em galerias pluviais (BERNARDI, 2003). Neste sentido, torna-se essencial o tratamento adequado e a reutilização do esgoto gerado nos diversos setores da economia.

Segundo van der Hoek et al. (2002), existem diversos benefícios no aproveitamento da água residuária, dentre eles pode-se destacar: a conservação da água disponível, o aporte e a reciclagem de nutrientes (reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos) e contribuir para a preservação do meio ambiente.

Dentre os sistemas de tratamento de água residuária, principalmente para pequenos e médios volumes de esgoto gerado obtidos com poucos recursos financeiros, o tanque séptico é um dos métodos mais disseminados (PHILIPPI et al., 1998). Ele é empregado para remover os sólidos sedimentáveis e parte dos sólidos suspensos, a Demanda Química de oxigênio (DQO) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) presentes no esgoto doméstico bruto (OTIS, 1991; PHILIP et al., 1993).

Contudo, a eficiência do tanque séptico na remoção de matéria orgânica é limitada, havendo a necessidade de um pós-tratamento para atingir um nível de remoção admissível deste parâmetro (LTVATER et al., 2009; COLARES e SANDRI, 2013). Desde modo, como alternativa de pós-tratamento aos tanques sépticos, pode-se fazer o uso de leitos cultivados ou wetlands com macrofitas. Neste método a remoção de poluentes acontece por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos que compreendem processos de sedimentação, filtração, absorção, precipitação e adsorção química, interações microbianas, extração de sais pelas plantas, volatilização e complexação (CHAGAS et al., 2011).

A escolha das espécies a serem implantadas nos leitos cultivados é fundamental, devendo-se levar em conta fatores relacionados à capacidade de extração de nutrientes, tolerância em ambientes saturados de água (ou esgoto), seu potencial de crescimento, rusticidade e poder de dominação (capacidade de se sobressair em relação a outras plantas), além da presença dessas plantas nas áreas onde o sistema será implantado, pois, assim, as macrófitas estarão adaptadas às condições climáticas da área em questão, bem como o custo para o plantio e manutenção (IWA, 2000).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento de três espécies de macrófitas (Taboa (*Typha spp*), Papiro brasileiro (*Cyperus giganteus*) e Lírio do brejo (*Hedychium coronarium Koehne*)) cultivadas em sistema de zona de raízes no tratamento de esgoto doméstico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERIZAÇÕES DOS ESGOTOS DOMÉSTICOS

O termo esgoto é usualmente empregado para caracterizar as descargas provenientes das diversas modalidades do uso e origem das águas, como as de uso doméstico, comercial, industrial, as de utilidade públicas, de áreas agrícolas, de superfície de infiltração, pluviais, e outros efluentes sanitários (JORDÃO E PESSÔA, 2011).

O esgoto sanitário, é originário de usos domésticos, comerciais e institucionais, como como higiene corporal, descarga sanitária, preparo de alimentos, lavagem de roupas e utensílios, dentre outros. Cerca de 99,9% do esgoto é constituído por água e os outros 0,1%, responsáveis pela necessidade do seu tratamento, são sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, nutrientes e microrganismos. (JORDÃO & PESSOA, 2009; VON SPERLING, 2005).

Desta maneira, os parâmetros que merecem destaque na caracterização do esgoto, para a avaliação da eficiência do tratamento, são: sólidos, indicadores de matéria orgânica, nutrientes e indicadores de contaminação fecal (ReCESA 2, 2008).

Os sólidos podem ser classificados quanto à forma e tamanho em suspensos totais (SST) e dissolvidos totais (SDT). A matéria sólida dissolvida é aquela fração que quando filtrada através de uma membrana filtrante apropriada passa pelo filtro, estando presente em solução ou sob a forma coloidal e a fração que fica retida compõe a matéria sólida em suspensão. Quanto à classificação química, eles podem ser orgânicos, quando se volatilizam em temperatura aproximadamente igual a 500 °C ou inorgânicos quando, permanecem fixos neste mesmo ambiente (OLIVEIRA, 2014).

Quanto aos parâmetros representativos de matéria orgânica, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a demanda química de oxigênio (DQO) são os importantes, ambos

determinam o consumo de oxigênio para decomposição da matéria orgânica. Normalmente a DBO de esgotos domésticos varia entre 100 e 400 mg L⁻¹ e a DQO entre 200 e 800 mg L⁻¹. De acordo com METCALF e EDDY (1991).

O nitrogênio e o fósforo são elementos de grande relevância em termos do controle da poluição das águas, uma vez que, estes favorecem o crescimento de algas que podem causar a eutrofização de corpos d'água, além de ser indispensável para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgoto (ReCESA 2, 2008). Entre os diversos microrganismos encontrados nos rios e esgotos as bactérias são as mais importantes, pois são responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica (JORDÃO e PESSOA, 2009).

2.2 FORMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

O tratamento do esgoto tem como finalidade retirar poluentes que possam causar prejuízos ao ambiente aquático como a redução da quantidade de oxigênio dissolvido nesse ambiente (MESS, 2006).

Os princípios empregados no tratamento do esgoto baseiam-se em parâmetros normatizados que se alteram conforme com o volume a ser tratado, com a finalidade, com nível de processamento, com as qualidades originais e pretendidas, e com local de lançamento ou reaproveitamento do efluente sanitário.

No Brasil, a padronização do uso e conservação da qualidade de água, são previstos por meio da Resolução CONAMA nº 357/05 de 17 de março de 2005, que dispõe em seu Art. 24, que efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente nos corpos d'água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências nela dispostos (BRASIL, 2005).

Desta maneira, após a coleta e o transporte, o esgoto sanitário deve ser encaminhado as estações de tratamento, onde se objetiva que o mesmo adquira características que permitam o seu lançamento em corpos hídricos, atendendo aos padrões de lançamento de efluente, vigentes nas legislações. Segundo Chernicharo et al. (2006), os métodos de tratamento de águas residuárias pode ser dividido em quatro níveis de acordo com o grau de remoção de poluentes ao qual se deseja atingir:

-Tratamento Preliminar: de partículas sólidos grosseiros (maiores que 0,25 mm) em suspensão nos efluentes domésticos, por meio de mecanismos físicos como o peneiramento e a sedimentação.

-Tratamento Primário: É destinado a redução de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes, por meio de mecanismos físicos ou de equipamentos com precipitantes químicos, como sedimentação e/ou flotação.

-Tratamento Secundário: destina-se à redução da matéria orgânica dissolvida ou em suspensão através de processos biológicos, por meio de reações bioquímicas realizadas por microrganismos.

-Tratamento Terciário: destina-se à remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário, como nutrientes, patogênicos, sólidos inorgânicos dissolvidos e em suspensão, e de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) por processos físico-químicos. São processos como coagulação, floculação, decantação, filtração, adsorção por carvão, calagem, osmose reversa e desinfecção (MANCUSO E SANTOS, 2003).

2.3 TRATAMENTOS CONVENCIONAIS

2.3.1 Lagoas de Estabilização

As lagoas de estabilização são sistemas de tratamento que oferecem condições físicas químicas e biológicas ao fenômeno de autodepuração, onde o corpo hídrico reestabelece o equilíbrio por meio da estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas (JORDÃO E PESSÔA, 2011).

Uma das principais características dessas lagoas é a grande área exposta à radiação solar favorecendo a produção de fitoplâncton e a eficiência na remoção de patógenos e nutrientes, tornando possível que os efluentes das lagoas de estabilização sejam utilizados para diversas finalidades (CAMINHA, 2014).

Segundo Gonçalves (2013), as lagoas de estabilização são consideradas uma das técnicas mais difundidas de tratamento de esgotos, isso se deve principalmente a simplicidade na operação, a necessidade de poucos ou nenhum equipamento, e ao baixo custo de implantação e operação. São classificadas conforme com a atividade metabólica predominante na

degradação da matéria orgânica como: anaeróbias, facultativas e de maturação ou aeróbias (VON SPERLING, 2005).

2.3.1.1 Lagoas Anaeróbias

São reatores biológicos projetados para receber altas cargas de matéria orgânica por unidade de volume do reator, fazendo com que a taxa de consumo de oxigênio seja superior à taxa de produção, resultando em condições estritamente anaeróbias. Nesses reatores, segundo Oleszkiewicz e Koziarski (1986), a maior parte da matéria orgânica é destruída por via metanogênica e sulfidogênica.

O tratamento anaeróbio abarca três estágios, o primeiro deles é a hidrólise de materiais complexos, onde o material orgânico complexo é transformado em matéria orgânica simples solúvel via hidrólise e enzimática; no segundo ocorre a produção de ácidos, que são formados pelas bactérias anaeróbias e facultativas, convertendo os compostos orgânicos solúveis em ácidos orgânicos pelas bactérias anaeróbias; e no terceiro ocorre a fermentação metanogênica, onde os ácidos orgânicos simples são transformados em metano e dióxido de carbono através de bactérias anaeróbias produtoras do metano (MERKEL, 1981).

2.3.1.2 Lagoas Facultativas

São reatores dimensionados para receber esgoto bruto e esgoto submetido algum tratamento prévio. Entretanto, a sobrecarga neste sistema pode alterar a coloração da água do verde para o vermelho, devido à proliferação das bactérias de enxofre (MARA e PEARSON, 1986). O termo facultativo é empregado, pois a estabilização da matéria orgânica se processa tanto em condições aeróbias próximo à superfície superior, quanto em condições anaeróbias próximo ao fundo da lagoa, onde a matéria orgânica em suspensão é sedimentada.

O funcionamento das lagoas facultativas se dá através da atividade fotossintética de algas sob a influência da luz solar e da ação das bactérias. A proliferação de algas se deve a presença dos nutrientes provenientes da mineralização da matéria orgânica pelas bactérias (SOUSA, 1994). As bactérias, na presença de oxigênio, convertem a matéria orgânica a compostos simples e inertes como o dióxido de carbono e água, além de sais de nitrogênio e fósforo, aproveitados pelas algas na fotossíntese, liberando oxigênio molecular. Este, por sua

vez, é utilizado pelas bactérias aeróbias e facultativas na sintetização da matéria orgânica.

2.3.1.3 Lagoas de Maturação ou Aeróbias

São usadas no tratamento de descargas orgânicas leves oriundas de outras lagoas, devido à baixa eficiência na remoção de DBO e DQO (SOUSA, 1987). A finalidade principal dessas lagoas é a destruição de microrganismos patogênicos, além da redução de nutrientes e sólidos em suspensão (MARA e PEARSON, 1986). Estas lagoas constituem uma das alternativas mais econômicas à desinfecção dos efluentes por métodos convencionais, como a cloração (VON SPERLING, 2005).

O tratamento de águas residuárias nas lagoas e maturação é realizado em unidades rasas e para manutenção das condições aeróbias. Segundo Pearson et al (1995), com a redução da profundidade da lagoa também se reduz o tempo de retenção. Ademais múltiplos fatores contribuem para a mortalidade dos agentes patogênicos como: temperatura, insolação, pH, escassez de alimento, organismos predadores, competição e compostos tóxicos.

2.3.2 Sistema de Lodos Ativados

O sistema de lodos ativados é um processo biológico que ocorre por meio da agitação e aeração do esgoto efluente no reator de aeração para a separação do lodo ativado do esgoto por sedimentação em decantadores. No reator aerado ocorrem reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica em alguns casos de nitrogênio e fósforo.

No decantador acontece a sedimentação dos sólidos (biomassa), permitindo que o efluente final saia tratado. Parte dos sólidos sedimentados no fundo do decantador é recirculado para o reator, para se manter uma desejada concentração de biomassa no mesmo, a qual é responsável pela elevada eficiência do sistema (CHERNICHARO et al., 2001). Outra parcela do lodo, em menor quantidade, é retirada para tratamento específico ou destino final, o chamado lodo em excesso.

Este sistema é amplamente difundido, isso se deve principalmente à elevada qualidade do efluente e por ocupar uma área pequena. No entanto, o sistema de lodo ativado inclui um índice de mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento, implicando em operação

mais sofisticada e onerosa. Outros fatores que se apresentam como desvantagens quanto ao uso do lodo ativado são o consumo de energia elétrica para aeração e a maior produção de lodo (CHERNICHARO et al., 2001).

2.3.3 Filtro Biológico

Os filtros biológicos são simples e de baixo custo operacional (CHERNICHARO et al., 2001). Apesar do que sugere o nome, a função dos filtros biológicos não é filtrar, mais de fornecer suporte para os microrganismos que formam uma película sobre o material. Esses microrganismos degradam a matéria orgânica do efluente sanitário que são submetidos ao filtro. Somente no caso dos biofiltros aerados submersos, que utilizam meio suporte granular com diâmetros da ordem de milímetros, acontece a filtração propriamente dita.

Constituem sistemas aeróbios onde o ar, de maneira natural ou forçada, circula nos espaços vazios entre o meio suporte, fornecendo o oxigênio para a respiração dos microrganismos. O material utilizado como meio suporte depende sobretudo da disponibilidade local de material adequado e de seus custos de transporte e montagem. Em geral os usados são pedregulhos, cascalhos, escórias de fornos de fundição e outros materiais inertes (JORDÃO E PESSOA, 2011). No entanto, atualmente, têm se dado preferência aos meios de suporte sintéticos, como o plástico (PVC), pois apresentam a são mais leves e possuem área superficial de exposição bem superior aos meios de suporte tradicionais.

Os filtros biológicos possuem variantes de acordo com a carga a ser aplicada e o tipo de recirculação a ser adotada. Dentre estas variantes, a NBR 12.209 cita: filtro biológico percolador, filtro aerado submerso, biofiltro aerado submerso e biodisco ou rotor biológico de contato e suas variantes. De acordo com Von Speling (2005), todos estes sistemas podem ser usados como pós tratamento de efluente de reatores anaeróbios.

2.3.4 Tanques Sépticos

Os tanques sépticos são dispositivos de tratamento amplamente difundidos, considerados a primeira opção de sistema de tratamento de efluente doméstico para áreas desprovidas de sistema de captação e com poucos recursos financeiros. (PHILIPPI et al, 1998). O tratamento no interior do dispositivo é realizado por meio de mecanismos físicos e biológicos,

cuja a finalidade básica é a remoção de matéria orgânica através de processos como a sedimentação, a digestão anaeróbia da matéria orgânica e adensamento do lodo (ALTVATER, 2008). As etapas de funcionamento dos tanques sépticos podem ser descritas da seguinte forma (CHERNICHARO, 1997):

- Os sólidos sedimentáveis presentes no esgoto se deslocam para o fundo do tanque, passando a constituir uma camada de lodo;

- Os óleos, graxas e outros materiais mais leves presentes no esgoto afluyente flutuam até a superfície do tanque, formando uma camada de espuma;

- O esgoto, livre dos materiais sedimentáveis e flutuantes, flui entre as camadas de lodo e espuma, deixando o tanque séptico em sua extremidade oposta, de onde é encaminhado a uma unidade de pós-tratamento ou disposição final;

- O material orgânico retido no fundo do tanque sofre uma decomposição facultativa e anaeróbia, sendo convertido em compostos mais estáveis como CO₂, CH₄ e H₂S. Embora o Sulfeto de hidrogênio seja produzido nos tanques sépticos, problemas de odor não são usualmente observados, uma vez que este se combina com metais acumulados no lodo, vindo a formar sulfetos metálicos insolúveis.

A eficiência do tanque séptico é moderada no que se refere à remoção da matéria orgânica e fraca na remoção de microrganismos patogênicos, porém na remoção de sólidos suspensos atinge boa eficiência (ALTVATER et al., 2009).

2.4 TRATAMENTOS NATURAIS

Diversos pesquisadores e projetistas vem empregando o termo “sistemas naturais” para designar processos de tratamento de águas residuárias, considerados como “não convencionais” que incluem como componentes fundamentais a força gravitacional, microrganismos, plantas e também algumas espécies animais. Podendo conter bombas e tubulações, porém sem que haja dependência exclusiva de fontes externas de energia para a realização do tratamento (REED et al., 1995).

Os sistemas de tratamento naturais são projetados para maximizar os processos físicos, químicos e biológicos que acontecem quando a água, o solo, as plantas, os microrganismos e a atmosfera interagem gerando o tratamento do esgoto por meio de processos encontrados nos sistemas convencionais como: sedimentação, filtração, transferência de gás, adsorção, troca

iônica, precipitação química, oxidação química e redução; conversão biológica e degradação, e os processos naturais como a fotossíntese, a fotoxidação e o consumo pelas plantas. Ademais, os processos ocorrem em “taxas naturais” e tendem a ocorrer concomitantemente em um reator único, diferentemente dos sistemas convencionais onde os processos ocorrem em reatores separados e com taxas aceleradas. (METCALFY & EDDY, 1991).

A aplicação da água residuária no solo através da infiltração, irrigação e outras variações, “wetlands” naturais ou construídas e a aquacultura com produção de biomassa vegetal ou animal são exemplos de sistemas de tratamento naturais (METCALFY & EDDY, 1991).

2.4.1 Sistema de Zona de Raízes

Os Sistemas de Zona de Raízes (SZR) ou Leitos Cultivados (LC) são sistemas desenvolvidos pelo homem que tentam imitar os processos ecológico encontrados em várzeas e brejos. Constituem um sistema natural de tratamento de efluentes líquidos baseado nos processos físicos, químicos e biológicos encontrados nos ecossistemas das várzeas naturais. Estes sistemas funcionam como um filtro biológico, onde microrganismos aeróbios e anaeróbios atuam em associação com plantas aquáticas fixadas ou não em um meio de suporte (solo, areia e brita), promovendo a remoção dos contaminantes presentes na água residuária (WOOD, 1995).

A diferença entre os leitos cultivados e as várzeas naturais está basicamente no nível de controle dos processos naturais, como por exemplo na vazão afluente dos leitos cultivados, que se apresenta relativamente estável em relação as várzeas naturais, por se tratar de um sistema de tratamento, onde os organismos são mais susceptíveis às variações na vazão, na concentração de Sólidos Suspensos Totais (SST) e na Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (USEPA, 1999).

Os principais processos biológicos que regulam as remoções de nitrogênio e fósforo do efluente são a absorção direta pela macrófita, mineralização microbiológica e transformações como desnitrificação e amonificação (USEPA, 2000). A absorção direta ocorre, principalmente, pelo sistema radicular das macrófitas, ainda que algumas destas possam absorver nutrientes por meio das folhas (ESTEVEVES, 1998). Já os processos abióticos fundamentais na remoção de nitrogênio e fósforo do efluente são a sedimentação, precipitação química e adsorção. Além

disso, a sedimentação ainda constitui um importante processo na remoção de material particulado do efluente (BRASKERUD, 2002).

Devido a simplicidade e facilidade de construção, pelo baixo consumo de energia, pela sua incorporação à paisagem, por sua versatilidade e longevidade os leitos cultivados são aplicados no tratamento de diferentes tipos de águas residuárias. Podendo ser classificados de acordo com seu fluxo em: superficial; subsuperficial e vertical.

- Leitos cultivados de fluxo superficial: são canais que apresentam pequenas profundidades (0,1 a 0,3m) e ocupam grandes áreas. São eficazes na remoção de sólidos suspensos e bactérias, na desnitrificação e na remoção de DBO até determinado ponto de transferência de oxigênio.

- Leitos cultivados de fluxo subsuperficial: são filtros horizontais lentos, preenchidos com brita ou areia como meio suporte que possuem a capacidade de remover elevadas concentrações de nitrogênio, fosforo e metais pesados devido aos diversos processos que ocorrem, com a absorção e a filtração.

- Leitos cultivados de fluxo vertical: são filtros de vazão vertical intermitente, com grande potencial para nitrificação.

2.5 MACRÓFITAS

As macrófitas são plantas aquáticas herbáceas, muito empregadas no tratamento de água residuária em sistemas de leitos cultivados, devido sua capacidade de diminuir a turbidez da água ao remover os sólidos suspensos através do processo de fotossíntese, onde utilizam a energia solar para assimilar carbono inorgânico da atmosfera e produzir matéria orgânica que servirá de fonte de energia para seres heterotróficos como: animais, bactérias e fungos (BRIX, 1997). Compreendem plantas aquáticas vasculares florescentes, musgos e a maioria das algas marinhas.

Segundo Silverstre e Pedro de Jesus (2002), exercem papel fundamental, pois, proporcionam superfície para a ligação de filmes microbianos responsáveis por boa parte do tratamento, auxiliam na filtração e adsorção de constituintes das águas residuárias, transferem oxigênio para água por meio das raízes e rizomas, promovem o isolamento térmico, além de serem responsáveis pela ciclagem de nutrientes da água (POMPÊO e MOSCHINI-CARLOS, 2003).

A escolha da espécie mais indicada para cada sistema depende principalmente da tolerância da planta a ambientes saturados por água ou esgoto; do seu potencial de crescimento; da existência destas plantas nas áreas onde o sistema será implantado, pois isso garante que as mesmas possuam adaptação às condições climáticas da área em questão; bem como o custo para o plantio e a manutenção (IWA, 2000; LIN et al., 2005).

De acordo com o tipo ecológico as macrófitas são classificadas em: flutuantes, quando sua folhagem principal flutua na superfície da água; submergentes, quando crescem sob a água fixas ou não por raízes; e emergentes, cuja folhagem principal está em contato com o ar e as suas raízes estão fixadas ao solo (VALENTIM, 2003).

Algumas das vantagens no emprego de macrófitas além do tratamento de efluentes são os ganhos estéticos, controle do odor e controle de insetos (VALENTIM, 1999). Para Almeida (2010), a utilização de plantas aquáticas no tratamento de esgotos constitui-se em alternativa eficiente e de baixo custo aos sistemas convencionais.

2.5.1 Taboa (*Typha ssp*)

Em meio as espécies de macrófitas, a Taboa (*Typha ssp*) é uma das pioneiras nos estudos com tratamento de águas residuárias no Brasil, devido a sua capacidade de remover cargas orgânicas, metais pesados e auxiliar no controle de erosão nas margens de canais (POTT, 2000). Encontrada em diversos habitats aquáticos, a Taboa pertence à família *Typhaceae*, é espécie emergente, perene, que possui folhas lineares, bainha desenvolvida, caule herbáceo, rizoma rasteiro, podendo atingir até 4 m de altura.

Mulamoottil et al. citado em Mannarino (2006), destacam a estrutura interna da taboa, composta por tecidos com espaços vazios abertos como o principal fator de sucesso da macrófita em leitos cultivados, pois esses espaços favorecem o transporte de oxigênio da atmosfera para as folhas e posteriormente para os rizomas, onde ainda podem sair para a área em torno da rizosfera criando condições ideais para a decomposição aeróbia da matéria orgânica, bem como para crescimento de bactérias nitrificantes.

2.5.2 Papiro Brasileiro (*Cyperus giganteus*)

A espécie *Cyperus giganteus*, popularmente conhecida como papiro brasileiro é nativa nos ecossistemas de águas rasas e semiparadas do sudeste do Brasil, pertencente à família das *Cyperaceae* (LORENZI e SOUZA, 2008). Apresenta-se como uma planta herbácea, perene, de porte ereto, que mede entre 1,5 e 2,5 m de altura. Sustenta-se através de hastes de formato triangular e possui caule do tipo rizoma, crescendo em touceiras. Possui ótimo efeito ornamental quando cultivada à beira de corpos d'água. (VILELA, 2012)

Suas hastes, denominadas escapos, possuem longa duração e são os principais órgãos fotossintetizantes (ESTELITA e RODRIGUES, 2007). Exibem em seu ápice inúmeras brácteas também verdes semelhantes a folhas. Os escapos diferem-se dos caules principalmente por não apresentarem o meristema de espessamento primário, com feixes colaterais provenientes apenas do procâmbio, dispendo-se aleatoriamente. Sendo assim, os rizomas das *Cyperaceae* caracterizam-se por serem mais especializados que os escapos. Rizoma e escapo, juntos, formam o sistema caulinar, em que o último pode ser denominado também de caule reprodutivo (ESTELITA e RODRIGUES, 2007).

Os *Cyperus giganteus* apresentam flores bissexuadas que estão comumente agrupadas em espiguetas com frutos do tipo aquênio. (LONGHI-WAGNER e SILVEIRA, 2008). São compostas de brotos, que terminam em uma sinflorescência politélica, com eixos laterais terminando em espiguetas que de acordo com Troll (1964 apud VEGETTI, 2003) são denominadas, paniculódio (VEGETTI, 2003). As inflorescências, são o resultado da modificação de caules ramificados e por isso, apresentam em cada nó, brácteas ou folhas modificadas (ESTELITA e RODRIGUES, 2007).

2.5.3 Lírio do Brejo (*Hedychium coronarium* Koehne)

O *Hedychium coronarium* é uma macrófita aquática, nativa do Himalaia e de Madagascar, amplamente distribuída pelo mundo (JOLY & BRANDLE, 1995). Introduzida no Brasil em 1987, disseminou-se pelo país, sendo mais comumente encontrada na zona litorânea.

O lírio do brejo pertence à ordem *Scitaminae* da família *Zingiberaciae* e recebe outros nomes comuns como jasmim-do-brejo, são-josé e gengibre-branco (KISSMANN; GROTH, 1991; MACEDO, 1997). É uma planta perene, herbácea, vigorosa e rizomatosa, propagando-se principalmente por rizomas (LORENZI, 2000). Apresenta caule ereto, de coloração avermelhada na base e folhas sésseis e lanceoladas.

No Brasil, o lírio-do-brejo é considerado uma planta exótica invasora, que atualmente vem sendo estudada como opção no tratamento de esgotos sanitários (ALMEIDA e ALMEIDA, 2005). Ademais, pode ser utilizado para diversos fins, desde ornamentação, pela beleza das flores; produção de papel, pois a haste contém de 43 a 48% de celulose e principalmente na farmacológica (FACUNDO e MOREIRA, 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO E ORIGEM DO ESGOTO

O experimento foi realizado no período de outubro de 2015 a julho de 2016 na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), situada na Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UnB), localizada nas coordenadas 15°56' a 15°59' S e 47°55' a 47°58' W, cuja a altitude média é de 1100 m. O clima local é o tropical estacional (Aw), segundo a classificação de Köppen-Geiger, caracterizado pela sazonalidade do regime de chuvas, com um período chuvoso de outubro a abril e um período seco de maio a setembro (SANTANA et al., 2010).

A FAL atende funcionários de campo, técnicos administrativos, estudantes e professores da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV), do Instituto de Biologia (IB), da Engenharia Florestal (EFL), do Instituto de Geociências (IG), do Departamento de Física, dentre outros usuários. Desta maneira, o volume diário gerado na fazenda é muito variável, devido à frequência de uso, e a constância entre os dias da semana, de modo que nos finais de semana, feriados e períodos de férias da UnB a geração de esgoto é insignificante.

O esgoto utilizado no experimento é oriundo prioritariamente de descargas sanitárias e do refeitório, que pela sua composição é caracterizado essencialmente como esgoto doméstico, constituindo estas as únicas fontes de esgoto destinadas ao tratamento, não sendo destinado à ETE nenhum efluente de laboratórios.

3.2 DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DO EFLUENTE

3.2.1 Condução do Esgoto e Descrição Geral da ETE/FAL/UnB

A ETE/FAL/UnB é composta por dois níveis: tratamento primário e secundário. O tratamento primário foi constituído de um conjunto de três tanques sépticos em série, e o tratamento secundário por um conjunto de três unidades de leitos cultivados e um leito sem

planta (testemunha) de fluxo subsuperficial, construídos em paralelo e independentes um do outro, preenchido com brita # 2 (Figura 1).

O efluente gerado no refeitório da FAL passa inicialmente por uma caixa de gordura antes de ser conduzido à ETE/FAL/UnB. A condução do esgoto bruto dos pontos de geração até a ETE/FAF/UnB é feita por tubulação de Policloreto de Vinila (PVC), de 0,15 m de diâmetro, própria para a conduzir esgoto. A diferença de nível do local de captação do esgoto localizado próximo ao refeitório até a entrada no primeiro tanque séptico é de 9,0 m, com declividade média de 4,3%, portanto, superior ao recomendado pela norma da ABNT (1997).

Após passar pelos leitos cultivados o efluente foi direcionado até uma caixa de fibra de vidro (reservatório) com volume total de 5000 L e útil de 4750 L. Desse reservatório, o efluente é bombeado para reuso em irrigação, quando da existência de pesquisas em campo com culturas irrigadas e o excedente é conduzido para valas de infiltração como sendo o destino final.

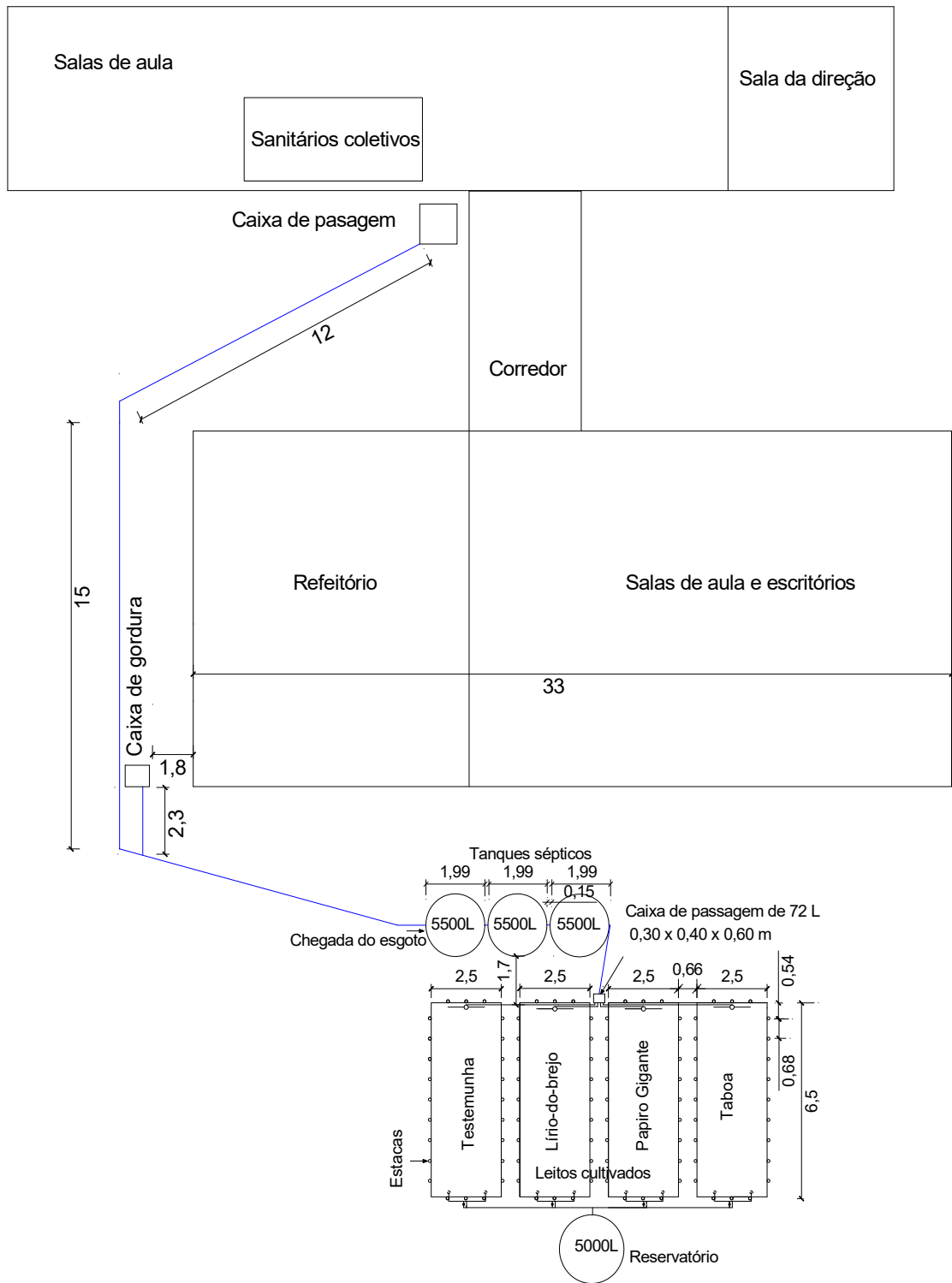


FIGURA 1. Planta baixa da estação de tratamento de esgoto (ETE/FAL/UnB).

3.2.2 Tanques Sépticos em Série

O conjunto de três tanques sépticos em série, destinados ao tratamento primário do esgoto gerado na FAL/UnB, são constituídos de caixas de polietileno com tampa roscável, com volume total individual de 5500 L (Figura 2) e volume total dos três tanques (Vt) de 16500 L, com volume útil de cada tanque aproximado de 5000 L, ou seja, 15000 L de volume útil total. As caixas foram parcialmente enterradas no solo, possibilitando a entrada do esgoto bruto por gravidade e ao mesmo tempo, dispostas com pequena diferença de nível (0,075 m) entre a saída e entrada de cada tanque.



FIGURA 2. Vista dos três tanques sépticos (TS1, TS2 e TS3) e indicação do sentido de escoamento do esgoto.

Conforme a ABNT, BRASIL (1997), que descreve o posicionamento do dispositivo de entrada de esgoto no tanque séptico, estes foram mergulhados verticalmente no líquido, a fim de evitar perturbações hidráulicas no interior do tanque e direcionar o fluxo de esgoto para o fundo, possibilitando uma melhor sedimentação dos sólidos. Assim, na entrada do TS 1, foi utilizado um tubo de 0,15 m de diâmetro posicionado na vertical, com 1 m de comprimento, sendo 0,8 m mergulhado no esgoto. Nas entradas dos TS 2 e TS 3 foram usados tubos de 0,075 m, com 0,7 m de comprimento e na saída dos três tanques utilizaram-se tubos, de 0,075 m e 0,60 m de comprimento. Os tanques sépticos possuem formato circular com 1,99 m de diâmetro e 1,99 m de altura total.

3.2.3 Caixa de Passagem

A caixa de passagem do efluente para os leitos cultivado foi construída em fibra de vidro com capacidade total de 72 L (0,30 m, 0,40 m, 0,60 m – largura, comprimento e altura) (Figura 3), de onde partem quatro tubos de PVC para esgoto com diâmetro de 0,040 m, um para cada leito de cultivo. Para melhorar o controle da vazão de entrada em cada leito cultivado, implantou-se vertedouro triangular, com ângulo interno de 80°, sendo este o único ponto de controle da vazão, assim, a distribuição das vazões independe da inclinação dos tubos de condução do efluente para cada leito de cultivo, já que funciona não afogado.



FIGURA 3. Caixa de passagem para os leitos cultivados e vertedouros triangular no interior da caixa de passagem.

3.2.4 Sistema de Zona de Raízes ou Leitos Cultivados

Os SZR foram construídos em estruturas retangulares de fibra de vidro, com espessura da parede de 4 mm (Figura 4), apoiados sobre o solo, com dimensões de 2,5 x 6,5 x 0,5 m.



FIGURA 4. Vista interna dos leitos antes do preenchimento com brita com detalhe do sistema do controle do nível (cavelete) de efluente no interior dos leitos.

A fim de garantir estabilidade nas paredes das caixas de fibra de vidro (leitos cultivados) foram instaladas estacas de concreto (Figura 4) de 1,20 m de altura e 0,075 m de diâmetro (tubos de PVC preenchidos com concreto), enterradas no solo na profundidade de 0,70 m. as estacas foram fixadas a 0,54 das extremidades das caixas no sentido do comprimento e as demais a cada 0,68 m, já no sentido da largura as estacas foram colocadas a 0,60 m da extremidade e as demais a cada 0,65 m totalizando 24 estacas por leito de cultivo, num total de 96.

Para melhorar a distribuição de efluente nos leitos de cultivo, instalou-se um tubo de 40 mm partindo da caixa de passagem, com inclinação de aproximadamente 1%, até cada um dos leitos, onde caía em um reservatório enterrado na brita no centro da largura do leito, de onde saem 2 tubos de $\frac{1}{2}$ ", um para cada lado, com comprimento de $\frac{1}{4}$ da largura do leito. O controle do nível do efluente nos leitos foi feito a partir de um tubo de PVC com 0,050 m de diâmetro, que sai do fundo de cada leito (saída do efluente) e se eleva até uma altura de 0,047 m (Figura 4), mantendo o nível do efluente aproximadamente de 0,003 m abaixo da superfície das caixas utilizadas como LC (folga), e, na sequência, retorna ao nível do solo, de onde segue por uma tubulação até a caixa de fibra de vidro de 5000 L, localizada após os LC e leito sem cultivo, servindo como reservatório para uso do efluente em projetos de reuso na irrigação e passagem para as valas de infiltração (destino final do efluente tratado).

Para cada leito de cultivo instalou-se um cavelete de saída, independente um do outro, permitindo a coleta de amostras de efluente individualmente para cada leito, contendo um “colar hidráulico” e um registro de esfera de $\frac{1}{2}$ ". A altura da base do tubo que regula a altura do nível da água nos LC é 0,10 m mais altos que a base do tubo de entrada do EET no reservatório.

3.3 MANEJO DAS MACRÓFITAS NOS LEITOS DE CULTIVO

As macrófitas foram transplantadas na primeira semana de agosto de 2015, sendo um deles (Leito 1) cultivado com a taboa (*Typha spp*), outro com papiro-brasileiro (*Cyperus giganteus*) no Leito 2 e um com Lírio do brejo (*Hedychium coronarium Koehne*) no Leito 3 (Figuras 5), sendo que o leito 4 ficou como testemunha (sem o cultivo de macrófita), respectivamente.

Em cada leito foram transplantados 102 mudas, espaçadas a 0,20 m da borda dos leitos, 0,42 m entre plantas no sentido da largura e 0,37 m entre plantas no sentido do comprimento, totalizando 17 fileiras no sentido transversal com 6 mudas cada uma. As plantas foram removidas do seu ambiente natural, transportadas até o local do experimento em sacos plásticos e mantidas com água até o plantio e tiveram suas folhas cortadas a 0,50 m de altura e transplantadas imediatamente nos leitos com sistema radicular e transplantadas a 0,10 m abaixo da superfície da brita.



FIGURA 5. Vista do leito cultivado com taboa (Leito 1), papiro-brasileiro (Leito 2), lírio do brejo (Leito 3) após o plantio e leito sem plantas (Leito 4), no transplântio.



FIGURA 6. Leitos de cultivos após 6 meses do tansplântio, janeiro/2016.

3.3.1 Desenvolvimento das Plantas

Para facilitar a avaliação do desenvolvimento das plantas e as análises estatísticas, cada leito de cultivo foi dividido em 4 blocos com 24 plantas (4 fileiras com 6 plantas), totalizando 96 plantas avaliadas. A primeira fileira de cada leito próxima à entrada foi eliminada com o objetivo de manter o mesmo número de plantas por bloco. As avaliações foram realizadas em intervalos de 15 em 15 dias, durante o período de outubro de 2015, onde avaliou-se, altura das plantas, diâmetros do caule, perfilhamento, peso fresco e peso seco de cada uma das macrófitas.

Entrada - (Bordadura)					
1	2	3	4	5	6
Bloco 1					
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
Bloco 2					
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
Bloco 3					
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
Bloco 4					
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
Saída					

FIGURA 7. Esquema representativo dos leitos dividido em quatro blocos.

3.3.1.1 Altura das plantas

Para avaliar o desenvolvimento das plantas optou-se por medir a altura das mesmas de outubro de 2015 até julho de 2016. As medidas foram realizadas a partir da superfície da brita até a ponta da folha mais alta com o auxílio de uma trena métrica com precisão de 1 mm.

3.3.1.2 Perfilhamento das plantas

O número de plantas perfilhadas foi obtido por meio da contagem de todas as plantas da touceira, eliminando-se apenas a planta mãe.

3.3.1.3 Diâmetro do caule

O diâmetro do caule foi obtido medindo-se o colmo na planta mais alta da touceira, totalizando 24 plantas por bloco, a uma altura de 0,02 m da superfície da brita, utilizando um paquímetro digital, com precisão de 0,0001 m.

3.3.1.4 Peso fresco e seco das plantas

Para obtenção do peso fresco, todas as plantas de cada bloco foram podadas com uma tesoura na altura de 0,15 m da superfície da brita e em seguida foram pesadas (Figura 6), com o auxílio de uma balança com precisão de 0,1 kg.



FIGURA 8. Massa fresca e massa seca do papiro brasileiro por blocos para pesagem.

Após a aquisição do peso fresco, as plantas foram deixadas para secagem ao ar livre por aproximadamente 3 semanas. O peso seco foi obtido quando as plantas não apresentaram mais variações em seu peso.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que todos os blocos cultivados com Lírio do brejo apresentaram diferença estatística, sendo que, o bloco mais próximo da saída do SZR apresentou maior número de plantas para a macrófita, com valores quase três vezes maiores (29,42 plantas) em relação ao bloco de entrada do SZR (13,57 plantas) (Tabela 1). Esta macrófita foi a que apresentou a pior adaptação ao sistema de tratamento de esgoto da FAL/UnB. Este comportamento não é observado em pesquisas de outros autores, e a hipótese mais provável, é à sensibilidade do Lírio do brejo aos sanitizantes utilizados na limpeza do refeitório, e como o volume de esgoto gerado no refeitório é muito superior ao gerado nos sanitários, houve a tendência de elevação da concentração de sanitizante no esgoto que chega a ETE/FAL/UnB.

Por sua vez, o papiro brasileiro e taboa apresentam desenvolvimento mais uniforme ao longo do SZR em relação ao Lírio do brejo. Verifica-se que para as duas macrófitas os blocos 2 e 3 não se diferenciaram estatisticamente entre si, porém quando comparados aos demais apresentou diferença significativa, mesmo assim, a taboa apresentou menor coeficiente de variação (8,48 %).

O bloco 4 do SZR foi o que apresentou maior número de plantas em relação aos demais blocos, tanto para os leitos cultivados com o papiro (190,14), quanto para os cultivados com a Taboa (185,14). Quanto ao número médio de plantas por espécie de macrófita a taboa foi o que apresentou maior valor (152,14 plantas), seguido do Papiro e do Lírio do brejo.

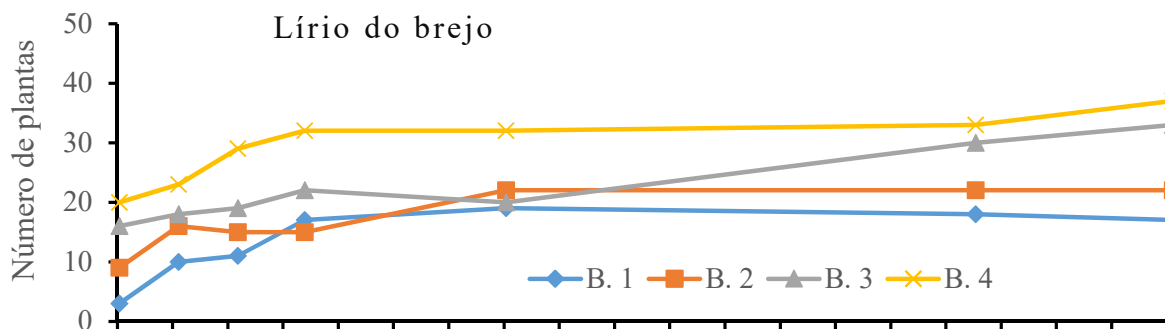
TABELA 1. Perfilamento ou número de plantas para cada espécie de macrófita Lírio do brejo, Papiro brasileiro e Taboa.

Blocos	Macrófitas		
	Lírio do brejo	Papiro brasileiro	Taboa
Bloco 1 – entrada do SZR	13,57 d	76,00 c	122,00 c
Bloco 2	17,28 c	111,42 b	146,00 b
Bloco 3	22,57 b	126,14 b	155,42 b
Bloco 4 – saída do SZR	29,42 a	190,14 a	185,14 a
Coefficiente de variação (%)	12,77	12,22	8,48
Média geral	20,71	125,92	152,14

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste t ao nível de 5% de probabilidade. CV.: Coeficiente de variação.

Observa-se que o número de plantas de Lírio do brejo aumentou progressivamente em todos os blocos de 02/10/15 até 27/01/16, momento que houve estabilização do crescimento até a data de 13/07/16, exceção ao bloco 3 e 1, que o número de plantas reduziu (Figura 9).

O Papiro brasileiro apresentou aumento acentuado do número de plantas ao longo do período de medição em todos os blocos, porém, o bloco apresentou crescimento superior ao bloco 2, superando também o bloco 3 a partir do dia 01/06/16. Por sua vez, a Taboa apresentou comportamento similar ao Papiro brasileiro, com a diferença que o aumento do perfilamento se estendeu até cerca de 10/02/15 (Figura 9).



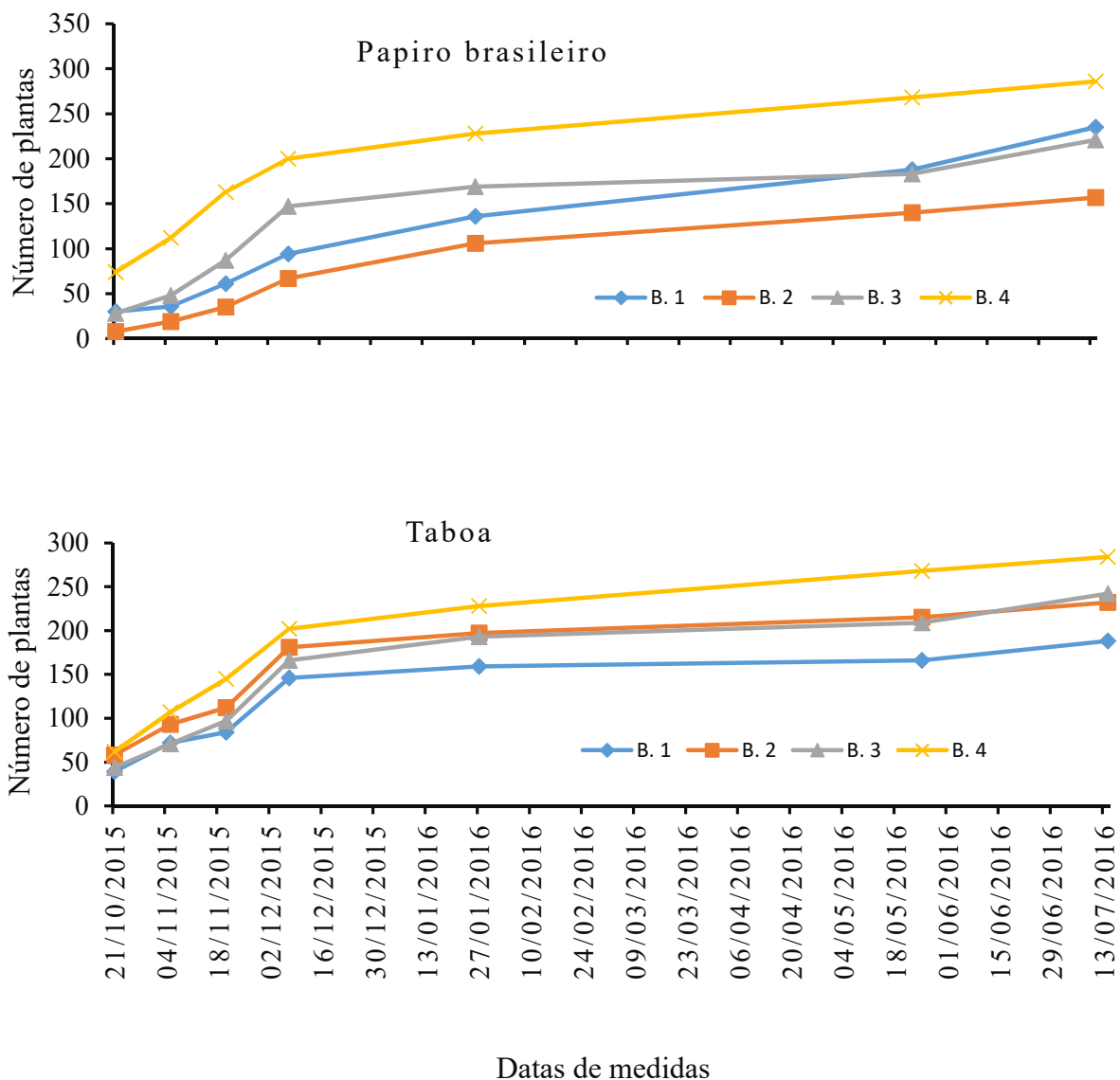


FIGURA 9. Número de plantas ou perfilhamento da macrófita Lírio do brejo, Papiro brasileiro e Taboa, para diferentes datas de medida.

Para o parâmetro altura, verifica-se que todas as macrófitas apresentaram melhor desenvolvimento no bloco mais próximo da saída do SZR, quando comparado com os demais blocos (Tabela 2). De Matos (2011) também observou este comportamento em seu experimento, justificando-o pela degradação do material orgânico aportado ao sistema, que possibilitou a disponibilização de nutrientes com a passagem da água residuária através do meio

suporte, possibilitando com isso, maior crescimento das plantas.

Entre as macrófitas, o lírio do brejo, foi o que apresentou maior coeficiente de variação (40,45%). Pode-se observar que o bloco 4 foi o único que diferenciou estatisticamente dos demais, confirmando a sua dificuldade de adaptação ao sistema de tratamento de esgoto da FAL/UnB.

A Tabela 2 mostra que os coeficientes de variação do papiro brasileiro e da taboa foram similares, respectivamente de 21,28% e 21,73%. No entanto, a taboa foi a macrófita apresentou a maior média da altura (122,67 cm) quando comparada as outras macrofitas, diferindo-se estatisticamente nos blocos 1,2 e 4, onde apresentou respectivamente os valores 74,98 cm, 114,98 cm e 165,14 cm).

TABELA 2. Altura das plantas para cada espécie de macrófita Lírio do brejo, Papiro brasileiro e Taboa.

Blocos	Macófitas		
	Lírio do brejo	Papiro-gigante	Taboa
Bloco1 – entrada do SZR	25,69 b	94,45 b	74,98 c
Bloco 2	19,90 b	92,08 b	114,98 b
Bloco 3	23,02 b	109,43 b	135,58 ab
Bloco 4 – saída do SZR	43,61 a	149,64 a	165,14 a
Coeficiente de variação (%)	40,45	21,38	21,73
Média geral (cm)	23,06	111,40	122,67

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

A Figura 10 mostra que o do Lírio do brejo foi bem similar nos blocos 1, 2 e 3, porém a partir da data 27/01/2016, observa-se uma sobreposição do desenvolvimento das plantas dos blocos 1 e 3 em relação as plantas do bloco 2. Ademais o crescimento no bloco 4 se mostrou ascendente durante todas as datas avaliadas, apresentando maior altura no dia 01/06/2016.

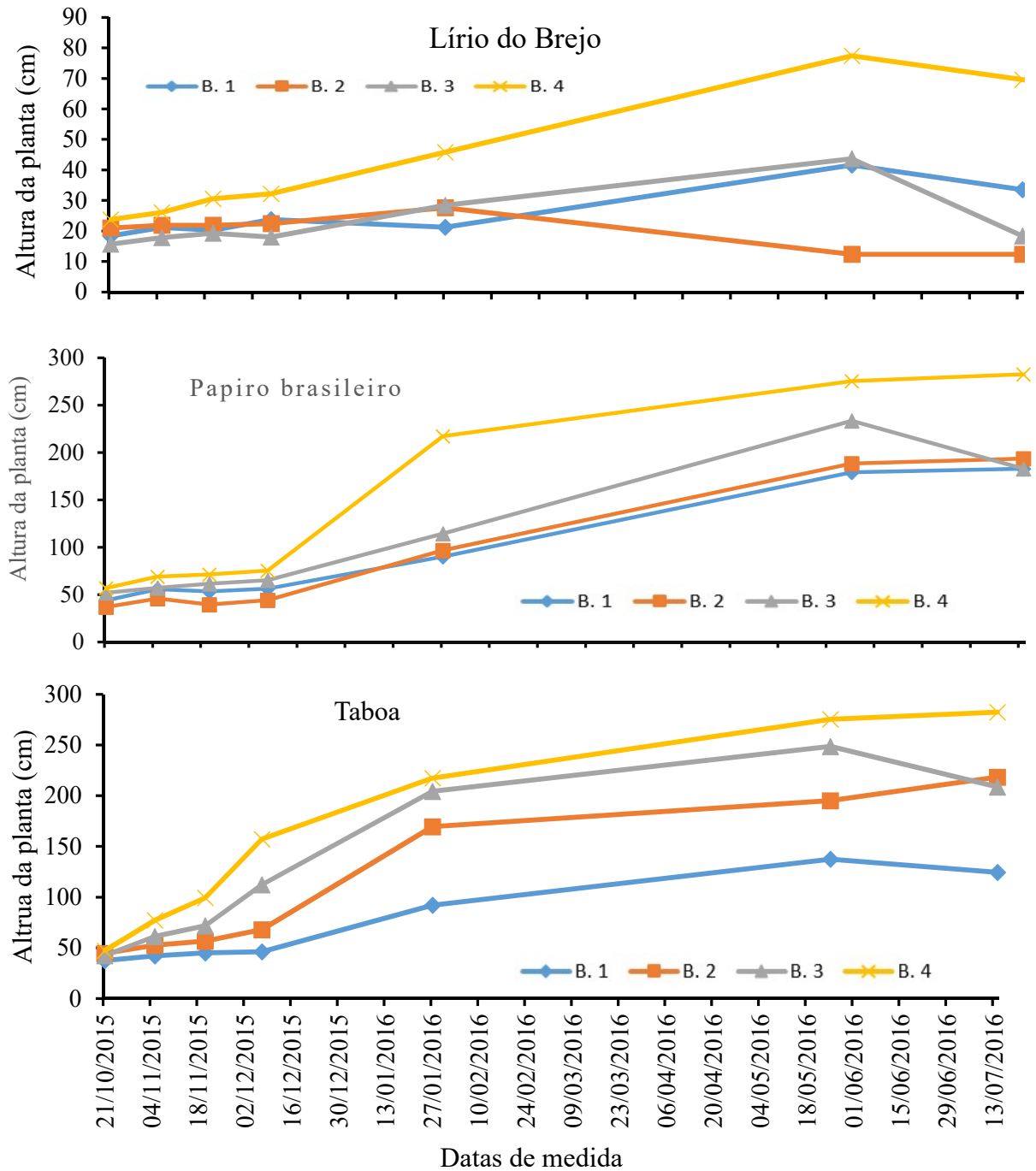


FIGURA 10. Altura das plantas da macrófita Lírio do brejo, Papiro brasileiro e Taboa, para diferentes datas de medida.

O desenvolvimento do papiro brasileiro também se mostrou muito similar nos primeiros meses, somente a partir do dia 16/12/2015, observou-se um crescimento mais acentuado em todos os blocos, que, acredita-se, deve-se a melhor adaptação das plantas ao efluente sanitário

da FAL/UnB. Observa-se ainda que as plantas apresentaram crescimento progressivo até a dia 01/01/2016, momento em apresentaram maior altura nos quatro blocos. Por sua vez, a taboa mostrou comportamento similar ao Papiro brasileiro, demonstrando crescimento gradativo das plantas desde a entrada no SZR (Bloco 1) até sua saída (Bloco 4) (Figura 10).

A média geral do diâmetro do caule obtida no SZR cultivado com Lírio do brejo foi de 12,06 mm, entretanto não apresentou diferença estatística entre os blocos, devido ao elevado valor do coeficiente de variação (104,89 %) (Tabela 3).

Já no SZR cultivado com o Papiro brasileiro, observou-se que os blocos 1 e 2, cujos os valores médios obtidos foram respectivamente de 12,43 mm e 10,8 mm não se diferiram estatisticamente, porém quando comparados aos valores médios obtidos nos blocos 2 e 4 que também se diferenciaram entre si, apresentando valores médios 15,14 mm, 17,70 mm respectivamente, verificou-se diferença estatística (Tabela 3).

A Taboa também apresentou três blocos estatisticamente diferentes, sendo eles os blocos 1, 2 e 4, cujos os valores médios alcançados foram respectivamente de 10,82 mm, 14,77 mm e 19,38 mm. No entanto o bloco 3 cujo o valor médio foi de 16,99 mm não se diferenciou estatisticamente dos blocos 2 e 4 (Tabela 3). Estes resultados demonstram que, além de afetar o surgimento de novas plantas, as que se desenvolveram apresentam menor altura e diâmetro do caule.

TABELA 3. Diâmetro do caule das plantas para cada espécie de macrófita Lírio do brejo, Papiro brasileiro e Taboa.

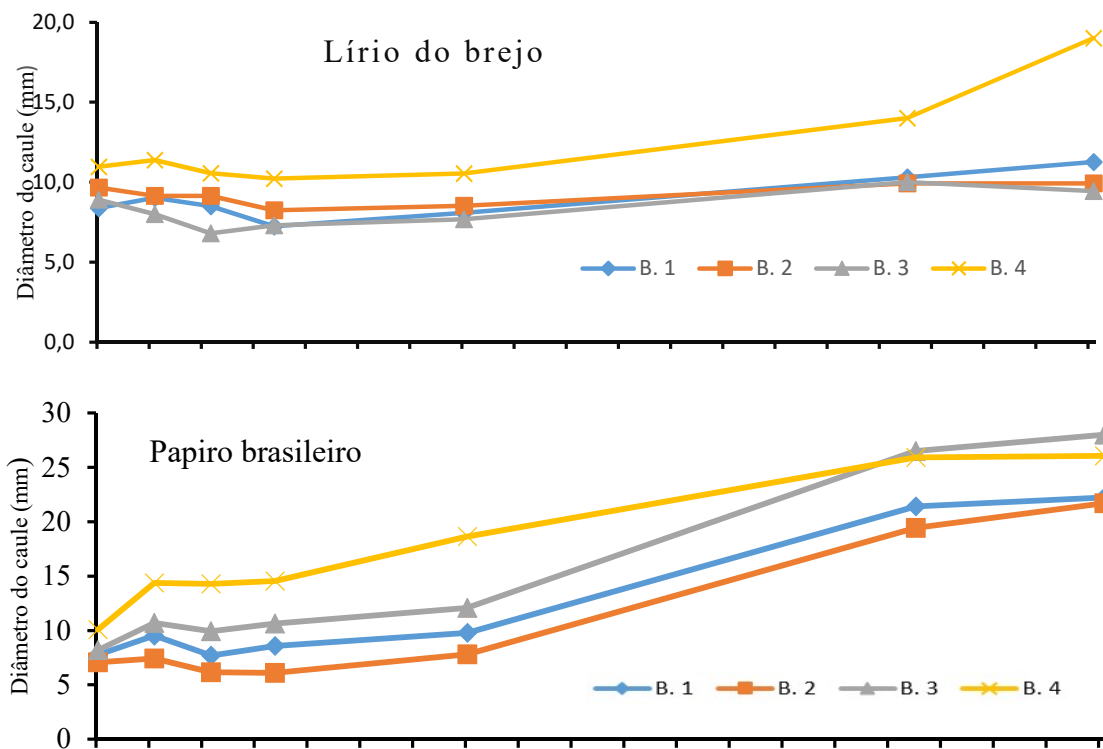
Blocos	Macófitas		
	Lírio do brejo	Papiro brasileiro	Taboa
Bloco1 – entrada do SZR	8,97 a	12,43 c	10,82 c
Bloco 2	9,22 a	10,8 c	14,77 b
Bloco 3	17,65 a	15,14 b	16,99 ab
Bloco 4 – saída do SZR	12,388 a	17,70 a	19,38 a
Coeficiente de variação (%)	104,89	10,98	13,78
Média geral (mm)	12,06	14,02	15,49

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

No SZR cultivados com o Lírio do brejo (Figura 11), pode-se observar que até o dia 16/12/2015 todos os blocos apresentavam diâmetros similares, e que a partir dessa data as plantas do bloco mais próximo a saída do SZR (Bloco 4) apresentaram um aumento no diâmetro

do caule. Já o Papiro brasileiro, apresentou diâmetro maior no bloco 4, seguido dos blocos 3, 1 e 2, porém foi superado pelo bloco 3 a partir do dia 1/05/2016. Todos os blocos apresentaram as maiores médias no dia 13/07/2016.

O comportamento da Taboa ao longo do tempo, mostra que plantas no bloco 4, saída do SZR, apresentaram as maiores médias de diâmetro do caule, seguidas pelas plantas dos blocos 3, 2 e 1. Este comportamento se manteve durante quase todo o período de avaliação, porém, a partir do dia 20/04/2016, o bloco 2 apresentou médias superiores as encontradas no bloco 3, voltando a ser superado pelo bloco 3 a partir das avaliações realizadas no dia 15/06/2016 (Figura 11), demonstrando que as plantas tiveram dificuldade de adaptação, porém, com o tempo houve tendência de homogeneizar ou pelo menos reduzir as diferenças entre os 4 blocos das variáveis avaliadas.



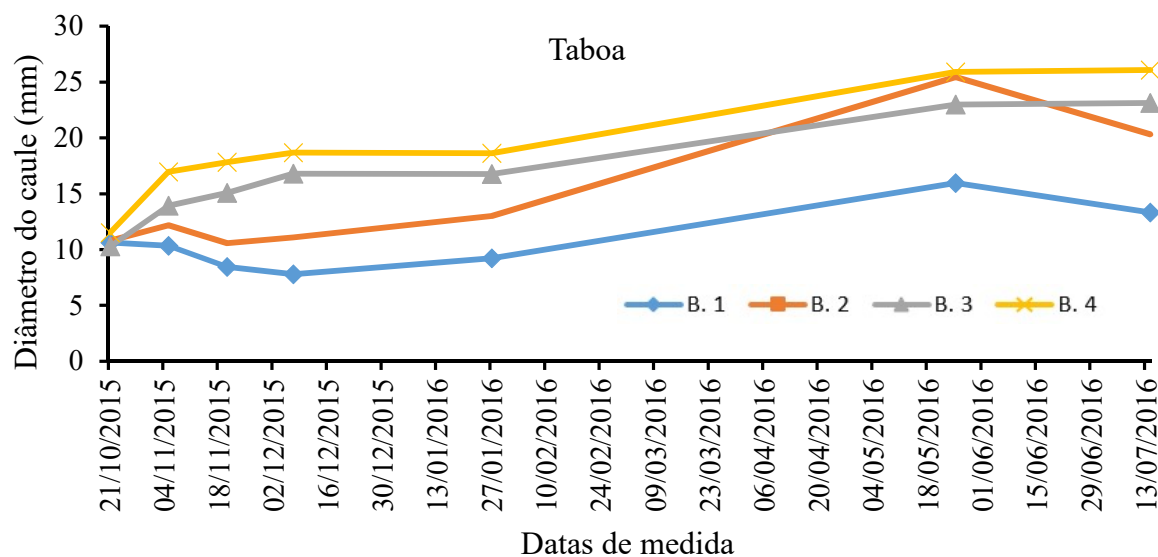


FIGURA 11. Diâmetro do caule da macrófita Lírio do brejo, Papiro brasileiro e Taboa, para diferentes datas de medida.

O Papiro brasileiro foi a macrófita que apresentou a maior média geral de peso fresco (12628,66 kg/ha) e seco (26095,36 kg/ha), seguido pela taboa com média de 47036,08 kg/ha e 24967,77 kg/ha.

TABELA 4. Porcentual de variação (Var %) entre o peso fresco e peso seco das macrófitas Lírio do brejo, Papiro brasileiro e Taboa.

Blocos	Macófitas								
	Lírio do brejo			Papiro brasileiro			Taboa		
	Peso fresco (kg/ha)	Peso seco (kg/ha)	Var (%)	Peso fresco (kg/ha)	Peso seco (kg/ha)	Var (%)	Peso fresco (kg/ha)	Peso seco (kg/ha)	Var (%)
Bloco1 – entrada do SZR	244,84	175,25	39,71	113402,06	19329,89	486,67	18041,23	7087,62	154,6
Bloco 2	2557,31	695,87	267,5	108247,42	14175,25	663,64	48969,07	24484,53	100
Bloco 3	6443,29	1966,49	227,7	115979,38	19329,89	500	69587,62	38659,79	80
Bloco 4 – saída do SZR	77319,6	9020,61	757,1	167525,77	51546,39	225	51546,39	29639,17	73,91
Média geral (kg)	21641,3	2964,56	323	126288,66	26095,36	468,83	47036,08	24967,77	81,18
Coefficiente de variação (%)	171,93	138,23	94,74	21,92	65,68	33,5	45,49	53,2	46,87

O maior percentual de variação observado foi no bloco mais próximo a saída do SZR cultivado com lírio do brejo (751,1 kg/ha), porém o coeficiente de variação obtido foi muito elevado, indicando que apesar do grande potencial de retenção de água da macrófita observado no bloco 4 a variação do peso nos outros blocos foi muito pequena (Tabela 4).

Contudo o papiro apresentou o menor coeficiente de variação (33,5 ka/ha) e o segundo maior percentual de variação (663,64 kg/ha), devido a maior produção de massa e à sua estrutura interna capaz de armazenar elevado teor de umidade. Já o percentual de variação obtido na taboa mostrou-se homogêneo dentro dos blocos, uma vez que o coeficiente de variação observado foi de (46,87 kg/ha).

5 CONCLUSÕES

As espécies macrófitas Lírio do brejo, papiro brasileiro e taboa apresentaram desenvolvimento menor na entrada do sistema de zona de raízes sendo progressivo em direção à saída dos mesmos.

A Taboa seguido do Papiro brasileiro apresentou melhor desenvolvimento, devido a sua adaptação e uniformidade dentro no sistema de zona de raízes para as variáveis perfilhamento, altura da planta, diâmetro do caule e peso fresco e seco.

O lírio do brejo não se adaptou ao efluente de esgoto da FAL/UnB, com desempenho satisfatório somente no quarto final do sistema de zona de raízes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R.A.; ALMEIDA, N.A.M. Remoção de coliformes do esgoto por meio de espécies vegetais. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v.7, n.3, p.308-17, 2005.

ALMEIDA, R.A; PITALUGA, D. P. S; REIS, R. P; Tratamento de esgoto doméstico por zona de raízes precedida de tanque séptico. **Revista Biociências**, UNITAU. Volume 16, número 1, 2010. Disponível em periodicos.unitau.br

ALTVATER, P. K. **Avaliação do desempenho de um tanque séptico modificado e tratamento complementar**. 2008. 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ALTVATER, P. K.; SANTOS, D. C.; MANNICH, M. **Sistema biológico alternativo para pós-tratamento de esgoto**. Revista DAE, n. 181, p. 23-32, 2009.

BERNARDI, Cristina Costa. **Reuso de água para irrigação**. Brasília: ISAEFGV/ Ecobusiness School, 2003. 52p. (Monografia - MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, área de concentração Planejamento Estratégico).

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. et al. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASIL. ABNT. **Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**. NBR 13969. ABNT. Rio de Janeiro. 60 p. 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO nº 357**. Diário Oficial da União, 17 de março de 2005.

BRASKERUD, B.C. Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non - point source pollution. **Ecological Engineering**, n. 18, p. 351- 370, 2002.

BRIX, H. Macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? **Water Science and Technology**, v.35, p.11–17, 1997.

CAMINHA, O.R.S.M. (2014). **Remoção de algas de efluentes de lagoa de estabilização por meio de filtração vertical ascendente em pedregulho e brita nº2**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTRAH. DM – 164/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 71p.

CHAGAS, R. C.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; MONACO, P. A. V.; FRANÇA, L. G. F. Cinética de remoção de matéria orgânica em sistemas alagados construídos cultivados com lírio amarelo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 11, p. 1186–1192, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S141543662011001100012>.

CHERNICHARO, C. A.L. Reatores anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, Belo Horizonte/MG, v.5, 1997.

CHERNICHARO, C.A.L. (Coordenador). **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. PROSAB. Belo Horizonte, 2001. 544p.

CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; PIVELI, R. P.; VON SPERLING, M; MONTEGGIA, L. O. Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reúso da água. **In:** FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coord.). Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABEAS, 2006, cap. 3, p. 63 - 110. (Projeto PROSAB).

COLARES, C. J. G. ; SANDRI, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 172-185, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1047>).

DE MATOS, Antonio Teixeira; ABRAHÃO, Sérgio Silva; PEREIRA, Odilon Gomes. Desempenho agrônômico de capim Napier (*Pennisetum purpureum*) cultivado em sistemas alagados construídos. **ENGENHARIA NA AGRICULTURA/Engineering in Agriculture**, v. 19, n. 5, p. 469-477, 2011.

ESTELITA, M. E. M.; RODRIGUES, A. C. Subsídios Estruturais à caracterização do sistema caulinar em Cyperaceae. **Revista Brasileira de Botânica**, 30 (3): p. 401-409, jul.-set. 2007. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbb/v30n3/06.pdf>>. Acesso em: 17/03/2011.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FACUNDO, V.A.; MOREIRA, L.S. Estudo fitoquímico e farmacológico dos constituintes fixos e voláteis de *Hedychium coronarium* J. Koen. (Zingiberaceae). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 45., 2005, Belém. **Anais...** Belém, Associação Brasileira de Química, 2005.

GONÇALVES, R.F., (Coordenador). **Desinfecção de efluentes sanitários**. PROSAB. Vitória – ES, 2003. 422 p.

IWA. Specialist group on the use of macrophytes in water pollution control, **Constructed wetlands for pollution control: processes, performance, design and operation – scientific and technical report n.8**. London – UK. IWA Publishing. 2000. 156p.

JOLY, C.A.; BRANDLE, R. 1995. Fermentation and adenylate metabolism of *Hedychium coronarium* J. G. Koenig (Zingiberaceae) and *Acorus calamus* L. (Araceae) under hypoxia and anoxia. **Functional Ecology**, v. 9, n. 3, p. 505-510.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

JORDÃO, E.P. e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª Edição. ABES, Rio de Janeiro, 2011. 969 p.

KISSMANN, K. G, GROTH, D. Plantas infestantes e nocivas. São Paulo: **Basf Brasileira**, 1991. p. 590-593.

LIN, Y. F, JING, S. R., LEE, D. Y., CHANG, Y. F., CHEN, Y. M., SHIH, K. C. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. **Environmental Pollution**, v.134, p.411-421, 2005.

LONGHI-WAGNER, H.M.; SILVEIRA, G. H. Cyperceae Juss. no Morro Santana – Porto Alegre e Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia**, Porto Alegre, Série Bot.: v. 63 (2), p. 295-320, jul./dez. 2008. Disponível em: Acesso em: 18/03/2011.

LORENZI, H. 2000. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarium. 608 p

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. **Plantas Ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. 4 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 1088 p.

MACEDO, J. F. O gênero *Hedychium koening* (Zingiberaceae) no Estado de Minas Gerais. **Daphne**, v. 7, n. 2, p. 27-31, 1997.

MANCUSO, P.C.S. (2003) – **Tecnologia de reúso de água**. In: MANCUSO, P.C.S. & SANTOS, H.F. (editores). *Reúso de Água*. 1ª ed. 558p., p.291-398. Núcleo de Informações em Saúde Ambiental da USP – NISAM – USP. Barueri/SP.

MARA, D. D., PEARSON, H. Artificial freshwater environmental: Waste stabilization ponds. **In Biotechnology**, v. 8, p. 177-206, 1986.

MANNARINO, C. F. Wetlands para tratamento de lixiviados de aterros sanitários: experiências no aterro sanitário de Piraí e no aterro metropolitano de Gramacho (RJ). **Eng. Sanit. Ambient.**, Jun 2006, vol.11, no.2, p.108-112. ISSN 1413-4152

MERKEL, J. A. **Managing livestock wastes**. Avic Publishing Company, Inc., 1981, 419p.

MESS, J. B. R. **Uso de aguapé (*Eichhornia crassipes*) em sistema de tratamento de efluente de matadouro e frigorífico e avaliação de sua compostagem**. 2006. 70 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3 ed., Metcalf & Eddy Inc., 1991. 1334 p.

OLESZKIEWICZ, J. A., KOZIARSKI, S. Kinetics of piggery wastes treatment in anaerobic lagoons. **Agric. Wastes**, v. 16, n. 1, p. 13-25, 1986.

OLIVEIRA, C. M. R. **Aplicabilidade de sistemas simplificados para estações de tratamento de esgoto de cidades de pequeno porte**. Juiz de Fora: Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2014, 80 p. Monografia.

OTIS, R. J. “Demythologizing the septic tank”. **Anais: On-site wastewater treatment**, Sae, vol 6, pp. 1-5. Chicago – Illinois/USA, 1991

PEARSON, H. et al. The influence of pond geometry and configuration on facultative and maturation waste stabilization pond performance and efficiency. **Wat. Sci. Tech.**, v. 31, n. 12, p. 129-139, 1995.

PHILIPPI, L. S., COSTA, R. H. R. & SEZERINO, P. H. “Domestic effluent treatment through integrated system of septic tank and root zone”. **Conferência: 6th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control**, Águas de São Pedro/SP, out/1998.

POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Macrófitas aquáticas e perifiton: aspectos ecológicos e metodológicos**. São Carlos: RiMa. 2003. 134 p.

POTT, Vali J.; POTT, Arnildo. **Plantas aquáticas do Pantanal**. Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (Corumbá, MS). Brasília: Embrapa, Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000

REBOUÇAS, A. da C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. DA C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil capitais ecológicos usos e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 269-324

ReCESA 2 – **Rede Nacional de Extensão e Capacitação Tecnológica em Saneamento Ambiental**. Esgotamento sanitário: Operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos: Guia do Profissional em Treinamento – nível 2. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Belo Horizonte, 2008. 112p.

REED, S. C.; CRITES, R. W.; MIDDLEBROOKS, E. J. **Natural systems for waste management and treatment**. 2a edição, McGraw-Hill, 1995. 434 p.

REIS, A. P. **Tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes espécies de macrofitas no tratamento de esgoto**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2016, 78 p. Dissertação de Mestrado.

SANTANA, O. A.; CUNIAT, G.; ENCINAS, J. I. **Contribuição da vegetação rasteira na evapotranspiração total em Diferentes ecossistemas do bioma cerrado**, Distrito Federal. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 269-281, abr.-jun., 2010.

SILVESTRE, A. e PEDRO-DE-JESUS, M. (2002). **Tratamento de Águas Residuais Domésticas em Zonas Húmidas Artificiais**. Monografia de Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Biológica e Química.

SOUSA, A. A. P. Remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos e indicadores bacteriológicos em lagoas de estabilização em escala real. Campina Grande, 1994. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba.

SOUSA, J. M. G. Wastewater stabilization lagoon design criteria for Portugal. **Water Science and Technology**., v. 19, n. 12, p. 7-16, 1987.

USEPA. **Constructed wetlands treatments of municipal wastewaters**. EPA/625/r-99/010, September/1999, Cincinnati, Ohio. 152 p.

USEPA. **Wastewater technology fact sheet wetlands: Subsurface flow**. Washington: EPA 832-F-00-023, Office of Water, 2000. 8p

VAN DER HOEK, W.; HASSAN, U. M.; ENSINK, J. H. J.; FEENSTRA, S.; RASCHID-SALLY, L.; MUNIR, S.; ASLAM, R.; ALIM, N.; Hussain, R.; MATSUNO, Y. Urban Wastewater: A valuable resource for agriculture; a case study from Horoonabad, Pakistan. Research Report 63. Colombo: International Water Management Institute. 2002

VALENTIM, M.A.A. **Desempenho de leitos cultivados (“constructed wetland”) para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação.** Campinas: FEAGRI – Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, 210 p. (Tese de Doutorado). 2003.

VALENTIM, M. A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado.** 1999. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VEGETTI, A. C. **Synflorescence typology in Cyperaceae.** *Annales Botanici Fennici*, Helsinki, 40: p. 35-46, fev. 2003. Disponível em: . Acesso em: 18/03/2011.

VILELA, T. R. **Distribuição da macrófita aquática *Cyperus giganteus* Vahl. na bacia hidrográfica do rio Itanhaém, litoral sul do Estado de São Paulo.** Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2012, 23 f. Trabalho de conclusão de curso.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol. 1 – Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** 3ª Edição. Editora UFMG - Belo Horizonte, 2005. 452 p.

WOOD, A. Constructed wetlands in water pollution control: fundamentals to their understanding. **Water Science and Technology**, v.32, n.3, p.21-29, 1995.