



Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita Filho"  
Programa Interunidades

unesp 

Mestrado

---

Engenharia Civil e Ambiental

**LARISSA MIRANDA-SANTOS**

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E DA EFICIÊNCIA DO  
CAPIM VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) EM SISTEMAS  
HÍBRIDOS DE ALAGADOS CONSTRUÍDOS**

Bauru  
2012



**LARISSA MIRANDA-SANTOS**

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E DA EFICIÊNCIA DO  
CAPIM VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) EM SISTEMAS  
HÍBRIDOS DE ALAGADOS CONSTRUÍDOS**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Luiz de Oliveira

Bauru  
2012



Miranda-Santos, Larissa.

Avaliação do desenvolvimento e da eficiência do capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) em sistemas híbridos de alagados construídos/ Larissa Miranda-Santos, 2012

65 f. il.

Orientador: Eduardo Luiz de Oliveira

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2012

1. *Wetlands*-construídos. 2. Efluente sanitário. 3. Fitorremediação . I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, João Gilberto dos Santos e Aparecida Carolina Miranda dos Santos, e ao meu irmão Marcelo Miranda Santos, por todo afeto, apoio e incentivo.

Aos meus avós, Manoel Bento Miranda Filho e Aparecida Zapon Miranda por serem exemplos de força e perseverança, à minha tia, Maria Miranda, que sem dizer nada me ensinou o valor da vida.

Ao meu namorado, Arilson Carmo, pela paciência, apoio e suporte técnico.

*Grazie al mio maestro, il prof. Dr. Luiz Eduardo de Oliveira per tutti gli orientamenti, dedizione, fiducia e amicizia.*

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de estudos.

À FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo financiamento do Projeto Regular nº 2010/12445-9.

Aos funcionários e professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, especialmente ao o Prof. Dr. Gustavo Henrique Ribeiro da Silva por estar sempre disponível e colaborar muito com o projeto; ao Sr. Figueiredo que tem colaborado com a manutenção da ETE e conseqüentemente com o andamento dos projetos.

À Prof<sup>a</sup>. Dra. Jandira Liria Biscalquini Talamoni, que foi mais que orientadora durante a iniciação científica, foi uma amiga que com seu exemplo me inspirou a fazer pesquisa.

Aos amigos da Fundação Logosófica, Adriana Fernandes, André Milano, Carlos Bernardo González Pecotche, Fernanda Morais, Fernando Orosco, Giuliana Ferraz, Karina Bambrila, Letícia Arantes, Lívia Gabos, Paulo Mezinger, Renata Orosco, Silvia Ferraz e Vicente Carrilho, por todos os intercâmbios e compreensões.

Aos amigos de mestrado, Maria Clara Godinho Somer Avelino, Thais Von Dreifus, Patricia Hamada, Rosiane Argenton e Silva, Ricardo Hideo Taniwaki, Rodrigo Bellezoni e Victor Fernandes Nascimento, por todas as contribuições, “congressos”, apoio e troca de experiências.

Aos meus amigos da “família Vila Verde”, Alex Rafael Branti, Adriana Nascimento de Jesus, Claudemir Kuhn Faccioli, Danilo Augusto Pinheiro dos Santos, Fábio Carbonaro, Lívia Ferraz Damasceno, Mariana Lopes Grassi, Patrícia Nunes, Raquel Kunh Faccioli, Thalita Quatrocchio Liporini e José Fernando Zerbetto, por todos os almoços de domingo, festas de aniversário, ceias de Natal.

Aos meus amigos, Suelen Scarpa de Mello, Silvio Izidro da Silva e Vivian Maria Zeraik, Climene Tolentino Aguiar, Tatiana de Carvalho Duarte, Rodrigo Fumes, Liz Muñoz, Gabriel Fernandes, Rodrigo Bonilha, Fábio Vanni por serem meus amigos, dividirem a casa e fazerem parte da minha vida. **Obrigada a todos!**

*“Meu amigo”, dizia-lhe em eloquentes parágrafos, “tudo que fazemos aqui, na Terra, tem de ser grato a nosso espírito e encerrar um valor positivo para nossa existência. Quero dizer-lhe com isto que todos os nossos atos devem estar intimamente relacionados entre si, em permanente função criadora. O inefável prazer de viver não se experimenta enquanto não começamos a olhar nossa vida como o principal trabalho que devemos empreender.*

*Disso haverá de surgir uma obra de arte que nos pertencerá eternamente.”*

***O Senhor de Sándara, Carlos B. G. Pecotche.***

## Resumo

Reproduzir processos naturais é um desafio necessário quando se deseja que os resultados de um experimento sejam o mais próximo do real. Tratando-se do tratamento de águas residuárias, a utilização de sistemas de “alagados construídos” apresenta-se como melhor maneira encontrada para a introdução de tecnologias de otimização de processos. Construídos em forma de tanques, esses sistemas são formados por leitos impermeabilizados com mantas geotextil. Para fins experimentais foram criados 6 tanques para análises conduzidas durante 12 meses. Tais sistemas demonstraram sua eficiência, uma vez que foram projetados para utilizar plantas que, sob condições ideais, atuam de forma a contribuir com o processo de depuração do esgoto. O tipo de vegetação utilizada nessa pesquisa foi o capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) que, implantado nos leitos de cultivo, atuou como extrator de nutrientes necessários para o seu crescimento e, conseqüentemente transferindo oxigênio para o substrato, favorecendo o desenvolvimento de biofilmes ativos responsáveis pela degradação dos compostos orgânicos que poluem os recursos hídricos. O capim Vetiver utilizado nessa pesquisa é, portanto, o determinante direto da depuração do meio e pode ser considerado como ideal quando se verifica que trata-se de uma gramínea perene e tolerante a condições ambientais adversas. O capim Vetiver exige cortes periódicos, mas por sua notoriedade e resistência, tornou-se objeto dessa pesquisa que, objetivou avaliar a eficiência da gramínea em sistemas de tratamento do tipo “alagados construídos”. Para tanto foram realizadas análises físico-químicas do efluente bem como análises nutricionais e morfológicas do vegetal. Verificou-se, assim, que as amostras retiradas durante o experimento apresentaram significativas taxas de eficiência de remoção dos poluentes. Diante desses resultados, aspectos como altas taxas de produção de massa seca e massa verde por metro quadrado foram observadas nos leitos preenchidos com poliestireno expandido. Concluiu-se, portanto, que o capim Vetiver pode ser considerado um eficiente depurador de esgotos, já que demonstrou resultados expressivos quanto às altas taxas de crescimento que estão diretamente relacionadas à retirada dos nutrientes responsáveis pela poluição dos efluentes.

**Palavras-chave:** *wetlands-construídos*, efluente sanitário, fitorremediação.

## Abstract

Reproduced the natural processes is a necessary challenge when want the results of an experiment is the closest to the real. In the case of wastewater treatment, the use of systems "constructed wetlands" appears as the best way found to technology introduction of process optimization. Built in the form of tanks, this system is formed by impermeable beds. For scientific purposes were created 6 tanks for analysis during 12 months. These systems have demonstrated their efficiency as they were designed to use plants that, under ideal conditions, act in ways that contribute to the process of purification of sewage. The type of vegetation used in this research is the Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) that implanted in the beds of culture, acts as an extractor of nutrients required for their growth and consequently transfer oxygen to the substrate favoring the development of active biofilms responsible for the degradation of organic compounds that pollute water resources. The Vetiver grass used in this study is therefore the determinant of the purification and can be considered as ideal when it finds that it is a perennial grass and tolerant of harsh environmental conditions. The Vetiver grass exiges periodic shutdowns but for his notoriety and endurance, became the object of this research that has to evaluate the efficiency of the Vetiver grass when used at "constructed wetlands". Were made physic-chemical analyzes of the effluent as well as nutritional and morphological analyzes of the plant. It was found thus that the samples taken during the experiment showed significant rate of removal efficiency of pollutants. Given these results, aspects such as high rates of production of green mass, dry mass by square meter were found in beds filled with expanded polystyrene. It was concluded therefore that Vetiver grass can be considered an efficient sewage debugger since demonstrated significant results as to high growth rates that are directly related to the removal of nutrients responsible for polluting effluents.

**Key-words:** Constructed wetlands, sanitary effluent, phytoremediation.

## Lista de Figuras

Figura 1: Representação das divisões dos tipos de alagados construídos por tipo de fluxo. .....	11
Figura 2: Sistema de Alagados Construído com macrófitas aquáticas flutuantes. (Fonte: SALATI, 2000).....	12
Figura 3: exemplares de macrófitas aquáticas mais utilizada: A - <i>Phragmites australis</i> . B - <i>Scirpus lacustres</i> . C - <i>Typha latifolia</i> .....	13
Figura 4: Sistema de alagado construído com fluxo superficial com macrófitas aquáticas flutuantes .....	14
Figura 5: Sistema de alagados construídos com fluxo subsuperficial vertical (Fonte SALATI, 2000).....	15
Figura 6: Exemplar de Vetiver ( <i>Chrysopogon Zizanioides</i> ) (Foto: Larissa Miranda-Santos) .....	18
Figura 7: Detalhe do sistema radicular do Vetiver (Fonte: google imagens).....	20
Figura 8: Localização da Estação de Tratamento de Esgoto na área do Campus da UNESP –Bauru-SP (Fonte: Google earth) .....	21
Figura 9: Representação gráfica da ETE. ....	22
Figura 10: Tanque 1H, preenchido com pedra e areia na camada superficial (Foto: Larissa Miranda-Santos) .....	23
Figura 11: Tanque 2H, preenchido com poliestireno expandido moído e areia na área superficial (Foto: Larissa Miranda-Santos) .....	24
Figura 12: Tanque 3H, preenchido apenas com areia (Foto: Larissa Miranda-Santos) .....	24
Figura 13: Tanque 1V, preenchido com pedra e camada superficial de areia (Foto: Larissa Miranda-Santos) .....	25
Figura 14: Tanque 2V, preenchido com poliestireno expandido e areia na camada superficial (Foto: Larissa Miranda-Santos) .....	26
Figura 15: Tanque 3V, preenchido apenas com areia (Foto: Larissa Miranda-Santos) .....	26
Figura 16: Valores médios de condutividade ao longo do monitoramento.....	31
Figura 17: valores médios de pH.....	33
Figura 18: Valore médios de alcalinidade (mg/L).....	34
Figura 19: Valores médios de cor (Pt/ Co).....	36
Figura 20: concentrações médias de Oxigênio Dissolvido (mg/L) .....	40
Figura 21: Altura dos vegetais nas seções dos leitos de fluxo horizontal .....	49

Figura 22: Capim Vetiver antes da primeira colheita, março/2012 (Foto: Larissa Miranda-Santos) .....	50
Figura 23: Capim Vetiver logo após a primeira colheita, março/2012 (Foto: Larissa Miranda-Santos) .....	51
Figura 24: Capim Vetiver 30 dias após a primeira colheita, abril/2012 (Foto: Larissa Miranda-Santos) .....	51
Figura 25: Faixa inicial de um dos leitos de fluxo horizontal. ....	52

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Valores médios de Condutividade ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) ao longo do monitoramento. ....	32
Tabela 2: Valores médios de pH ao longo do monitoramento. ....	33
Tabela 3: Valores médios de alcalinidade ( $\text{mg}/\text{L}$ ) ao longo do monitoramento. ....	34
Tabela 4: Valores de eficiência de remoção de STD( $\text{mg}/\text{L}$ ) .....	35
Tabela 5: Valores médios de Cor (Pt/Co) obtidos ao longo do monitoramento.....	36
Tabela 6: Concentrações médias de DQO e DBO no ponto de Entrada .....	38
Tabela 7: Valores de eficiência de remoção de DBO.....	38
Tabela 8: Valores de eficiência de remoção de DQO .....	39
Tabela 9: Valores médios do OD ( $\text{mg}/\text{L}$ ) ao longo do monitoramento.....	41
Tabela 10: Valores de eficiência de remoção de fósforo total ( $\text{mg}/\text{L}$ ) .....	42
Tabela 11: Valores médios de Fósforo total ( $\text{mg}/\text{L}$ ) ao longo do monitoramento .....	42
Tabela 12: Valores de eficiência de remoção de fosfato ( $\text{mg}/\text{L}$ ).....	43
Tabela 13: Valores médios de Fosfato ( $\text{mg}/\text{L}$ ) ao longo do monitoramento.....	43
Tabela 14: Valores de eficiência de remoção de NTK.....	44
Tabela 15: Valores médios de NTK ( $\text{mg}/\text{L}$ ) ao longo do monitoramento.....	45
Tabela 16: Valores de eficiência de remoção de Nitrogênio Amoniacal .....	45
Tabela 17: Valores médios de Nitrogênio Amoniacal ( $\text{mg}/\text{L}$ ) ao longo do monitoramento. .....	46
Tabela 18: Valores de eficiência de remoção de Nitrito .....	46
Tabela 19: Valores de eficiência de remoção de Nitrato.....	47
Tabela 20: Valores médios de Nitrito ( $\text{mg}/\text{L}$ ) ao longo do monitoramento .....	47
Tabela 21: Valores médios de Nitrato ( $\text{mg}/\text{L}$ ) ao longo do monitoramento .....	48
Tabela 22: Altura média do vetiver nos leitos de fluxo horizontal (H) e nos leitos de fluxo vertical (V).....	49
Tabela 23: Altura média do vetiver nos leitos de fluxo horizontal (H) e nos leitos de fluxo vertical (V) após a primeira colheita. ....	50
Tabela 24: Produtividade de Massa Verde ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) e Massa Seca ( $\text{g}/\text{m}^2$ ).....	53
Tabela 25: Calculo do estoque de Nitrogênio ( $\text{g}/\text{m}^2$ ).....	54
Tabela 26: Calculo do estoque de fósforo ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) .....	55
Tabela 27: Calculo do estoque de potássio ( $\text{g}/\text{m}^2$ ).....	56

## Lista de Quadros

Quadro 1: Resumo das principais vantagens e desvantagens dos sistemas de alagados construídos.....	10
Quadro 2: Parâmetros, métodos e equipamentos utilizados .....	27

## Sumário

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>X</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
2.1 GERAL .....	4
2.2 ESPECÍFICOS .....	4
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
3.1 GERAÇÃO E TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS .....	5
3.2 NÍVEIS DE TRATAMENTO DE ESGOTO .....	7
3.3 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES POR ALAGADOS CONSTRUÍDOS .....	9
3.3.1. <i>Alagados Construídos com Plantas Aquáticas Flutuantes</i> .....	11
3.3.2 <i>Alagados Construídos com Plantas Aquáticas Emergentes</i> .....	12
3.3.3 <i>Alagados Construídos com Plantas Aquáticas Fixas Submersas e Sistemas combinados</i> .....	15
3.4 ESCOLHA DO SUBSTRATO .....	16
3.5 ESCOLHA DAS ESPÉCIES VEGETAIS.....	16
3.6 CAPIM VETIVER.....	18
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
4.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DA UNESP-BAURU.....	21
4.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS .....	27
4.3 ANÁLISES MORFOLÓGICAS E NUTRICIONAIS DO CAPIM VETIVER.....	28
4.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	29
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>31</b>
5.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS .....	31
5.1.1 <i>Condutividade, Alcalinidade e pH</i> .....	31
5.1.2 <i>Sólidos Totais Dissolvidos e Cor</i> .....	35
5.1.3 <i>Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido</i> .	37
5.1.4 <i>Fosfato e Fósforo total</i> .....	41
5.1.5 <i>Nitrogênio Total Kjeldahl, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito e Nitrato</i> .....	44
5.2 ANÁLISES MORFOLÓGICAS E NUTRICIONAIS DO CAPIM VETIVER.....	49

5.2.1	<i>Altura das plantas</i> .....	49
5.2.2	<i>Produtividade de massa verde e massa seca</i> .....	52
5.2.3	<i>Capacidade de extração de nutrientes</i> .....	54
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>59</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial e agrário, além de essencial, permite a melhoria da qualidade de vida, porém, se não realizados conscientemente podem causar grandes impactos aos recursos naturais. Neste sentido o uso indiscriminado dos recursos hídricos tem gerado problemas ecológicos, de saúde pública, de ordem social e econômica. Diante da atual situação fica evidente a necessidade da implantação de alternativas que não afetem o desenvolvimento econômico, e nem o ecossistema em questão.

O descarte de efluentes é resultado da atividade antrópica e é um fator impactante, assim com o intuito de preservar os recursos hídricos, tem se construído estações de tratamento de esgoto (ETE).

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada em 2008 pelo IBGE, mostrou que o Brasil possui 5.564 municípios, e apenas 3.069 possuem rede coletora de esgoto, desse total, apenas 1.587 tratam de alguma maneira o esgoto que coletam, e outros 1.482 lançam o efluente em rios, sem nenhum tipo de tratamento.

O desenvolvimento científico permitiu a elaboração de vários sistemas para o tratamento de efluentes, cada um com características diferentes, mas todos com o mesmo objetivo: recuperar as características naturais da água já utilizada. Em geral, o esgoto é coletado e tratado, tendo como produtos resultantes o efluente e o sedimento denominado de lodo.

No Brasil, 24,5% do esgoto é tratado por filtros biológicos, 12,4% é tratado em reatores anaeróbios e apenas 7,2% por alagados construídos (IBGE, 2008).

Devido ao reduzido custo de instalação e a adaptabilidade ao clima tropical, o sistema de tratamento de esgoto por alagados construídos, é uma alternativa que merece atenção, pois podem ser implantado em diferentes locais e com custos reduzidos.

Na literatura podemos encontrar esse sistema com nomenclaturas diferentes: Sistemas de Alagados Construídos (SAC), *Wetlands* - construídos, tratamento por zona

de raízes, banhados construídos, sistemas naturais para tratamento de esgoto, entre outros.

Os alagados construídos são sistemas projetados para utilizar plantas onde, naturalmente e sob condições adequadas, ocorrem processos físicos, químicos e bioquímicos para o tratamento das águas residuárias (MATOS et al., 2010).

O tratamento de águas residuárias em sistemas de alagados construídos reproduz, de certa maneira, os processos naturais; a diferença é a introdução de tecnologias com o objetivo de fazer com que o processo de depuração se desenvolva em condições controladas e em taxas mais elevadas, com baixo risco de contaminação ambiental. (FREITAS, 2006)

A principal aplicação desse sistema se dá no tratamento de esgotos domésticos, embora a utilização para o tratamento de efluentes industriais também é objeto de inúmeras pesquisas, mas por estes apresentarem características bastante variáveis, esta aplicação deve ser cuidadosamente analisada. (CALHEIROS et al., 2007)

A vegetação implantada nos leitos de cultivo atua como extratora de nutrientes necessários ao seu crescimento, além de transferir oxigênio para o substrato, permitindo a formação de zonas aeróbias em torno de rizomas e raízes. Essas plantas também favorecem o desenvolvimento dos biofilmes ativos que propiciam a degradação dos compostos orgânicos, depurando o meio. (FIA, et al, 2010)

Algumas características morfológicas e fisiológicas devem ser consideradas durante o processo de escolha da espécie vegetal, já que esta é de fundamental importância para o sucesso do projeto.

A espécie vegetal usada no sistema estudado neste trabalho é o capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), trata-se de uma gramínea perene que, segundo Truong (et al., 2008), suporta grandes variações de temperatura, de disponibilidade hídrica e de concentrações de nutrientes, além de ser tolerante a diferentes faixas de pH. O capim Vetiver não possui rizomas, seu sistema radicular cresce rapidamente e pode chegar a 3 ou 4 metros.

Esta gramínea é conhecida mundialmente pelo óleo essencial extraído de sua raiz e usado na indústria farmacêutica. Devido as suas características morfológicas, durante a década de 1980 foi utilizada para a conservação de solo, em campos de agricultura; na década de 1990 descobriu-se sua capacidade de estabilização de encostas e taludes, e a partir do ano 2000 passou também a ser utilizada em sistemas de tratamento de águas residuárias. (VIERITZ et al., 2010)

Os resultados obtidos neste projeto irão contribuir com os estudos do sistema de tratamento de esgoto implantado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Projeto FAPESP 2010/12445-9, em andamento), o qual trata o esgoto gerado pelo departamento de Educação Física que durante o período letivo, é frequentado por aproximadamente 330 pessoas e que, futuramente, irá tratar o efluente da Moradia Estudantil, que atenderá 32 alunos.

Anteriormente à construção desta ETE (Estação de Tratamento de Esgoto), o esgoto gerado pelo departamento de Educação Física era encaminhado a fossas negras. No projeto inicial da moradia estudantil estava prevista a construção de fossas sépticas para armazenamento do resíduo.

Um maior volume e informações de qualidade sobre o funcionamento, operação e características desse sistema contribuirão para a correção das eventuais falhas dos projetos. Um sistema bem pesquisado e adaptado às condições locais pode ser facilmente aplicado a pequenas comunidades ou propriedades rurais, assim, diminuindo as barreiras entre o conhecimento científico e sua aplicabilidade pela comunidade não científica.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento e o desempenho do Capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) na remoção de poluentes, quando aplicado em sistemas de tratamento de esgoto do tipo alagados construídos, e a eficiência deste.

### **2.2 Específicos**

Faz parte do trabalho os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a eficiência de tratamento do efluente sanitário proveniente do departamento de Educação Física pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), utilizando diferentes tipos de substrato;
- Avaliar a eficiência de tratamento do efluente nos períodos de férias e aula;
- Avaliar as condições morfológicas e nutricionais do Capim Vetiver; e;
- Analisar, entre areia, pedrisco e poliestireno, qual substrato é o mais adequado para o crescimento do Capim Vetiver;
- Verificar a relação entre a escolha da espécie vegetal e a eficiência da ETE na remoção de poluentes do esgoto sanitário após as análises físico-químicas do efluente e nutricionais, do Capim Vetiver.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Geração e tratamento de efluentes domésticos**

A importância da qualidade da água para o meio urbano está relacionada, principalmente, ao abastecimento da população. No entanto, devido ao crescimento da população e a sua concentração nos centros urbanos, vários outros aspectos devem ser considerados, tais como a poluição pela disposição de esgoto doméstico e industrial, que comprometem a qualidade e, conseqüentemente, a disponibilidade de água para o abastecimento, além de criar condições ambientais inadequadas à manutenção da qualidade de vida dos organismos aquáticos das pessoas. O aumento da demanda por água, bem como a diminuição de sua qualidade, causada pelo crescente processo de poluição, se intensificaram, principalmente, a partir do final da década de 1960, demonstrando que o desenvolvimento urbano sem qualquer planejamento ambiental resulta em prejuízos significativos para sociedade.

De acordo com Nascimento et al. (2005), a água apresenta, enquanto recurso natural, a função de fornecer insumo ao sistema produtivo; assimilar resíduos gerados por diferentes atividades de origem antrópica e prover utilidades estéticas e de lazer. Estes usos múltiplos, por sua vez, têm trazido sérios problemas para os sistemas aquáticos e, portanto, são necessários estudos que forneçam informações sobre suas condições e que subsidiem as tomadas de decisão para seu manejo e usos adequados (ESTEVEZ, 1998).

Apenas 28,5% dos municípios brasileiros realizam o tratamento do esgoto coletado. Na região sudeste, 95,1% dos municípios possuem rede coletora de esgoto, mas apenas 48,4% realizam algum tipo de tratamento. No estado de São Paulo, 78,4% dos seus municípios possuem tratamento de esgoto, mas essa realidade não é observada em outras regiões do Brasil. Na região Centro-oeste 25,3% dos seus municípios possuem sistemas para tratamento de esgoto, e na região Sul apenas 24,1%. As regiões Norte e Nordeste apresentam os piores quadros: no Nordeste, 45,7% dos municípios coletam esgoto e apenas 19% o tratam; no Norte, apenas 13,4% dos municípios tem rede coletora e apenas 7,6% possuem sistemas de tratamento. (IBGE, 2008)

Esgoto, efluente ou águas servidas são termos atribuídos a todos os resíduos líquidos provenientes de indústrias e domicílios, que necessitam de tratamento

adequado para que sejam removidas as impurezas, e assim, possam ser devolvidos à natureza sem causar danos ambientais e à saúde humana. Geralmente a própria natureza possui a capacidade de decompor a matéria orgânica presente nos rios, lagos e no mar. No entanto, no caso dos efluentes essa matéria orgânica apresenta-se em grande quantidade, exigindo um tratamento mais eficaz, realizada em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) que, basicamente, reproduz a ação da natureza de maneira mais rápida. (VON SPERLING, 1995).

O objetivo de se construir um sistema de esgotos sanitários em uma comunidade é o afastamento seguro e rápido do efluente através da rede coletora, que pode ser individual ou coletiva (fossas ou rede coletora), assim como o tratamento e disposição adequada dos esgotos tratados. Entre os benefícios alcançados, se pode citar a conservação dos recursos naturais; melhoria das condições sanitárias locais; eliminação de focos de contaminação e poluição; eliminação de problemas estéticos desagradáveis; redução das doenças ocasionadas pela água contaminada; redução dos recursos aplicados no tratamento de doenças e diminuição dos custos no tratamento de água para abastecimento (BRIX, 1993).

Menos de 1/3 dos municípios brasileiros coletam e tratam o esgoto, do volume total coletado apenas 68% é tratado. Das cidades que tratam o esgoto que coletam 317 utilizam filtros biológicos, 188 reatores anaeróbios, 565 processos oxidativos, 27 sistemas de lodos ativados, 431 lagoas anaeróbias, 131 lagoas aeróbias, 93 lagoas aeradas, 672 lagoas facultativas, 65 lagoas mistas, 238 lagoas de maturação, 20 fossas sépticas, 109 pelos sistemas de alagados construídos e 129 por outros tipos de tratamento. (IBGE, 2008)

O efluente líquido, mesmo após passar por tratamentos avançados, não recuperara as mesmas características naturais da água, e o destino do efluente tratado também merece atenção. Desde que os sistemas de tratamento foram desenvolvidos tem se buscado uma maneira adequada de dispor o esgoto tratado.

Neste contexto, a reutilização da água residuárias insere-se, no gerenciamento de recursos hídricos, como uma alternativa, auxiliando no combate à problemática da escassez hídrica.

Segundo Bernardi (2003), a atividade de irrigação é a maior consumidora de água, dentre os diversos usos desse recurso natural, sendo que consumos específicos variam bastante, dependendo do método de irrigação empregado. A natureza do solo, os tipos de exigências das diferentes culturas, as condições climáticas e os índices de

evaporação das regiões são elementos importantes para se definir o consumo de água para a irrigação. São vários os benefícios da água de reuso, proveniente de tratamento de esgotos na agricultura, podendo-se mencionar neste caso, a possibilidade de substituição parcial de fertilizantes químicos; um significativo aumento na produção, tanto qualitativo quanto quantitativo, além da economia da quantidade de água direcionada para a irrigação, que pode ser utilizada para fins mais nobres, como o abastecimento público.

Segundo Braga Filho & Mancuso (2002), essa prática, além de garantir a possibilidade de recarga do lençol freático, serve para fertirrigação de diversas culturas, bem como para fins de dessedentação de animais. A utilização de água proveniente de reuso é diferenciada para a irrigação de plantas não comestíveis (silvicultura, pastagens, fibras e sementes) e comestíveis (nas formas cruas e cozidas), necessitando essas de um nível maior de qualidade.

### **3.2 Níveis de Tratamento de Esgoto**

O objetivo geral de todos os tipos de tratamento de esgoto é devolver a água suas características naturais, e isto se torna mais próximo quanto maior for o nível de tratamento.

Os componentes do esgoto são divididos em três características principais (físicas, químicas e biológicas), que fornecem informações sobre o estado em que este se encontra. As principais características físicas são: temperatura, odor, cor e turbidez. Já as características químicas são divididas em matéria orgânica (grande parte dos sólidos presentes no esgoto) e matéria inorgânica (areia e outras substâncias minerais dissolvidas). Como características biológicas se destacam principalmente microrganismos, como bactérias, fungos e algas. (UCKER, 2012)

O tratamento dos esgotos é usualmente classificado nos seguintes níveis (SPERLING, 2005):

- Tratamento preliminar: ocorrem por meio de processos físicos, e tem o objetivo de remover sólidos grosseiros; podem ser feitos por sistemas de gradeamento, caixas de areia e caixas de gordura.
- Tratamento primário: tem como objetivo remover sólidos sedimentáveis e, conseqüentemente, parte da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) associada

à matéria orgânica. Para o tratamento primário geralmente são utilizados decantadores.

Nas regiões tropicais, onde se localiza a maioria dos países em desenvolvimento, o tanque séptico convencional é a instalação mais frequentemente utilizada no tratamento primário de esgoto doméstico. (KOOTATTEP et al., 2004).

- Tratamento secundário: representada por são processos predominantemente biológicos, o tem como objetivo principal a remoção da matéria orgânica.

O tratamento biológico é a forma mais eficiente de remoção da matéria orgânica dos esgotos. O próprio esgoto contém grande variedade de bactérias e protozoários que constituem as culturas microbiais mistas que processam os poluentes orgânicos. O uso desse processo requer o controle da vazão, a recirculação dos microorganismos decantados, o fornecimento de oxigênio e outros fatores. Os fatores que mais afetam o crescimento das culturas são a temperatura, a disponibilidade de nutrientes, o fornecimento de oxigênio, o pH, a presença de elementos tóxicos e a insolação. (VON SPERLING, 1995)

- Tratamento terciário: tem por finalidade a remoção de nutrientes, organismos patogênicos e metais pesados.

Esses níveis de tratamento podem ser alcançados por diferentes maneiras, e os principais métodos utilizados são:

- Operações físicas unitárias: que tem por objetivo eliminar as características físicas do efluente e consistem em sedimentação, flotação, filtração e gradeamento.
- Processos químicos unitários: realizados através de diferentes tipos reações químicas.
- Processos biológicos: são métodos de tratamento através da atividade biológica. (ICLEI, 2010)

De acordo com Almeida (2005), a estação de tratamento de esgotos destina-se à depuração dos esgotos produzidos na cidade. As etapas e os processos de tratamento

a serem selecionados são função dos fatores: tamanho da população, condições climáticas da região, área disponível para a estação, classe do corpo receptor.

### **3.3 Sistemas de tratamento de efluentes por alagados construídos**

Os primeiros estudos realizados sobre alagados construídos ou terras úmidas no Brasil decorreram das observações feitas nas várzeas amazônicas. Constatou-se que as características das águas dos lagos existentes ao longo do Rio Solimões no período de cheias, apresentavam modificações ao saírem destes, no período de vazantes. Estes sistemas têm importantes funções dentro dos ecossistemas onde estão inseridos, principalmente por regularem o fluxo das águas; por filtrarem naturalmente a água na medida em que esta escoar; controlarem a erosão, evitando o assoreamento dos rios; protegerem a biodiversidade, sendo área de refúgio da fauna terrestre e fornecendo o suprimento de alimentos para toda a cadeia alimentar, e também por serem local para reprodução e alimentação da fauna aquática (SALATI, 2000).

A primeira tentativa brasileira de utilização de sistemas de alagados construídos para purificação de águas foi feita por SALATI & RODRIGUES (1982), com a construção de um lago artificial nas proximidades de um córrego altamente poluído (Rio Piracicamirim), localizado em Piracicaba/SP.

Segundo Kadlec & Knight (1996), o principal objetivo da utilização de alagados construídos é a melhoria da qualidade da água, seguido por objetivos secundários, tais como a produção fotossintética e produção de energia, podendo também ser utilizados recreacionalmente, comercialmente e para a educação humana. Há muitos registros na literatura de estudos e experiências na remoção de nutrientes e contaminantes de esgotos urbanos e industriais por alagados construídos, com resultados bastante variáveis em função, basicamente, dos tipos de espécies químicas presentes nesses efluentes, da carga dos mesmos, da área alagável e do tipo de fluxo hidráulico.

Valentim (1999) relata que o tratamento de esgotos em alagados construídos é o resultado da união entre os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem por causa do filtro físico, da ação das comunidades bacterianas e das macrófitas. As bactérias são fundamentais para o tratamento do efluente, uma vez que são responsáveis pela degradação da matéria orgânica, por meio de processos anaeróbios e aeróbios. As

condições aeróbias são conseguidas principalmente devido ao fornecimento de oxigênio pelas raízes das macrófitas aquáticas.

Assim como os outros sistemas de tratamento de efluentes, o sistema por alagados construídos apresentam vantagens e desvantagens, que são citadas no **Quadro 1**, e devem ser consideradas juntamente com as características do efluente e a eficiência final desejada.

Quadro 1: Resumo das principais vantagens e desvantagens dos sistemas de alagados construídos.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo custo de construção (BRIX &amp; SCHIERUP, 1989)</li> <li>• Baixa demanda de manutenção (BRIX &amp; SCHIERUP, 1989).</li> <li>• Sistema energeticamente econômico (BRIX &amp; SCHIERUP, 1989).</li> <li>• Não exige mão de obra qualificada para operação (BRIX &amp; SCHIERUP, 1989).</li> <li>• São sistemas flexíveis e tolerantes a diferentes cargas poluidoras (BRIX &amp; SCHIERUP, 1989).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requerem grandes áreas construídas (OLIVEIRA, 2005).</li> <li>• Suscetível a invernos rigorosos (OLIVEIRA, 2005).</li> <li>• Menor desempenho em regiões temperadas (OLIVEIRA, 2005).</li> <li>• Necessário controle de plantas aquáticas indesejáveis e insetos (VON SPERLING, 2005).</li> <li>• Exige controle e manejo da espécie vegetal utilizada.</li> </ul>

Os alagados podem ser classificados de duas maneiras, em função do fluxo do efluente, como demonstrado na Figura 1 ou, como é mais comum encontrar na literatura, em função do tipo de vegetação utilizada: flutuantes, emergentes (que ainda se divide em 3 tipos), submersas ou sistemas combinados. (BRIX, 1993)

Os primeiros estudos realizados com alagados construídos foram conduzidos em sistemas que utilizavam principalmente macrófitas aquáticas. Este grupo de vegetais denominado de “macrófitas aquáticas” é o nome dado aos vegetais que habitam ambientes predominantemente aquáticos. Com o passar do tempo e com os resultados obtidos ao longo desses estudos, passou-se a estudar e utilizar vegetações

predominantemente terrestres, como as gramíneas. Devido a grande diversidade de plantas utilizadas nos sistemas de alagados construídos, é mais conveniente classificá-los de acordo com o fluxo do efluente. A Figura 1 é um fluxograma que mostra a divisão dos tipos de alagados construídos em função do fluxo hidráulico. Entretanto, neste trabalho para descrever os tipos de alagados construídos usou-se a divisão sugerida por Brix (1993).

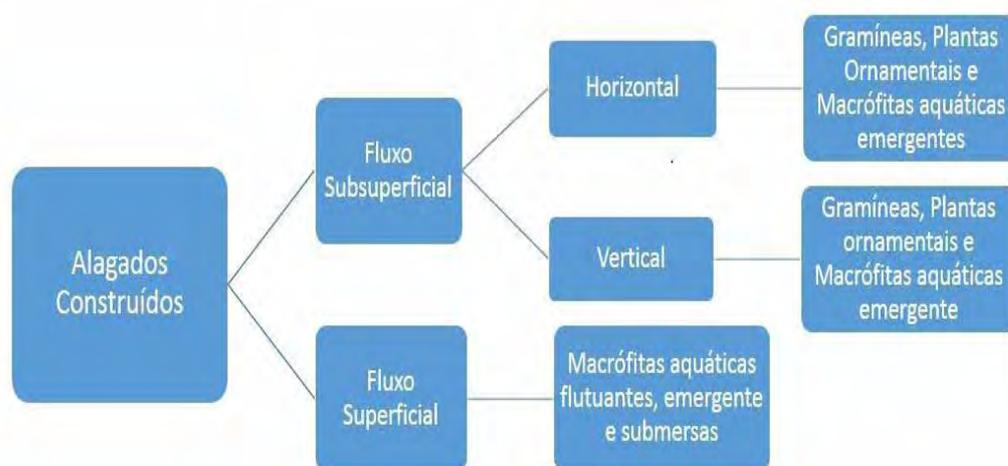


Figura 1: Representação das divisões dos tipos de alagados construídos por tipo de fluxo.

### 3.3.1. Alagados Construídos com Plantas Aquáticas Flutuantes

Este tipo de alagado construído é projetado para utilizar plantas que não tem seu sistema radicular fixos em algum tipo de sedimento. Segundo Becatto (2004), este sistema é formado por canais rasos (aproximadamente 0,70 m de profundidade), geralmente longos e estreitos, que podem conter apenas uma espécie de macrófitas ou uma combinação de espécies. A Figura 2, extraída de é a representação gráfica de um sistema de alagados construídos com utilização macrófitas aquáticas flutuantes.

Alguns projetos que utilizam esta técnica envolvem áreas com superfície livre de água para que o oxigênio atmosférico seja difundido no meio líquido e a eficiência do sistema na remoção de matéria orgânica e estabelecimento de condições que favoreçam a nitrificação, é decorrente da capacidade de transporte de oxigênio das folhas para as raízes e do extenso material suporte, proporcionado por estas últimas, para os microrganismos decompositores. A maior parte dos sólidos em suspensão é removida por sedimentação ou por adsorção do sistema radicular das plantas, sendo que o restante pode ser acumulado na superfície do sedimento (BRIX, 1993).

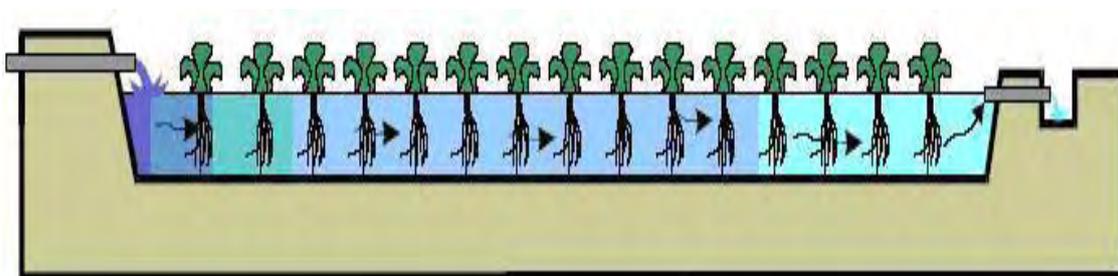


Figura 2: Sistema de Alagados Construído com macrófitas aquáticas flutuantes. (Fonte: SALATI, 2000)

### ***3.3.2 Alagados Construídos com Plantas Aquáticas Emergentes***

Nesta formato, são utilizadas plantas que possuem o sistema radicular fixo ao sedimento, enquanto o caule e as folhas permanecem parcialmente submersos. As espécies típicas de macrófitas aquáticas emergentes são conhecidas popularmente como juncos, sendo as espécies mais utilizadas em alagados construídos a *Phragmites australis*, a *Typha latifolia* e a *Scirpus lacustres*, a Figura 3 traz exemplos desses vegetais. (SALATI, 2000).

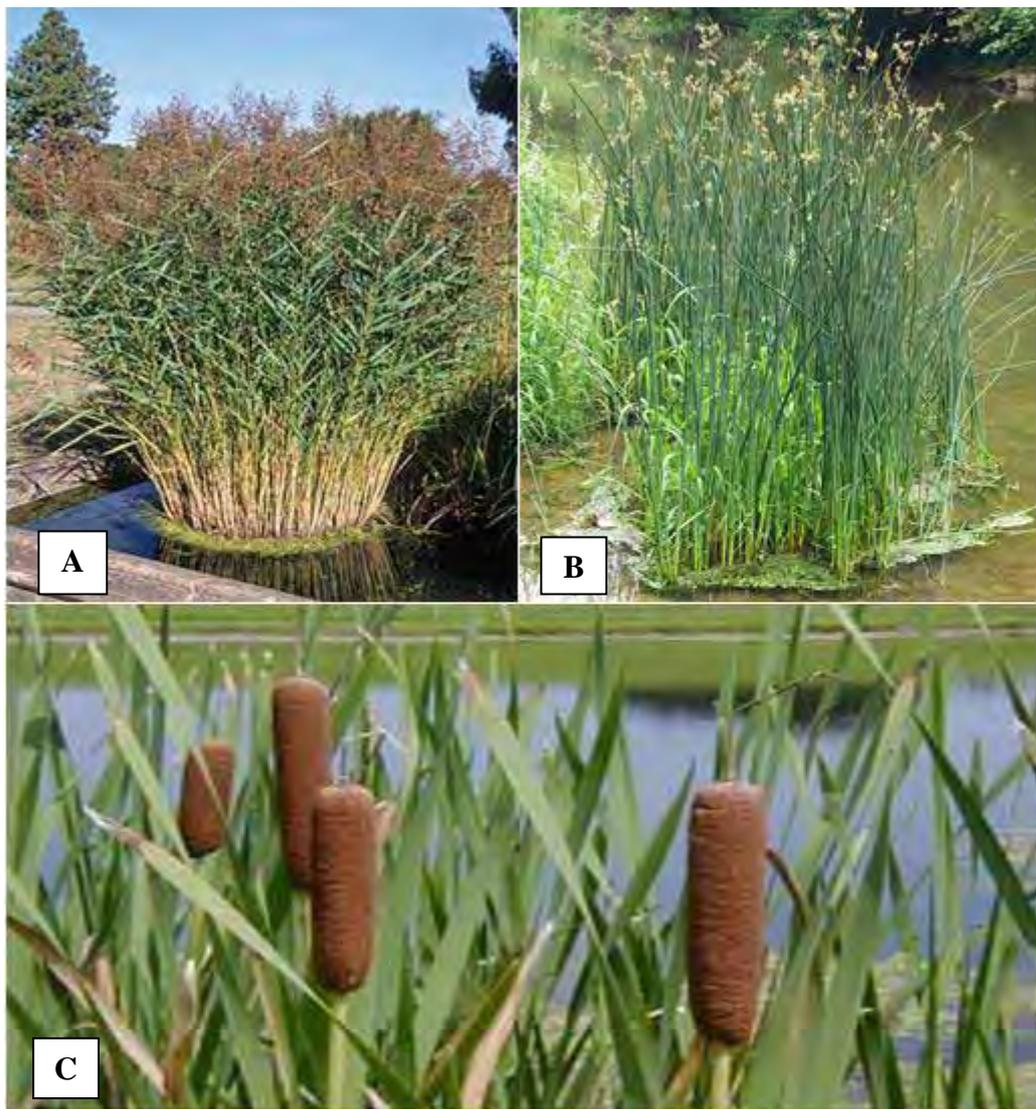


Figura 3: exemplares de macrófitas aquáticas mais utilizada: A - *Phragmites australis*.  
B - *Scirpus lacustris*. C - *Typha latifolia*

Devido às características morfológicas e fisiológicas do sistema radicular dos vegetais, que permitem a transferência de oxigênio para o substrato, ao redor dos mesmos formam-se pequenas regiões aeróbicas que, além de proporcionar a decomposição de matéria orgânica por processos aeróbicos, promovem um ambiente propício ao crescimento de bactérias nitrificantes (REED *et al.*, 1988 e BRIX, 1993).

Este tipo de alagado construído ainda é dividido em três tipos:

- **Alagados construídos de fluxo superficial:** Na configuração do leito, como apresentado na Figura 4 (Fonte: SALATI, 2000), deve se considerar um

substrato para enraizamento das plantas, e uma lâmina de água de 10 a 40 cm acima deste substrato. A purificação da água ocorre por diversos mecanismos de ação de microrganismos que se fixam na superfície do solo e na parte submersa do caule das plantas (BRIX, 1993).

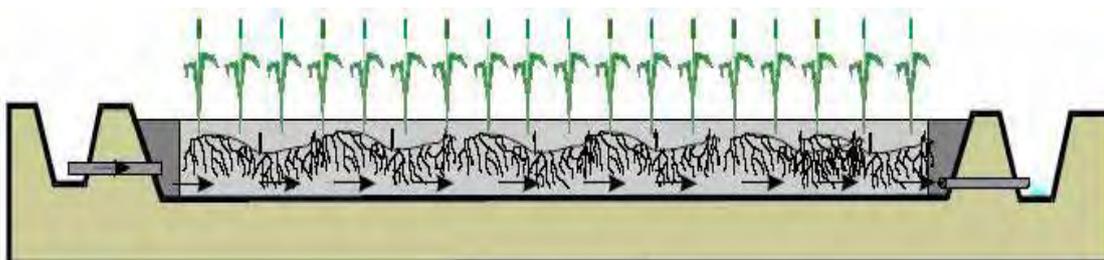


Figura 4: Sistema de alagado construído com fluxo superficial com macrófitas aquáticas flutuantes

- **Alagados construídos de fluxo subsuperficial horizontal:** envolve um canal longo, estreito e impermeabilizado, diferenciando-se do sistema anterior pelo fato das plantas serem cultivadas sobre uma camada de pedrisco, na qual o efluente a ser purificado é conduzido através de um fluxo horizontal. Conforme o efluente passa pela zona de raízes, a matéria orgânica é decomposta pelos microrganismos, o nitrogênio pode ser nitrificado, e o fósforo e os metais pesados se fixam nos sedimentos (BRIX, 1993).
- **Alagados construídos de fluxo subsuperficial vertical:** apresenta um desenho variável, embora geralmente sejam utilizados canais longos e com pouca profundidade, como apresentado na figura 5. O mecanismo de distribuição do afluente assemelha-se em alguns aspectos às valas de filtração, já que o mesmo é lançado sobre uma camada de solo ou areia, pelo qual transpassa através de um fluxo vertical, sendo o efluente tratado coletado por drenos localizados na porção inferior dos sistemas. (BRIX, 1993)

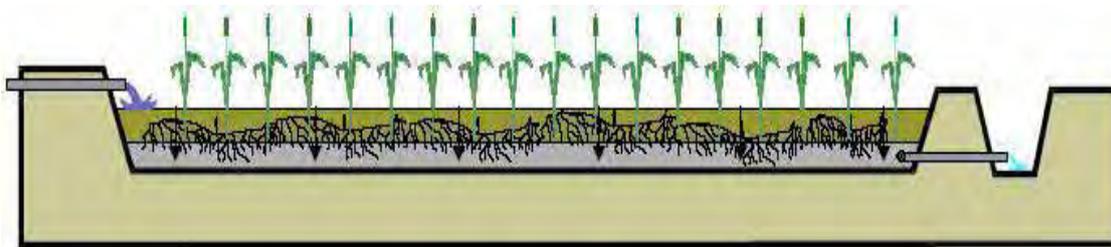


Figura 5: Sistema de alagados construídos com fluxo subsuperficial vertical (Fonte SALATI, 2000).

### ***3.3.3 Alagados Construídos com Plantas Aquáticas Fixas Submersas e Sistemas combinados***

Os alagados construídos, para utilizar macrófitas fixas e submersas, envolvem canais longos e estreitos, com profundidade variável, nos quais são cultivadas plantas aquáticas submersas. As macrófitas são cultivadas em um substrato, e a profundidade da lamina de água varia em torno de 1 metro (BRIX, 1993).

Os projetos que utilizam a combinação das diferentes técnicas de alagados construídos permitem a intensificação do desempenho dos sistemas e do dimensionamento dos mesmos, de acordo com as condições locais e especificações requeridas (BRIX, 1993). Segundo Salati (2000), a combinação destes métodos depende do problema a ser resolvido, da qualidade do efluente a ser tratado, da eficiência final desejada na remoção de poluentes e contaminantes, da área disponível, do interesse da utilização da biomassa produzida e do interesse paisagístico.

### 3.4 Escolha do Substrato

A seleção do meio suporte está diretamente relacionada com o tipo de escoamento e a remoção de contaminantes desejada. Não se deve utilizar um meio suporte que contenha alto teor de argila porque os contaminantes, ao invés de serem degradados pelos microrganismos, tenderão a acumular-se no substrato e, após saturação, serão novamente liberados para o efluente (DUARTE, 2002).

As características físicas (uniformidade, porosidade e condutividade hidráulica) influenciam nos processos que ocorrem durante a depuração do esgoto e consequentemente no desempenho do sistema, devendo então, ser o meio suporte (substrato) cuidadosamente selecionado (UCKER, 2012).

Os substratos utilizados atualmente como suporte de crescimento para as plantas e para as bactérias são vendidos comercialmente, como é o caso da areia grossa, pedrisco, pedras britadas ou pedregulhos, que possuem um valor comercial elevado para a aplicação nesses sistemas, em decorrência do grande volume de material a ser utilizado. Nesse sentido, o uso de materiais alternativos, tais como bambu picado, pneu picado, isopor reciclado, conchas, entre outros, tem-se mostrado bastante eficaz (AVELINO, 2012).

### 3.5 Escolha das espécies vegetais

A escolha da espécie vegetal a ser implantada é de fundamental importância para o sucesso do projeto. Segundo Zanella (2008), a vegetação utilizada deve suportar áreas permanentemente saturadas e com constante fluxo de poluentes, devem ser preferencialmente nativas devido à maior facilidade de adaptação as condições climáticas, e também deve ser considerado a possibilidade de transmissão de doenças e de possíveis alterações na estrutura genética do ecossistema local.

Outro aspecto extremamente importante, relacionado à escolha da vegetação é relativo às espécies consideradas exóticas e invasoras, que podem trazer em longo prazo um ônus maior que o bônus obtido em um curto período.

Uma espécie exótica bastante estudada é a *Eichrnia crassipes*, também conhecida como aguapé. Salati (2000), afirma que esta planta tem recebido muita atenção pelas suas características de robustez associadas a uma grande capacidade de crescimento

vegetativo, além da resistência a águas altamente poluídas, e que apresentam grandes variações de nutrientes, pH, substâncias tóxicas, metais pesados e de temperatura.

Segundo Thomaz & Bini (1998), a introdução do aguapé (*Eicchornia crassipes*) é um exemplo clássico de introdução de espécies exóticas. Esta macrófita aquática é classificada como uma das principais espécies invasoras em ecossistemas aquáticos.

A real função da vegetação no tratamento de efluentes ainda é bastante discutida, com pesquisas afirmando que a contribuição da vegetação para o tratamento do esgoto é pequena, enquanto outras mostram o contrário (ZANELLA, 2008).

As plantas presentes nos alagados também requerem nutrientes para o seu crescimento e reprodução, sendo a absorção de tais nutrientes realizada pelas raízes. Verifica-se que uma elevada quantidade destes nutrientes é assimilada e convertida em biomassa, podendo ser posteriormente colhida. Caso não ocorra a colheita, os nutrientes que foram incorporados à planta retornam à água pelos processos de decomposição das espécies vegetais. A vegetação também pode suportar uma diversa vida selvagem, sendo *habitat* para pássaros, répteis e anfíbios (BRIX, 1994; 1997; ABRANTES, 2009)

Além de participar ativamente do processo depurativo, as plantas absorvem água do esgoto e a liberam para a atmosfera, num processo denominado transpiração, que somado à água evaporada da superfície do solo constitui a evapotranspiração. Este processo, segundo Truong et al. (2008), ocorre nas estações de tratamento de esgoto com plantas, eliminando ou reduzindo o volume do esgoto.

Embora praticamente nenhum trabalho leve em consideração a evapotranspiração, em sistemas de tratamento de esgoto por alagados construídos, a porcentagem de água perdida por este fator deve ser considerada, a fim de não se subestimar os resultados de eficiência do sistema. A redução do volume do esgoto numa estação de tratamento faz com que os cálculos de eficiência, baseados apenas na concentração de determinado atributo, resultem em valores subestimados (UCKER, 2012). Uma opção para equalizar esta equação seria medir a evapotranspiração, ou os volumes de entrada e saída do sistema, porém nenhuma das opções são frequentemente utilizados por elevar os custos de instalação da ETE.

Para maximizar a remoção de poluentes, especialmente no que diz respeito à remoção de fósforo e metais, a vegetação de zonas úmidas construídas deve ser cortada ou colhida com frequência durante a estação de crescimento (ARIAS et al., 2005).

### 3.6 Capim Vetiver

O capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), também conhecido vulgarmente como Capim Cheiroso ou Falso Patchuli, demonstrado na Figura 6, é uma gramínea (Poaceae) perene, conhecida mundialmente pelo óleo essencial que é extraído de sua raiz e usado na indústria farmacêutica, como aromatizante ou fixador de perfume; na indústria alimentícia, como flavorizantes e também como inseticida natural. Segundo o Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (2003), sua produtividade normal é de 3 a 5 ton/ha de raízes secas, o que corresponde de 60 – 100 kg de óleo essencial, economicamente valorizado.

O óleo de Vetiver foi, recentemente, testado quanto às suas propriedades antioxidantes, carcinogênicas e termiticidas. Dos resultados obtidos, pode ser concluído que o óleo de vetiver possui atividades biológicas multifuncionais, demonstrando ser não somente um excelente antioxidante natural como um termiticida alternativo. No que diz respeito ao seu potencial anticarcinogênico, o óleo de vetiver demonstrou poder ser a chave para novas drogas contra cânceres específicos, já que inibiu o crescimento, em até 89%, de três tipos de células cancerosas testadas (HYUN-JIN, et al., 2005)



Figura 6: Exemplar de Vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) (Foto: Larissa Miranda-Santos)

O Capim Vetiver demonstra as altas taxas de crescimento de uma gramínea C4, como indicado pelos valores de eficiência do uso de radiação solar (RUE) de 18 kg / ha por MJ/m<sup>2</sup>. Este valor é comparável com os dados de outras gramíneas C4, como o milho (*Zea mays* L.), com um valor de 16 kg / ha por MJ/m<sup>2</sup>, e cana de açúcar (*Saccharum officinarum*), com um valor de 18 kg / ha por MJ/m<sup>2</sup>, e muito maior do que a RUE de gramíneas C3, como uma espécie de grama nativa da Austrália (*Cynodon dactylon*) de 5,3 kg / ha por MJ/m<sup>2</sup>. Sua elevada taxa de crescimento, combinada à sua tolerância a diferentes condições ambientais, sugere que Vetiver seria uma planta ideal para utilização em larga escala no tratamento de efluentes, desde que seja periodicamente cortada. A colheita não só estimula o crescimento vegetativo, mas também exporta nutrientes (VIERITZ et al., 2010; TRUONG, et al., 2008).

De acordo com Andra et al. (2009), o Capim Vetiver tem grande potencial para ser utilizado como fitorremediador em áreas contaminadas por chumbo. Em pesquisas realizadas em plantas hidropônicas, o Vetiver acumulou até 19.800 mg de chumbo por kg de matéria seca da raiz, e 3.350mg/kg de chumbo nos tecidos da parte aérea.

Makris et al. (2007) pesquisou a possível assimilação do 2,4,6-trinitrotolueno (TNT – composto químico carcinogênico e mutagênico usado na indústria bélica) pelo Capim Vetiver, e concluiu que apesar da cinética de absorção ser lenta, o vegetal é eficiente na remoção do TNT do meio aquoso. Além de remover o poluente, acredita-se que a planta seja capaz de fitodegradar o TNT, pois não foram encontrados resíduos do poluente nos tecidos da parte aérea da planta.

Mucciarelli et al. (1998) também realizaram pesquisas visando à utilização do Vetiver em técnicas de bioengenharia e fitorremediação nas regiões mediterrâneas, e também chegaram a resultados satisfatórios, que subsidiaram a tomada de decisões que envolvem a utilização destas espécies.

Há também pesquisas relacionadas ao controle da poluição aquática pela Capim Vetiver. Na China este foi utilizado para remoção da poluição de dois rios. Após 3 semanas, a eficiência de remoção de Fosforo total no rio I foi de 99,3% e no rio II foi de 97,3%. A eficiência de remoção de nitrogênio no rio I, após 4 semanas, foi de 71%, e no rio II, após 5 semanas, foi de 74,2% (ZHENG et al., 1997 apud TRUONG & HART, 2001).

O Vetiver possui algumas características diferenciais e relevantes na escolha da espécie para integrar o sistema de tratamento de efluentes (TRUONG, et al., 2008):

- Não possui rizomas, e seu sistema radicular fino e maciço pode atingir de 3 a 4 metros, como observado na Figura 7.
- Possui caules eretos e rígidos.
- Possui alta resistência a pragas, doenças e incêndios.
- Apresenta tolerância a extremas variações climáticas como secas prolongadas, inundações, submersões e temperaturas extremas de  $-15^{\circ}\text{C}$  a  $55^{\circ}\text{C}$ .
- Tem habilidade para voltar a crescer muito rapidamente depois de ter sido afetada por secas, geadas, salinidade e condições adversas depois que o tempo melhora ou potenciadores de solo são adicionados.
- Possui alto nível de tolerância a herbicidas e pesticidas.
- Apresenta-se altamente eficiente absorvendo nutrientes dissolvidos, tal como N e P e metais pesados, água poluída.
- É altamente tolerante ao crescimento médio elevado de acidez, alcalinidade, sodicidade e magnésio.
- Apresenta-se altamente tolerante a Al, Mn e metais pesados como As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se e Zn nos solos.
- É intolerante ao sombreamento e, a longo prazo, pode levar a planta a morte.



Figura 7: Detalhe do sistema radicular do Vetiver (Fonte: google imagens)

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Estação de Tratamento de Esgoto da UNESP-Bauru

A Estação de Tratamento de Esgoto está instalada nas dependências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), na cidade de Bauru, Estado de São Paulo – Brasil. Foi projetada para tratar o efluente gerado no Departamento de Educação Física e na Moradia Estudantil da Universidade.

O município de Bauru (Figura 8) localiza-se nas coordenadas geográficas 22,31° Latitude Sul e 49,06° Longitude Oeste, no centro-oeste do estado de São Paulo, com uma área de 673,5 Km<sup>2</sup> e uma população estimada de 359.429 habitantes, sendo cerca de 95 % dessa população, urbana (IBGE, 2010)



Figura 8: Localização da Estação de Tratamento de Esgoto na área do Campus da UNESP –Bauru-SP (Fonte: Google earth)

O sistema de tratamento de esgoto, esquematizado na Figura 9, utiliza um sistema híbrido de alagados construídos de fluxo subsuperficial horizontal e vertical. A espécie vegetal usada é o Capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*).

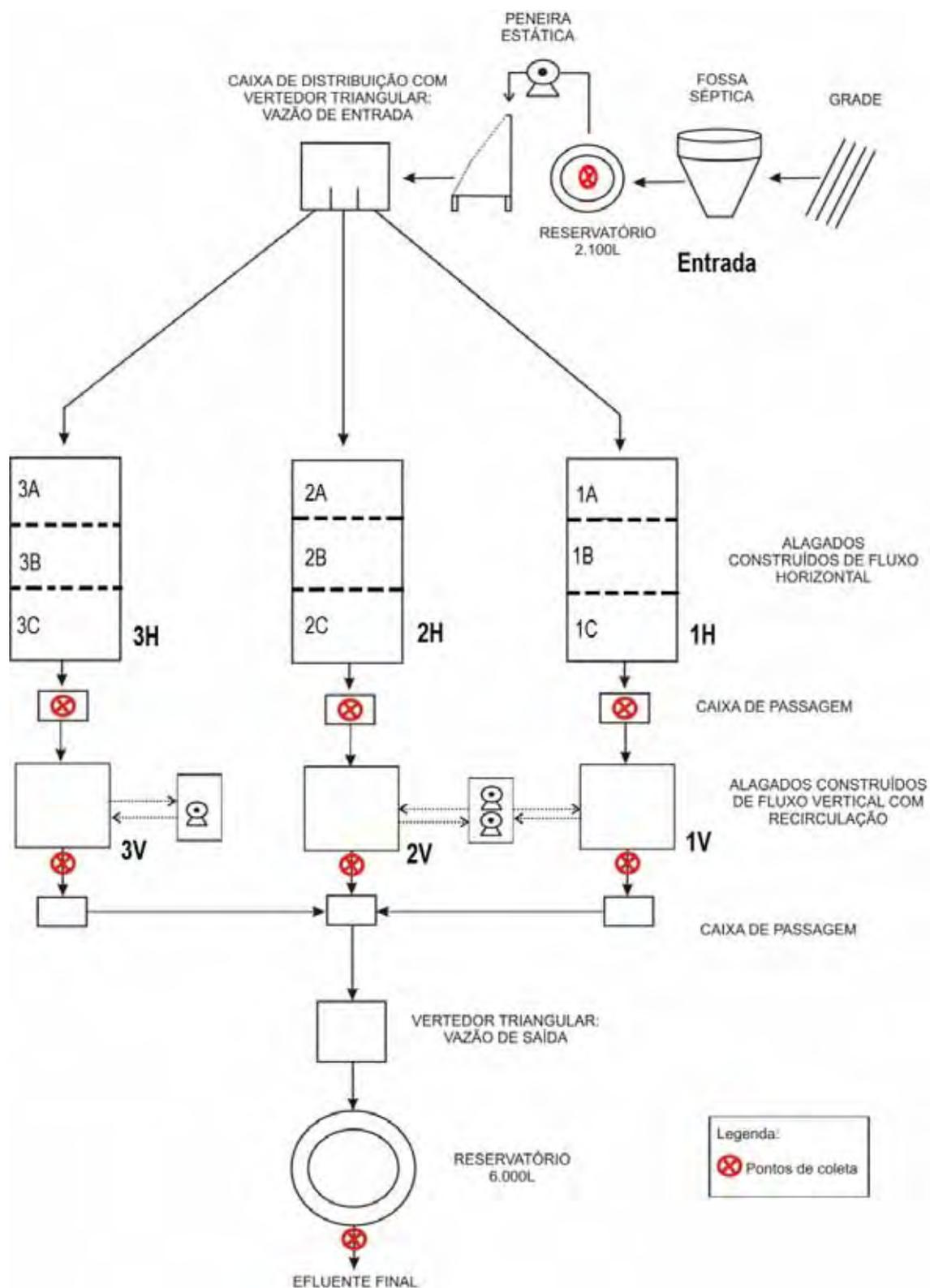


Figura 9: Representação gráfica da ETE.

Todo o processo de tratamento do efluente é composto por 5 fases:

- **Tratamento preliminar:** composto por um sistema de gradeamento, para reter sólidos grosseiros, e uma peneira estática hidrodinâmica, com fenda de 0,7mm, para reter sólidos mais finos.
- **Tratamento primário:** formado por um decantador para remoção de sólidos sedimentáveis, com capacidade de 5500 litros.
- **Tratamento secundário:** o conjunto de três leitos de alagados construídos de fluxo horizontal subsuperficial com 9 x 4,5 m, sendo cada leito composto por um tipo de substrato (Figuras 10, 11 e 12)

O substrato do tanque 1H é composto por pedra e areia, o do tanque 2H é composto por poliestireno expandido (conhecido comercialmente como Isopor) e moído, e o tanque 3H foi preenchido com areia. Os três tanques tem um total de 91 exemplares de Vetiver e o espaçamento entre eles é de 0,6 m.



Figura 10: Tanque 1H, preenchido com pedra e areia na camada superficial (Foto: Larissa Miranda-Santos)



Figura 11: Tanque 2H, preenchido com poliestireno expandido moído e areia na área superficial (Foto: Larissa Miranda-Santos)



Figura 12: Tanque 3H, preenchido apenas com areia (Foto: Larissa Miranda-Santos)

- **Tratamento terciário:** formado por três leitos de alagados construídos de fluxo vertical com recirculação, com dimensões de 3,2 x 3,2 m e 0,8 m de profundidade. O tanque 1V apresentado na Figura, foi preenchido com areia e pedra, o tanque 2V (Figura 14) com poliestireno expandido e moído, e o tanque 3V com areia (Figura 15). Todos os tanques possuem 25 exemplares de Vetiver e o espaçamento entre eles é de 0,6m. A representação esquemática do perfil dos leitos de fluxo vertical é a apresentada na Figura 15.



Figura 13: Tanque 1V, preenchido com pedra e camada superficial de areia (Foto: Larissa Miranda-Santos)



Figura 14: Tanque 2V, preenchido com poliestireno expandido e areia na camada superficial (Foto: Larissa Miranda-Santos)



Figura 15: Tanque 3V, preenchido apenas com areia (Foto: Larissa Miranda-Santos)

- **Desinfecção:** cloração feita no reservatório final, por tabletes de cloro estabilizado, vendidos comercialmente. Este processo é resultado de outro projeto de pesquisa, desenvolvido por outro professor do Departamento de Engenharia Civil da UNESP, e não foi avaliado nesta dissertação.

#### 4.2 Análises físico-químicas

Os parâmetros físico-químicos analisados estão agrupados no Quadro 2 e seguem a metodologia proposta no APHA (2005).

Quadro 2: Parâmetros, métodos e equipamentos utilizados

<b>Parâmetro</b>	<b>Método</b>	<b>Equipamento Utilizado</b>
Alcalinidade	Titulação	Vários
Condutividade	Potenciométrico	Condutivímetro
pH	Potenciométrico	Medidor de pH (pHâmetro)
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	Potenciométrico	Condutivímetro
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Barométrico	Incubadora e medidor de DBO
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Colorimétrico	Espectrofotômetro
Oxigênio Dissolvido (OD)	Potenciométrico	Oxímetro
Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	Colorimétrico	Espectrofotômetro
Nitrogênio Amoniacal	Colorimétrico/Potenciométrico	Espectrofotômetro
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	Colorimétrico/Potenciométrico	Espectrofotômetro
Nitrito (NO <sub>2</sub> )	Colorimétrico/Potenciométrico	Espectrofotômetro
Fósforo total	Colorimétrico/Potenciométrico	Espectrofotômetro
Fosfato	Colorimétrico/Potenciométrico	Espectrofotômetro

A partir dos resultados obtidos para a concentração dos nutrientes foi realizado o cálculo da eficiência de remoção (%) (equação 1) dos parâmetros físico-químicos. Nestes cálculos não foram consideradas as perdas resultantes do processo de

evapotranspiração, por falta de equipamento adequado para esta medição. Os parâmetros analisados foram:

- Demanda Química de Oxigênio
- Demanda Bioquímica de Oxigênio
- Fósforo Total
- Fosfato
- Nitrogênio Amoniacal
- Nitrogênio Total Kjeldahl
- Nitrito
- Nitrato
- Nitrogênio Amoniacal
- Sólidos Totais Dissolvidos

$$(1) \quad E = (C_i - C_f / C_i) \times 100$$

*E- Eficiência (%)*

*C<sub>i</sub> – Concentração Inicial (mg/L)*

*C<sub>f</sub> – Concentração Final (mg/L)*

### 4.3 Análises morfológicas e nutricionais do Capim Vetiver

Para avaliar o desempenho do Vetiver, foram observadas as seguintes características morfológicas: tamanho da parte vegetativa (altura das folhas) e coloração das folhas, além das análises nutricionais da planta:

- Determinação das concentrações de macro e micronutrientes, realizados no Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia da UNESP - Botucatu
- Produtividade de massa verde (PMV): foi realizada a pesagem da biomassa logo após o corte da área foliar da planta com auxílio de balança digital (FREITAS, 2006).
- Produtividade de matéria seca (PMS): o material foi seco em estufa com circulação de ar a 65° C por 72 horas.

- Cálculo do estoque (equação 2) de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na biomassa (HENARES, 2008):

$$(2) \quad E = M \times \frac{C}{100}$$

*E* – estoque (g/m<sup>2</sup>)

*M* – biomassa seca (g/m<sup>2</sup>)

*C* – concentração de N ou P (mg/g de matéria seca)

#### 4.4 Condução do experimento

Houve dois períodos distintos de funcionamento da ETE, o período de férias escolares, e o período de aula, quando ocorrem todas as atividades acadêmicas, portanto, com vazões diferentes, que foram de aproximadamente 3.500L/dia e 5.000 L/dia. O período de aula, denominado “Aula 1”, corresponde aos meses de novembro e dezembro de 2011; “Férias 1” corresponde aos meses de janeiro e fevereiro de 2012; “Aula 2” abarca os meses de março a junho; “Férias 2”, representa o mês de julho e “Aula 3” vai de agosto a outubro de 2012. Devido as diferenças de vazão e concentração de nutrientes no afluente, os dados foram analisados separadamente.

As coletas foram realizadas semanalmente, de novembro de 2011 a outubro de 2012. Os pontos de coleta, como demonstrado na figura 9, foram determinados em função da entrada e da saída do efluente em cada etapa do tratamento, para assim se realizar os cálculos de eficiência de remoção dos poluentes. As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento (Faculdade de Engenharia (FEB)/Departamento de Água e Esgoto de Bauru – DAE)

Os dados coletados que não apresentavam confiabilidade foram descartados. Durante alguns meses, houveram problemas de infraestrutura na universidade, como falta de energia, o que impossibilitou obter dados confiáveis nestas ocasiões.

O primeiro ponto de coleta foi nomeado de Entrada, os pontos correspondentes aos leitos de fluxo horizontal e vertical preenchidos com areia são os pontos 1H e 1V; os preenchidos com poliestireno correspondem aos pontos 2H (horizontal) e 2V (vertical); o ponto 3H corresponde ao leito horizontal preenchido com areia, o 3V ao vertical, preenchido com areia, e o último ponto de coleta foi chamado de Saída.

Foi realizado o tratamento estatístico dos dados obtidos com as análises físico-químicas utilizando o Teste T, com auxílio do Microsoft Excel para comparação entre as médias de todos os parâmetros. Estas comparações foram feitas em todas as fases do tratamento, portanto as comparações foram feitas da seguinte maneira:

- Entrada – Saída
- Entrada - 1H
- Entrada – 2H
- Entrada – 3H
- 1H – 1V
- 2H – 2V
- 3H – 3V

As coletas da parte vegetativa do Capim Vetiver foram realizadas em março de 2012, 6 meses após o plantio e 5 meses após o início da operação do sistema, e em novembro de 2012, 8 meses após a primeira coleta. Para observar melhor o desempenho do Capim Vetiver nos tanques de fluxo subsuperficial horizontal, estes foram divididos em 3 seções: parte inicial chamada de A; seção intermediária, chamada de B e seção final, C. As amostras controle foram plantadas diretamente no solo, em uma determinada área da ETE, e não receberam nenhum tipo de insumo, nem foram irrigadas artificialmente.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

#### 5.1.1 Condutividade, Alcalinidade e pH

Segundo Menezes (2005), a condutividade elétrica é indicadora da quantidade de sais existentes na coluna de água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes orgânicos. Os valores médios de condutividade no período de aula foram superiores aos valores obtidos durante o monitoramento feito nas férias, como pode ser observado na Figura 16. Também é possível observar que houve a diminuição desses valores ao longo do tratamento.

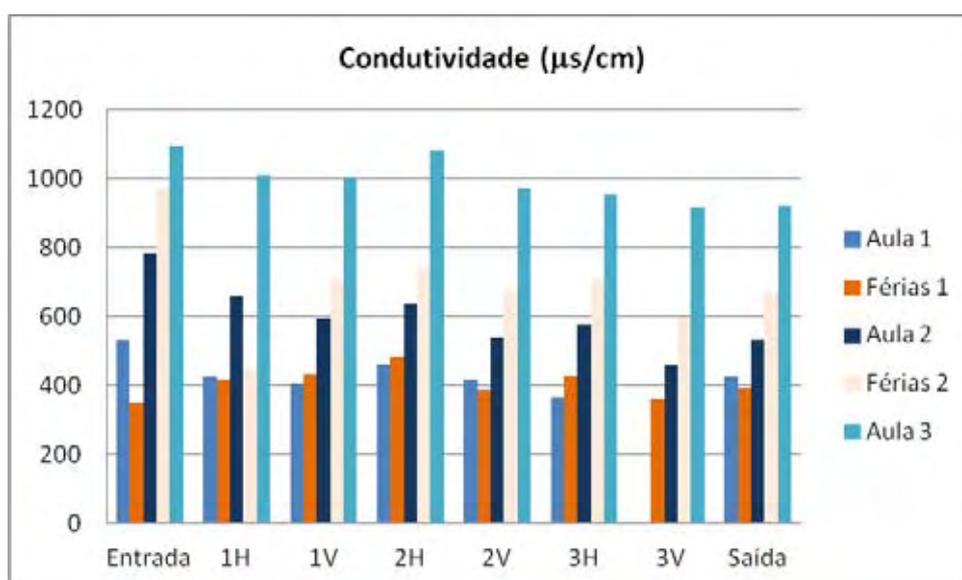


Figura 16: Valores médios de condutividade ao longo do monitoramento

Segundo Zanella (2008), a condutividade é diretamente proporcional à quantidade de sais que uma solução contém; uma das prováveis causas para a diminuição da condutividade é a utilização de cátions e ânions pela vegetação no seu metabolismo.

Assim como os valores de condutividade e pH, não se costuma fazer os cálculos de eficiência de remoção desses parâmetros, portanto, não é possível determinar qual leito apresentou o melhor desempenho, em termos de eficiência, sendo possível apenas

fazer inferências sobre os resultados obtidos para a concentração. Para a condutividade houve diferença de concentração entre os períodos, sendo que os de férias sempre apresentaram valores menores, entretanto, a diminuição dessa concentração ao longo do tratamento foi pequena, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Valores médios de Condutividade ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) ao longo do monitoramento.

	<b>Entrada</b>	<b>1H</b>	<b>2H</b>	<b>3H</b>	<b>1V</b>	<b>2V</b>	<b>3V</b>	<b>Saída</b>
<b>Aula 1</b>	532	427	463	367	406	416	-	426
<b>Férias 1</b>	353	419	483	430	431	388	361	391
<b>Aula 2</b>	784	657	634	575	596	538	459	533
<b>Férias 2</b>	968	443	743	706	703	675	594	670
<b>Aula 3</b>	1095	1010	1079	953	1003	973	916	920

Com a aplicação do teste estatístico “Teste T”, para avaliar se há diferença significativa entre as médias (com nível de significância de 0,05) foi possível observar que há diferença entre as médias, com exceção das comparações feitas entre os pontos Entrada – 3H, 3H – 3V, e Entrada – Saída, durante o período Aula 2. No período “Aula 1” o leito 3V não estava em operação devido a alguns problemas de infiltração que foram solucionados, portanto não há resultados de condutividade, alcalinidade e pH.

O pH, de acordo com Esteves (1998), é uma das variáveis ambientais mais importantes, e é também uma das mais difíceis de ser interpretada, por estar associada a um grande número de fatores que podem influenciá-la. As pequenas variações observadas nos valores de pH podem ser explicadas pelas concentrações de alcalinidade das amostras, visto que esta variável possui capacidade de tamponamento. Como é possível observar na figura 17 e na tabela 2, os valores médios de pH variaram entre 5,9 e 7,8. Os valores médios da alcalinidade estão apresentados na figura 18 e na tabela 3, na qual pode se observar o aumento da média em relação aos períodos, e a pequena diminuição ao longo do tratamento.

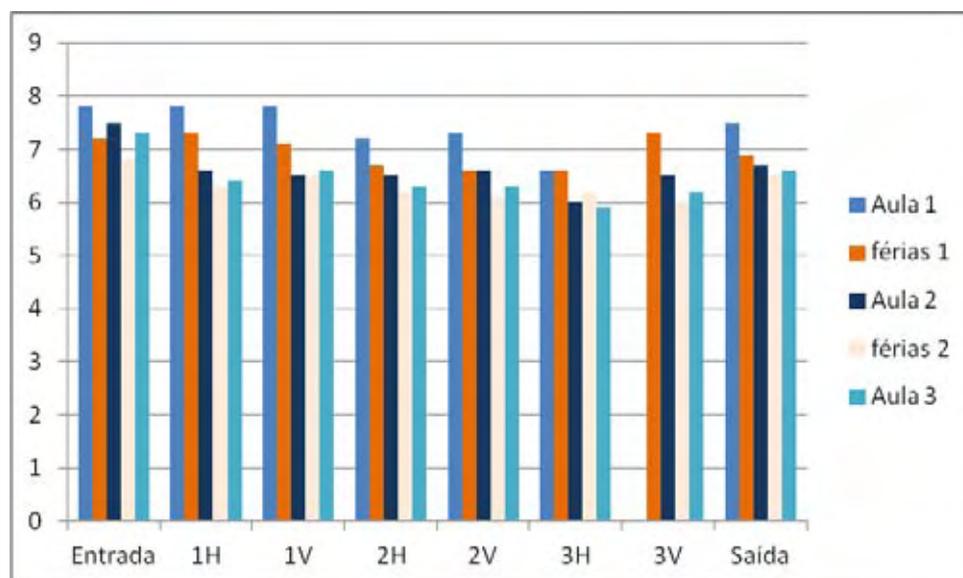


Figura 17: valores médios de pH

Tabela 2: Valores médios de pH ao longo do monitoramento.

	Entrada	1H	2H	3H	1V	2V	3V	Saída
<b>Aula 1</b>	7,8	7,8	7,2	6,6	7,8	7,3	-	7,5
<b>Férias 1</b>	7,2	7,3	6,7	6,6	7,2	6,7	7,3	6,9
<b>Aula 2</b>	7,5	6,6	6,4	6,3	6,3	6,5	6,5	6,7
<b>Férias 2</b>	6,7	6,2	6,2	6,2	6,5	6,1	6,1	6,4
<b>Aula 3</b>	7,3	6,4	6,3	5,9	6,6	6,3	6,1	6,6

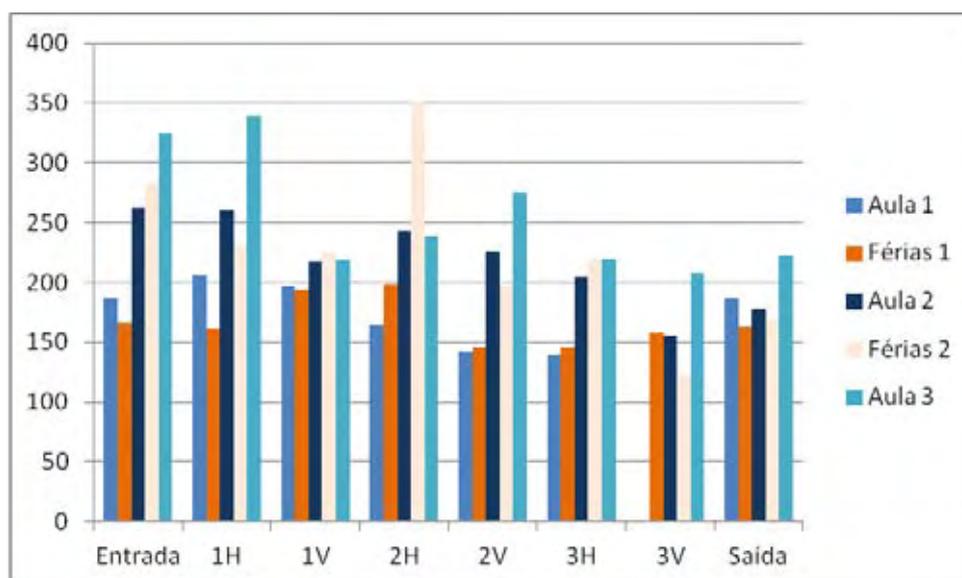


Figura 18: Valore médios de alcalinidade (mg/L)

Tabela 3: Valores médios de alcalinidade (mg/L) ao longo do monitoramento.

	<b>Entrada</b>	<b>1H</b>	<b>2H</b>	<b>3H</b>	<b>1V</b>	<b>2V</b>	<b>3V</b>	<b>Saída</b>
<b>Aula 1</b>	186	206	164	140	197	142	-	186
<b>Férias 1</b>	166	161	198	147	194	146	158	164
<b>Aula 2</b>	285	269	243	204	218	226	155	178
<b>Férias 2</b>	283	231	351	218	225	197	123	170
<b>Aula 3</b>	324	339	239	219	271	248	208	223

O teste estatístico “Teste T” foi aplicado com nível de significancia de 0,05 para verificar se havia diferença significativa entre as médias de alcalinidade, após o efluente passar pelos tratamentos. A grande maioria das médias de alcalinidade apresentaram difença significativa, com exeção das comparações Entrada – 3H e Entrada – Saída no periodo Aula 2; e as comparações Entrada – 2H, Entrada – 3H, 3H – 3V e Entrada – Saída no periodo Aula 3. Já para o pH houve diferença significativa entre todas as médias.

### 5.1.2 Sólidos Totais Dissolvidos e Cor

Os sólidos são compostos por substâncias dissolvidas e em suspensão, de composição orgânica e ou inorgânica. Analiticamente, são considerados sólidos dissolvidos aquelas substâncias ou partículas com diâmetros inferiores a 1,2  $\mu\text{m}$  e em suspensão quando as partículas tem diâmetros superiores (CETESB, 1992). Neste trabalho foram avaliados apenas os Sólidos Totais Dissolvidos (STD). As concentrações de STD nos períodos de aula foram superiores às encontradas no período de férias, e a eficiência de remoção dos poluentes é diretamente proporcional as concentrações, como observado na Tabela 4. O tanque 3V, não estava em funcionamento durante o período “Aula 1”, por este motivo, não resultados de STD e Cor.

As eficiências de remoção nos períodos de aula foram melhores do que as eficiências de remoção no período de férias, e em ambos períodos os leitos de fluxo horizontal (1H, 2H e 3H) foram mais eficientes. O motivo da ausência de valores nos períodos “Férias 1” e “Férias 2” é a falta de eficiência de remoção de STD.

Tabela 4: Valores de eficiência de remoção de STD(mg/L)

	<b>Aula 1</b>	<b>Férias 1</b>	<b>Aula 2</b>	<b>Férias 2</b>	<b>Aula 3</b>
<b>1H</b>	18%	-	6%	-	20%
<b>2H</b>	13%	-	22%	-	3,5%
<b>3H</b>	31%	-	29%	41%	18%
<b>1V</b>	5%	-	9%	-	3%
<b>2V</b>	10%	20%	4,5%	52%	8%
<b>3V</b>	-	16%	20%	14%	Não
<b>Total</b>	<b>20%</b>	<b>-</b>	<b>34%</b>	<b>-</b>	<b>16%</b>

O teste estatístico “Teste T” foi aplicado com nível de significância de 0,05 para verificar se havia diferença significativa entre as médias de Sólidos Totais Dissolvidos, após o efluente passar pelos tratamentos. A maioria das médias apresentaram diferença significativa, com exceção das comparações Entrada – 1H, Entrada 2H e Entrada – 3H período Aula 2.

As variáveis cor e turbidez estão diretamente associadas a “aparência” e à limpeza da água, porém não retratam especificamente a qualidade e a segurança do

afluente (Zanella, 2008). A variável turbidez não foi avaliada neste trabalho, porém o parâmetro Cor pode ser observado na Figura 19 e na Tabela 5.

As diferenças entre os períodos de aula e férias foram consideráveis; o leito que apresentou as maiores concentrações, além do ponto de Entrada, foi o leito 3H, no qual era observado durante as coletas a coloração alaranjada no efluente, provavelmente em decorrência de resíduos de argila presentes na areia. Não há valores de cor no leito 3V durante o período “Aula 1” pois o este leito não estava em operação, e os resultados do leito 2H durante o período “Férias 2” ficaram muito próximos de zero.

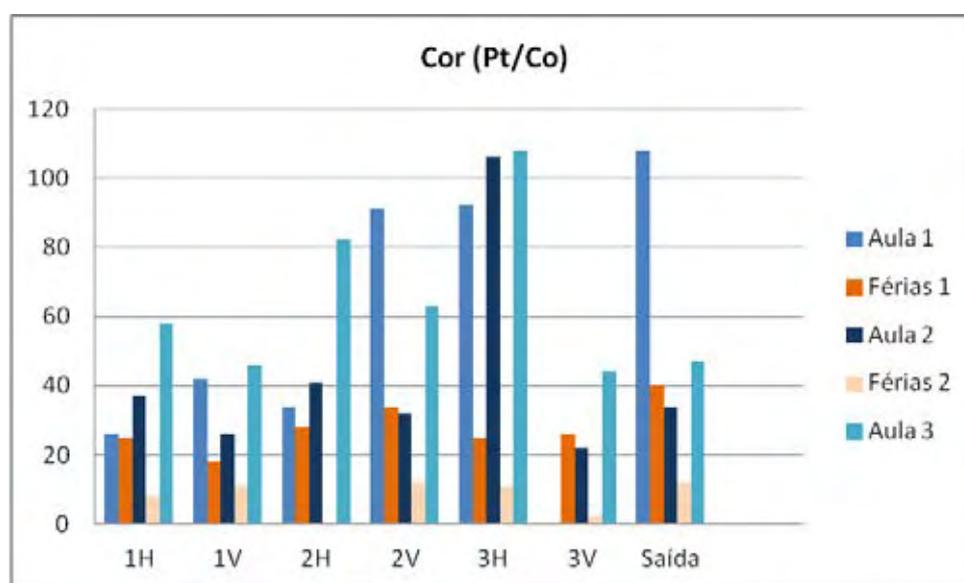


Figura 19: Valores médios de cor (Pt/ Co)

Tabela 5: Valores médios de Cor (Pt/Co) obtidos ao longo do monitoramento.

	Entrada	1H	2H	3H	1V	2V	3V	Saída
<b>Aula 1</b>	144	26	34	91,5	41,67	90,75	-	108,25
<b>Férias 1</b>	152	25	28	25	18	33,75	26	39,6
<b>Aula 2</b>	245	37	41,08	105,46	26,45	31,55	21,91	33,87
<b>Férias 2</b>	216	8	-	11	11	12	2	12
<b>Aula 3</b>	337	57,34	82	108,84	45,34	62,17	43,34	46,67

O teste estatístico “Teste T” foi aplicado com nível de significância de 0,05 para verificar se havia diferença significativa entre as médias obtidas para o parâmetro Cor após o efluente passar pelos tratamentos. As comparações que não apresentaram diferença significativa foram: Entrada – 1H, Entrada 2H no período Aula 1. No período Aula 2, os que não apresentaram diferença significativa foram as comparações Entrada-1H, Entrada – 2H, Entrada – 3H e Entrada – Saída. Já no período Aula 3, as únicas comparações que apresentam diferença significativa foram as realizadas em comparações 1H -1V e 2H – 2V. No período Férias 2, a exceção foi a comparação feita entre pontos Entrada – Saída, o qual apresentou diferença significativa entre as médias.

### ***5.1.3 Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido***

Nos sistemas de tratamento de esgoto, a matéria orgânica é convertida tanto anaerobiamente (sem presença de oxigênio), quanto aerobiamente (na presença de oxigênio). O resultado final do processo anaeróbio é liberação de molécula de metano, gás carbônico e energia, e o resultado do processo aeróbio é a liberação de gás carbônico, água e energia.

Os parâmetros que melhor expressam o comportamento da matéria orgânica são a DBO e a DQO. Esta é decomposta, nos alagados construídos, por processos microbiológicos anaeróbios e aeróbios, por sedimentação ou por filtração. Devido às elevadas taxas de carga orgânica e à saturação constante, os processos aeróbios ficam restritos às áreas adjacentes às raízes e rizomas, e a uma fina camada superficial. A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) representa a quantidade de oxigênio que é consumida na respiração aeróbia, para a oxidação da matéria orgânica (BRANCO, 1986). Os efluentes de origem doméstica apresentam elevadas taxas de DBO, a Tabela 6 apresenta os valores médios de DQO e DBO na Entrada do sistema, na qual é possível observar que as concentrações de DQO foram superiores. Durante o período “Férias 2” não foi possível medir a DBO por motivos de infraestrutura.

Tabela 6: Concentrações médias de DQO e DBO no ponto de Entrada

	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)
Aula 1	223	11
Férias 1	63	28
Aula 2	196	120
Férias 2	180	-
Aula 3	255	135

Como é possível observar na Tabela 7, o único período onde não houve eficiência de remoção de DBO foi no período Aula 1, entretanto, quando observados separadamente os leitos 1H, 2V e 3V apresentaram eficiência. Não foi possível avaliar a DBO no mês de julho devido à alguns problemas de infraestrutura da Universidade.

Tabela 7: Valores de eficiência de remoção de DBO

	Aula 1	Férias 1	Aula 2	Férias 2	Aula 3
<b>1H</b>	49%	64%	90%	-	82%
<b>2H</b>	-	23%	69%	-	86%
<b>3H</b>	-	33%	77%	-	77%
<b>1V</b>	-	33%	77%	-	77%
<b>2V</b>	52%	29%	70%	-	Não
<b>3V</b>	60%	64%	68%	-	13%
<b>Total</b>	-	50%	84%	-	79%

O teste estatístico “Teste T” foi aplicado com nível de significância de 0,05 para verificar se havia diferença significativa entre as médias de DBO, após o efluente passar pelos tratamentos. A única comparação que não apresentou diferença significativa foi 2H – 2V no período Aula 2.

A Demanda Química de Oxigênio representa a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação química da matéria orgânica e aumenta em função de dejetos de origem industrial e não biodegradáveis. Na Tabela 8 estão apresentados os valores de eficiência de remoção de DQO, em todos os períodos houve diminuição das concentrações de DQO, sendo que os leitos de fluxo horizontal (1H, 2H e 3H) foram os que apresentaram melhores resultados.

Durante o período “Aula 1” o leito 2V não apresentou eficiência de remoção de DQO e o 3V não estava em operação; já no período “Férias 1” os leitos 2V e 3V não apresentaram resultados de eficiência, e no período “Férias 2” foi leito 2H que não apresentou resultado.

Tabela 8: Valores de eficiência de remoção de DQO

	<b>Aula 1</b>	<b>Férias 1</b>	<b>Aula 2</b>	<b>Férias 2</b>	<b>Aula 3</b>
<b>1H</b>	80%	61%	85%	88%	89%
<b>2H</b>	87%	17%	79%	-	90%
<b>3H</b>	83%	64%	87%	91%	85%
<b>1V</b>	20%	52%	31%	12%	16%
<b>2V</b>	-	-	24%	15%	12%
<b>3V</b>	-	-	8%	23%	30%
<b>Total</b>	84%	73%	88%	90%	87%

O teste estatístico “Teste T” foi aplicado com nível de significância de 0,05 para verificar se havia diferença significativa entre as médias de DQO, após o efluente passar pelos tratamentos. Apesar de ser possível observar claramente os resultados de eficiência de remoção de DQO, algumas comparações não apresentaram diferença significativa, estes são: Entrada – 1H, Entrada – 2H, Entrada – 3H e Entrada – Saída no período Aula 1. No período Aula 2 as comparações entre os pontos Entrada – 1H, Entrada – 2H, Entrada – Saída não apresentaram diferença significativa. No período Aula 3 as comparações que não são significativamente diferentes são Entrada – 1H, Entrada – 2H, Entrada – 3H e Entrada – Saída. Nos períodos Férias 1 e Férias 2, as comparações que não apresentaram diferença significativa entre as médias foram: Entrada – 1H e Entrada – 3H. Todos os outros são significativamente diferentes.

A variação da concentração do oxigênio dissolvido no efluente, durante a passagem pelo tratamento de esgoto, é resultado dos diferentes processos envolvidos no sistema. A nitrificação da amônia e a oxidação da matéria orgânica são reações dependentes de oxigênio. Em sistemas de fluxo subsuperficial a difusão de oxigênio é atribuída, principalmente, ao transporte de gás pela planta e seu sistema radicular (TONIATO, 2005)

Ao contrário dos outros parâmetros, a concentração do oxigênio dissolvido tende a aumentar conforme aumenta a qualidade do efluente. É possível observar na Figura 20 o aumento das concentrações de OD ao longo do tratamento, mesmo com o consumo de oxigênio nas reações de decomposição e oxidação de outros poluentes. Os valores médios ficaram em torno de 0,9 mg/L e 6,2 mg/L e foram apresentados na tabela 9. Como mencionado anteriormente, durante o período “Aula 1” o leito 3V não estava em funcionamento, por isso não são apresentados resultados de OD neste período.

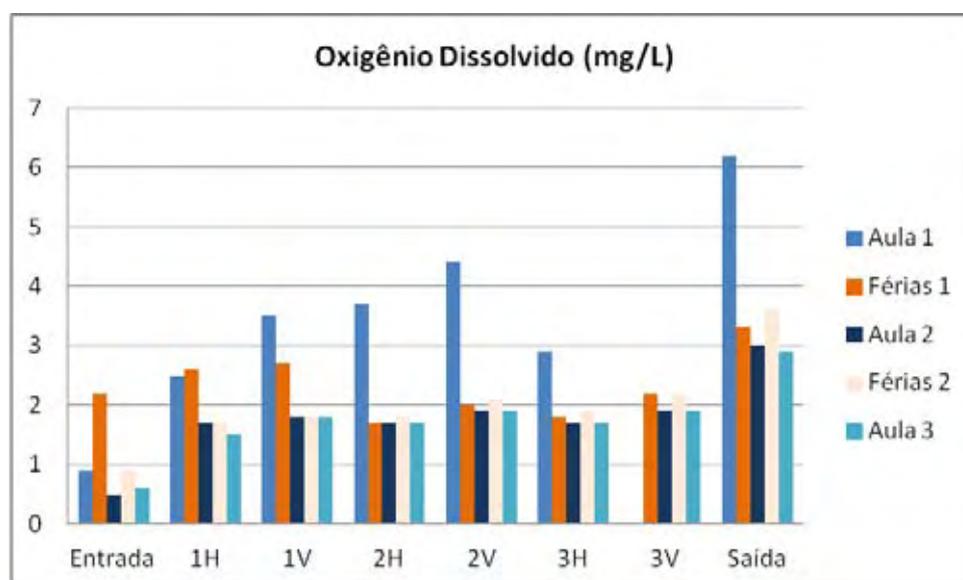


Figura 20: concentrações médias de Oxigênio Dissolvido (mg/L)

Tabela 9: Valores médios do OD (mg/L) ao longo do monitoramento.

	<b>Entrada</b>	<b>1H</b>	<b>2H</b>	<b>3H</b>	<b>1V</b>	<b>2V</b>	<b>3V</b>	<b>Saída</b>
<b>Aula 1</b>	0,9	2,5	3,7	2,8	3,5	4,4	-	6,2
<b>Férias 1</b>	2,2	2,6	1,8	2,3	2,6	2,3	2,1	3,2
<b>Aula 2</b>	0,5	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	1,8	2,9
<b>Férias 2</b>	0,9	1,6	1,8	1,9	1,8	2	2,2	3,5
<b>Aula 3</b>	0,6	1,4	1,3	1,2	1,9	1,7	2,2	2,8

O teste estatístico “Teste T” foi aplicado com nível de significância de 0,05 para verificar se havia diferença significativa entre as médias de OD, após o efluente passar pelos tratamentos. No período Aula 1, as comparações que não apresentaram diferença significativa foram Entrada – 1H, Entrada – 3H, 1H – 1V e Entrada – Saída. No período Aula 2, as comparações Entrada – 1H, Entrada – 2H, Entrada – 3H e Entrada – Saída não são significativamente diferentes.

#### **5.1.4 Fosfato e Fósforo total**

Depois do nitrogênio, o fósforo é o elemento mais essencial ao desenvolvimento das plantas. O fósforo é encontrado no solo nas formas orgânica e inorgânica. A forma orgânica está geralmente associada a matéria orgânica, e a forma inorgânica esta disponível para absorção pelas plantas ou para ser adsorvida às partículas do solo (SILVA, 2007).

Segundo Vymazal (2008), a remoção de fósforo em alagados construídos, geralmente, é baixa, variando entre 40% e 60%.

A remoção de fósforo nos sistemas de alagados construídos ocorre pela precipitação química, pela adsorção, pela assimilação dos vegetais e biofilmes formados no material suporte e no sistema radicular da vegetação. O fósforo solúvel é prontamente assimilado pelas raízes das plantas (SOUZA et al.,2003)

A eficiência de remoção do fósforo total foi avaliada apenas nos períodos Aula 1, Férias 1 e Aula 2, como demonstrado na Tabela 10, durante os quais se apresentaram

valores baixos e mesmo um pouco menores do que os encontrados na literatura. Os resultados médios variaram entre 17% e 54%. A Tabela 11 apresenta as médias obtidas ao longo do monitoramento.

O leito 3V não estava em funcionamento durante o período “Aula 1”, os demais leitos não apresentaram resultados de eficiência de remoção de fósforo total, este parâmetro não foi monitorado nos períodos “Férias 2” e “Aula 3” por falta de reagente.

Tabela 10: Valores de eficiência de remoção de fósforo total (mg/L)

	<b>Aula 1</b>	<b>Férias 1</b>	<b>Aula 2</b>
<b>1H</b>	-	-	-
<b>2H</b>	-	-	10%
<b>3H</b>	-	-	-
<b>1V</b>	48%	-	-
<b>2V</b>	54%	34%	43%
<b>3V</b>	-	-	-
<b>Total</b>	17%	-	-

Tabela 11: Valores médios de Fósforo total (mg/L) ao longo do monitoramento

	<b>Entrada</b>	<b>1H</b>	<b>2H</b>	<b>3H</b>	<b>1V</b>	<b>2V</b>	<b>3V</b>	<b>Saída</b>
<b>Aula 1</b>	0,33	1,12	0,64	1,19	0,58	0,28	-	0,27
<b>Férias 1</b>	0,54	0,8	0,58	0,87	1,45	0,38	3,93	0,77
<b>Aula 2</b>	0,70	1,04	0,64	0,83	1,32	0,37	1,99	0,83

O teste estatístico “Teste T” foi aplicado com nível de significância de 0,05 para verificar se havia diferença significativa entre as médias de Fósforo total, após o efluente passar pelos tratamentos, e apesar da baixa eficiência de remoção deste poluentes todas as médias são significativamente significativas.

Assim como no paramentro anterior, a eficiência de remoção do fosfato foi avaliada apenas nos periodos: Aula 1, Férias 1 e Aula 2 por falta de reagentes, a Tabela 12 apresenta as porcentagens de eficiência de remoção, o leito que apresentou melhor

desempenho em todos os períodos foi o tanque 3H, preenchido apenas com areia. A Tabela 13 apresenta os valores médios obtidos ao longo do monitoramento. O tanque 3V não estava em funcionamento durante o período “Aula 1”, porém os tanques 1V no período “Férias 1” e o tanque 3V no período “Aula 2” não apresentaram resultados de eficiência.

Tabela 12: Valores de eficiência de remoção de fosfato (mg/L)

	<b>Aula 1</b>	<b>Férias 1</b>	<b>Aula 2</b>
<b>1H</b>	45%	41%	57%
<b>2H</b>	50%	17%	40%
<b>3H</b>	64%	57%	88%
<b>1V</b>	30%	-	50%
<b>2V</b>	27%	32%	8%
<b>3V</b>	-	6%	-
<b>Total</b>	57%	35%	67%

Tabela 13: Valores médios de Fosfato (mg/L) ao longo do monitoramento

	<b>Entrada</b>	<b>1H</b>	<b>2H</b>	<b>3H</b>	<b>1V</b>	<b>2V</b>	<b>3V</b>	<b>Saída</b>
<b>Aula 1</b>	9,9	5,4	4,8	3,5	3,7	3,6	-	4,3
<b>Férias 1</b>	15,5	6,6	9,3	1,8	3,7	8,1	2,3	5,1
<b>Aula 2</b>	7,6	4,5	6,3	3,6	4,6	4,3	3,2	4,9

O teste estatístico “Teste T” foi aplicado com nível de significância de 0,05 para verificar se havia diferença significativa entre as médias de Fosfato, após o efluente passar pelos tratamentos, no período Aula 1, as comparações Entrada – 1H, Entrada – 2H, Entrada – 3H não apresentaram diferença significativa. Já no período Aula 2, foram as comparações Entrada – 2H, Entrada – 3H e Entrada – Saída que não apresentaram diferença significativa entre as médias.

### 5.1.5 Nitrogênio Total Kjeldahl, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito e Nitrato

Nas águas residuárias o nitrogênio é encontrado principalmente na forma de Nitrogênio Amoniacal, e geralmente há pouco ou nenhum Nitrito e Nitrato, já que estes ocorrem sob condições aeróbias o Nitrogênio Amoniacal é oxidado por microrganismos a nitrito ou nitrato. O nitrogênio amoniacal pode apresentar-se na forma livre (N-NH<sub>3</sub>) e ionizada (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e a predominância de uma forma ou outra depende do valor do pH (METCALF & EDDY, 2003).

O nitrogênio, assim como o fósforo, em grandes concentrações é considerado como poluente, mas são compostos que agregarão valor às águas residuárias, quando o objetivo for o reuso para a fertirrigação, já que são compostos disponíveis para as plantas, principalmente o nitrato e o nitrogênio amoniacal.

Na Tabela 14, é possível observar os valores de eficiência de remoção de NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl) em todo o tratamento. Em todos os períodos houve remoção de NTK, entretanto os leitos de fluxo horizontal, em comparação com os de fluxo vertical apresentaram melhor desempenho, as médias obtidas são apresentadas na Tabela 15. O leito 3V não estava em funcionamento durante o período “Aula 1”, por isso não são apresentados valores de NTK, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito e Nitrato. Já a ausência de valores de eficiência em alguns leitos durante o período “Férias 2” são consequência da falta de eficiência de remoção destes para o parâmetro NTK.

Tabela 14: Valores de eficiência de remoção de NTK

	<b>Aula 1</b>	<b>Férias 1</b>	<b>Aula 2</b>	<b>Férias 2</b>	<b>Aula 3</b>
<b>1H</b>	88%	47%	73%	94%	30%
<b>2H</b>	89%	35%	71%	87%	22%
<b>3H</b>	88%	48%	65%	-	57%
<b>1V</b>	24%	67%	48%	-	23%
<b>2V</b>	58%	19%	37%	-	47%
<b>3V</b>	-	74%	54%	-	23%
<b>Total</b>	93%	59%	83%	93%	60%

Tabela 15: Valores médios de NTK (mg/L) ao longo do monitoramento

	<b>Entrada</b>	<b>1H</b>	<b>2H</b>	<b>3H</b>	<b>1V</b>	<b>2V</b>	<b>3V</b>	<b>Saída</b>
<b>Aula 1</b>	27,6	3,4	3,1	3,2	2,5	1,2	-	2,0
<b>Férias 1</b>	17,0	8,8	10,4	8,7	3,1	8,7	2,3	6,9
<b>Aula 2</b>	51,7	14,1	15	18,3	7,3	9,4	8,4	8,9
<b>Férias 2</b>	7,5	0,5	0,9	15	0,5	2,8	-	0,5
<b>Aula 3</b>	50,6	36	39,5	22,1	27,8	20,1	17,0	20,2

O teste estatístico “Teste T” foi aplicado com nível de significância de 0,05 para verificar se havia diferença significativa entre as médias de NTK, após o efluente passar pelos tratamentos, no período Aula 1, as comparações Entrada – 1H, Entrada – 2H, Entrada – 3H e Entrada – Saída não apresentaram diferença significativa. Já no período Aula 2, foram as comparações Entrada – 1H, Entrada – 2H, Entrada – 3H, 1H – 1V e Entrada – Saída que não apresentaram diferença significativa entre as médias. No período Férias 1, a comparação entre as médias de 3H e 3V não apresentou diferença significativa.

Os valores de eficiência de remoção de Nitrogênio Amoniacal estão apresentados na Tabela 16, e observa-se que houve eficiência de remoção em todos os períodos. Os resultados de remoção de Nitrogênio Amoniacal foram satisfatórios em todos os leitos. Os valores médios obtidos estão apresentados na Tabela 17. O único leito que não apresentou eficiência foi o leito 1H no período “Férias 1”.

Tabela 16: Valores de eficiência de remoção de Nitrogênio Amoniacal

	<b>Aula 1</b>	<b>Férias 1</b>	<b>Aula 2</b>	<b>Férias 2</b>	<b>Aula 3</b>
<b>1H</b>	84%	-	72%	41%	37%
<b>2H</b>	97%	31%	64%	34%	36%
<b>3H</b>	95%	25%	75%	47%	56%
<b>1V</b>	99%	58%	53%	33%	57%
<b>2V</b>	57%	62%	50%	30%	81%
<b>3V</b>	-	80%	55%	50%	37%
<b>Total</b>	99%	83%	86%	62%	69%

Tabela 17: Valores médios de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) ao longo do monitoramento.

	<b>Entrada</b>	<b>1H</b>	<b>2H</b>	<b>3H</b>	<b>1V</b>	<b>2V</b>	<b>3V</b>	<b>Saída</b>
<b>Aula 1</b>	28,1	4,4	0,7	1,4	0,1	0,3	-	0,2
<b>Férias 1</b>	12,7	3,1	9,1	9,8	1,3	3,4	2,1	2,1
<b>Aula 2</b>	41,6	11,4	15,3	10,5	5,3	7,8	5,1	6,0
<b>Férias 2</b>	41,1	24,4	27,0	21,7	16,5	18,5	10,6	15,3
<b>Aula 3</b>	71,8	45,5	46,1	31,3	31,0	30,5	19,9	22,2

As relações entre nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal são específicas, e sob condições aerobicas, o nitrogênio amoniacal é oxidado a nitrito e a nitrato pela ação de decompositores aerobicos.(MIRANDA-SANTOS, et. al., 2009), portanto, os resultados negativos, representados pelo hífen, para a eficiência de nitrito e nitrato apresentados nas tabelas 18 e 19 já eram esperados.

Tabela 18: Valores de eficiência de remoção de Nitrito

	<b>Aula 1</b>	<b>Férias 1</b>	<b>Aula 2</b>	<b>Férias 2</b>	<b>Aula 3</b>
<b>1H</b>	-	-	75%	-	-
<b>2H</b>	66%	-	90%	75%	-
<b>3H</b>	67%	-	65%	-	50%
<b>1V</b>	50%	50%	56%	-	50%
<b>2V</b>	25%	40%	-	-	-
<b>3V</b>	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	48%	-	-	-	-

Tabela 19: Valores de eficiência de remoção de Nitrato

	<b>Aula 1</b>	<b>Férias 1</b>	<b>Aula 2</b>	<b>Férias 2</b>	<b>Aula 3</b>
<b>1H</b>	-	15%	68%	32%	61%
<b>2H</b>	-	62%	43%	63%	57%
<b>3H</b>	17%	31%	75%	-	14%
<b>1V</b>	70%	-	-	-	6%
<b>2V</b>	8%	-	-	-	41%
<b>3V</b>	-	-	-	-	12%
<b>Total</b>	-	29%	20%	-	87%

As tabelas 20 e 21 apresentam os valores médios de Nitrito e Nitrato, respectivamente. O teste estatístico “Teste T” foi aplicado com nível de significância de 0,05 para verificar se há diferença significativa entre as médias de Nitrito, e as únicas comparações que não apresentaram diferenças significativas são: Entrada – 2H, Entrada -3H e Entrada – Saída do período Aula 2, e as médias de Entrada e Saída do período Férias 1.

Tabela 20: Valores médios de Nitrito (mg/L) ao longo do monitoramento

	<b>Entrada</b>	<b>1H</b>	<b>2H</b>	<b>3H</b>	<b>1V</b>	<b>2V</b>	<b>3V</b>	<b>Saída</b>
<b>Aula 1</b>	0,52	0,05	0,34	0,02	0,03	0,32	-	0,27
<b>Férias 1</b>	0,13	0,33	0,03	0,19	0,21	0,11	0,36	0,29
<b>Aula 2</b>	0,03	0,08	0,02	0,007	0,04	0,17	0,15	0,41
<b>Férias 2</b>	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,15	0,06	0,42
<b>Aula 3</b>	0,03	0,04	0,15	0,26	0,02	0,09	0,43	0,26

Tabela 21: Valores médios de Nitrato (mg/L) ao longo do monitoramento

	<b>Entrada</b>	<b>1H</b>	<b>1V</b>	<b>2H</b>	<b>2V</b>	<b>3H</b>	<b>3V</b>	<b>Saída</b>
<b>Aula 1</b>	9,5	11,3	18,7	7,8	3,3	17,5	-	15,5
<b>Férias 1</b>	13,1	11,2	4,8	9,1	18,4	7,1	13,4	9,4
<b>Aula 2</b>	19,4	6,2	10,9	4,8	16,8	20,8	22,7	15,6
<b>Férias 2</b>	18,8	13,1	7,1	23,9	19,2	36,3	92,7	33,8
<b>Aula 3</b>	27,9	11,1	11,7	24,1	10,4	7,3	20,8	3,6

O teste estatístico “Teste T” foi aplicado com nível de significância de 0,05 para verificar se havia diferença significativa entre as médias de Nitrato, e apenas as comparações Entrada – 1H e Entrada – 3H do período Aula 2 não são significativamente diferentes.

## 5.2 Análises morfológicas e nutricionais do Capim Vetiver

### 5.2.1 Altura das plantas

As mudas de Capim Vetiver foram plantadas nos leitos com 15 cm. Após 37 dias apresentavam altura média de 27 cm. A partir do dia 26/10/2011, quando houve o início da entrada de esgoto, observou-se melhor desenvolvimento dos vegetais. Os dados referentes ao crescimento dos exemplares do vetiver são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22: Altura média do vetiver nos leitos de fluxo horizontal (H) e nos leitos de fluxo vertical (V)

	1H	2H	3H	1V	2V	3V	Controle
<b>Altura inicial (cm)</b>	15	15	15	15	15	15	15
<b>37 dias após o plantio (cm)</b>	27	26	21	26	26	32	25
<b>146 dias após o plantio (cm)</b>	160	165	150	90	160	90	100

A partir do mês de outubro, observou-se que os vegetais localizados no início dos leitos de fluxo horizontal apresentavam altura significativamente maior, como observado na figura 21. A diferença de crescimento ocorre devido à maior disponibilidade de nutrientes nas faixas iniciais, local da entrada do efluente nos leitos.

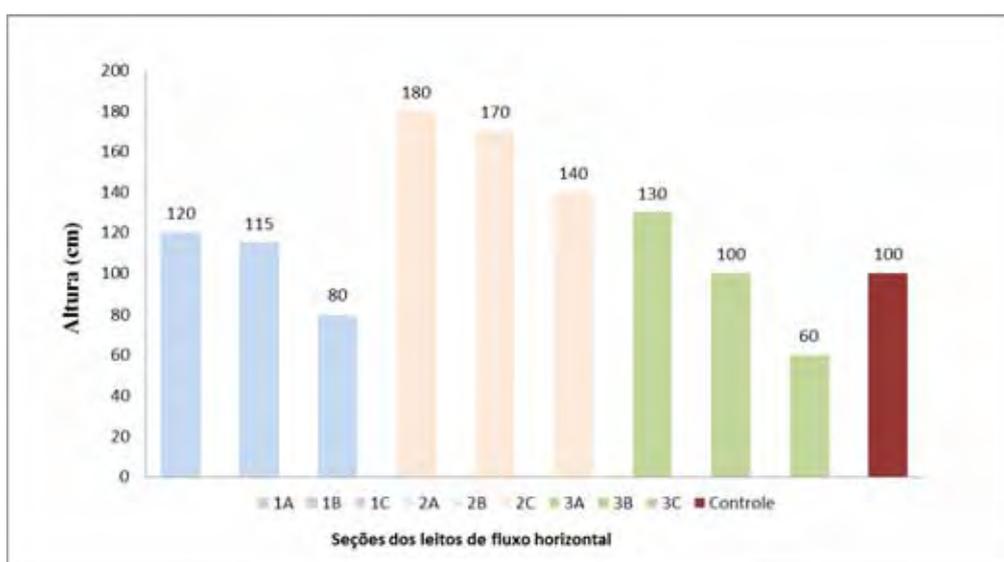


Figura 21: Altura dos vegetais nas seções dos leitos de fluxo horizontal

Durante a primeira colheita a parte vegetativa não foi removida completamente, como apresentado na Figura 23, os cortes foram feitos 15 cm a partir do solo. Durante este segundo período o comportamento foi semelhante ao primeiro período, como observado na Tabela 23. Neste período não foi observada grandes diferenças entre as seções A, B e C dos leitos de fluxo horizontal, porque ao longo do tempo as seções se tornaram semelhantes

Tabela 23: Altura média do vetiver nos leitos de fluxo horizontal (H) e nos leitos de fluxo vertical (V) após a primeira colheita.

	1H	2H	3H	1V	2V	3V	Controle
Altura inicial (cm)	15	15	15	15	15	15	15
30 dias após o corte (cm)	100	110	100	70	90	80	60
259 dias após o corte (cm)	170	170	150	110	150	130	100

A Figura 22, mostra o Capim Vetiver antes da primeira colheita, a Figura 23 logo após o primeiro corte, e a Figura 24, 30 dias após a primeira colheita.



Figura 22: Capim Vetiver antes da primeira colheita, março/2012 (Foto: Larissa Miranda-Santos)

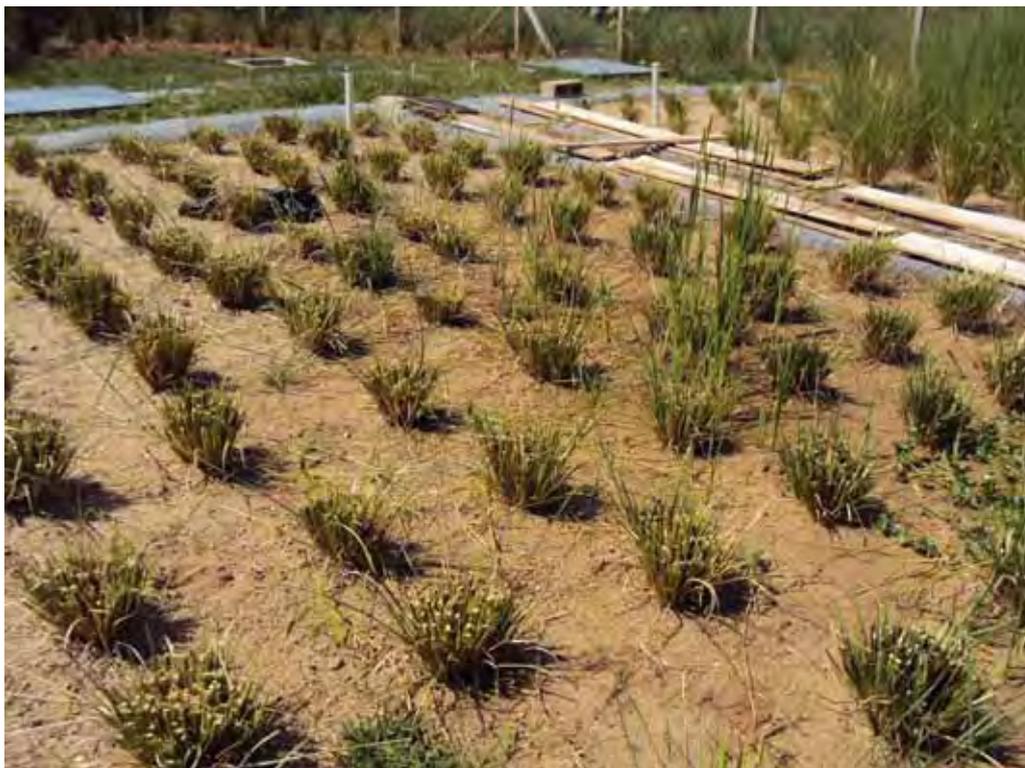


Figura 23: Capim Vetiver logo após a primeira colheita, março/2012 (Foto: Larissa Miranda-Santos)



Figura 24: Capim Vetiver 30 dias após a primeira colheita, abril/2012 (Foto: Larissa Miranda-Santos)

### 5.2.2 *Produtividade de massa verde e massa seca*

A produtividade de biomassa é um dos parâmetros escolhidos para avaliar o desempenho do Capim Vetiver, quando aplicado em Alagados Construídos. A primeira colheita da biomassa ocorreu 146 dias após o plantio, e a segunda colheita ocorreu 259 dias após a primeira, o que corresponde a uma diferença de 113 dias, e explica o aumento aproximado de 77% de Massa Verde de uma colheita para outra. Os valores totais de Massa Seca (g/m<sup>2</sup>) e Massa Verde (g/m<sup>2</sup>) estão apresentados na Tabela 24. As faixas iniciais (A) dos leitos de fluxo horizontal apresentaram maior produtividade de biomassa, devido à maior disponibilidade de nutrientes nas faixas iniciais dos leitos, como é possível observar na Figura 25. O leito de fluxo horizontal, que apresentou maior produtividade de biomassa nas 2 duas colheitas foi o leito 2H, do qual foi colhido 83.080 g de massa verde na 1<sup>a</sup> colheita e 227.547 g de massa verde na 2<sup>a</sup> etapa.



Figura 25: Faixa inicial de um dos leitos de fluxo horizontal.

Entre os leito de fluxo vertical, o leito 2V (preenchido com poliestireno expandido) foi o que apresentou maior produtividade de biomassa. Observando os dados apresentados pelos leitos, e pelo controle, é possível inferir que a grande entrada de nutrientes nos leitos é um fator determinante para o seu crescimento. Os leitos que apresentaram melhores condições de crescimento para o Capim Vetiver foram os preenchidos com poliestireno expandido e moído.

Tabela 24: Produtividade de Massa Verde (g/m<sup>2</sup>) e Massa Seca (g/m<sup>2</sup>).

	1ª Colheita		2ª Colheita	
	Massa Verde total (g/m <sup>2</sup> )	Massa Seca estimada (g/m <sup>2</sup> )	Massa Verde total (g/m <sup>2</sup> )	Massa Seca estimada (g/m <sup>2</sup> )
<b>1A</b>	1.832	586	8.782	1.932
<b>1B</b>	1.461	564	8.417	2.188
<b>1C</b>	598	205	6.279	1.569
<b>2A</b>	<b>2.991</b>	<b>986</b>	<b>10.694</b>	<b>3.101</b>
<b>2B</b>	2.277	859	8.754	2.276
<b>2C</b>	1.831	677	7.353	2.538
<b>3 A</b>	<b>3.452</b>	<b>1.285</b>	7.280	2.111
<b>3B</b>	1.786	688	<b>11.081</b>	<b>4.210</b>
<b>3 C</b>	405	188	6.304	245
<b>4</b>	304	104	2.141	536
<b>5</b>	<b>3.611</b>	<b>1.140</b>	<b>11.788</b>	<b>3.065</b>
<b>6</b>	185	54,4	5.894	1.944
<b>Controle</b>	530	210	1.310	432

A porcentagem de perda média de água do Vetiver após a secagem em estufa foi de 65% na 1ª colheita e 70% na 2ª, o que representa que em cada 1.000 gramas de massa verde havia aproximadamente 650 mL de água ou que segundo os dados obtidos na 2ª colheita, a cada 1.000g de massa verde havia 750 mL de água. Segundo Truong et al. (2008) a inserção de plantas em sistemas de tratamento de águas residuárias é um dos métodos viáveis para se eliminar totalmente ou reduzir as grandes taxas de esgoto. Os autores quantificaram a água absorvida pelo Vetiver e concluíram que para cada 1kg de

massa seca da parte aérea este capim transpira 6,86L de água por dia. Assim, taxas de eficiência de remoção de nutrientes são influenciadas pelos valores da transpiração dos vegetais e pela evaporação desta pelo substrato, já que há diminuição do volume de água, aumentando assim a concentração dos poluentes.

### 5.2.3 Capacidade de extração de nutrientes

O estoque de nutrientes é diretamente proporcional à produtividade de biomassa. Assim como a biomassa a capacidade de estoque de nutrientes foi superior na segunda 2ª colheita, como é possível observar nas tabelas Tabela 25, Tabela 26 e Tabela 27, que trazem os resultados do cálculo de estoque de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente

Como é possível observar na Tabela 25, as seções que apresentaram maior capacidade de estoque de nutrientes na 1ª colheita foram as seções 2 A e 3 A; estas também foram as seções que apresentaram maiores valores de Produtividade de Biomassa. Na 2ª colheita as seções que se destacaram foram 3 A e 3 B, que também se destacaram por alta produtividade de biomassa.

Tabela 25: Cálculo do estoque de Nitrogênio (g/m<sup>2</sup>)

	1ª Colheita	2ª Colheita
1 A	64,4	194,8
1 B	67,9	251,3
1 C	25,6	219,8
2 A	<b>122,1</b>	392,9
2 B	57,7	254,9
2 C	54,5	302,2
3 A	<b>137,6</b>	<b>406,3</b>
3 B	61,2	<b>733,9</b>
3C	13,2	354,6
4	11,6	74,3
5	105,4	390,5
6	7,5	277
Controle	17,4	46,3

A Tabela 26 apresenta os resultados do cálculo de estoque de Fosforo ( $\text{g/m}^2$ ), na primeira colheita as seções que se destacaram foram 2 A e 3 A, que também foram as seções com maior produtividade de biomassa, na 2ª colheita as seções que se destacaram foram 2 A e 3 B, que também apresentaram valores altos para a produção de biomassa.

Tabela 26: Cálculo do estoque de fósforo ( $\text{g/m}^2$ )

	1ª Colheita	2ª Colheita
1 A	6,9	40,4
1 B	5,4	44,6
1 C	1,6	38
2 A	<b>14,7</b>	<b>69,7</b>
2 B	6,5	46,8
2 C	4,7	46,3
3 A	<b>14,9</b>	36,5
3 B	5,1	<b>94,7</b>
3C	1,2	43,8
4	0,6	12
5	8,4	73
6	0,5	39,7
Controle	1,6	6,5

Na Tabela 27 é possível observar os resultados do cálculo de estoque de potássio ( $\text{g/m}^2$ ), a qual, demonstra que em ambas as colheitas as seções que apresentaram os maiores valores foram as seções 2 A e 5, ambos leitos preenchidos com poliestireno expandido e moído.

Tabela 27: Cálculo do estoque de potássio ( $\text{g/m}^2$ )

	1ª Colheita	2ª Colheita
1 A	79,2	336,2
1 B	69,4	302
1 C	27,7	222,9
2 A	<b>111,4</b>	<b>415,6</b>
2 B	75,6	311,8
2 C	59,6	299,6
3 A	106,6	257,5
3 B	67,4	509,5
3C	13	245,9
4	13,5	66,4
5	<b>166,6</b>	<b>370,9</b>
6	9,4	241,2
Controle	30,1	66

Comparando os dados de estoque de nutrientes com os de produtividade de biomassa é possível inferir que quanto maior a capacidade de produção de biomassa, maior é o estoque de nutrientes.

Brasil et al. (2007) avaliaram o desempenho fonológico da Taboa (*Thypha sp*) em sistemas de alagados construídos e concluíram que dentre os nutrientes avaliados (N, P, K e Na) o Potássio (K) foi o que teve maior remoção via biomassa, obtendo valores de 4,94% para potássio, 1,69% para nitrogênio total (N), 1,64% para fósforo total e 0,74% para o sódio, sendo estes valores compatíveis com os dados publicados anteriormente, por outros autores.

Cada espécie vegetal apresenta características morfológicas e fisiológicas próprias, o que conseqüentemente tornará os resultados de eficiência de remoção de nutrientes diferentes. O que se espera é que o Capim Vetiver (*C. zizanioides*) tenha melhor desempenho na absorção e remoção dos nutrientes que, devido a sua elevada concentração nos efluentes, tornam-se poluentes.

## 6 CONCLUSÕES

Neste trabalho, o Capim Vetiver apresentou altas taxas de produção de biomassa e, conseqüentemente, uma alta taxa de estoque de nutrientes, pois estas são variáveis diretamente proporcionais. Os leitos que apresentaram melhor produção de massa biomassa foram os leitos preenchidos com poliestireno expandido (2H e 2V), vendido comercialmente como isopor.

Assim, o uso do poliestireno reciclado em leitos de alagados construídos pode ser uma alternativa para a disposição final deste resíduo sólido.

O Vetiver possui diversas características morfológicas e fisiológicas que permitem classifica-los como uma espécie adequada para utilização em sistemas naturais de tratamento de esgoto, além de sua notoriedade em obras de bioengenharia e do óleo essencial que é extraído de suas raízes. Na Ásia, continente de origem desta planta, este é utilizado para fins medicinais, bem como no setor agropecuário para a alimentação de animais. Suas folhas fibrosas e resistentes são utilizadas por cooperativas na produção de produtos artesanais, proporcionando para a comunidade envolvida uma fonte de renda.

Para o manejo da espécie, é importante que se realize cortes regularmente, pois estes além de estimular o crescimento vegetativo, proporcionam exportação de nutrientes, seja utilizando a massa verde como adubo, após passar por compostagem, ou na alimentação animal, principalmente de gado, desde que não existam elementos tóxicos.

Quanto à eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto, está apresentou resultados satisfatórios, principalmente na redução das médias de DQO, Nitrogênio Total Kjeldahl e Nitrogênio Amoniacal.

Observou-se também o aumento das médias de Nitrito e Nitrato, principalmente após o efluente passar pelo tratamento terciário (leitos de fluxo vertical). Tal comportamento era esperado e representa que o sistema está proporcionando a nitrificação da matéria nitrogenada, o que torna o efluente adequado para utilização em fertirrigação.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANTES, L. L. M. **Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos utilizando *Typha angustifolia* e *Phragmites australis***. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009. 140 p.
- ALMEIDA, R. A. **Substratos e plantas no tratamento de esgoto por zona de raízes**. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal)-Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005. 108 p.
- ANDRA, S.S.; DATTA, R.; SARKAR, D.; SAMINATHAN, S. K. M.; MULLENS, C. P.; BACH, S. B. H. Analysis of phytochelatin complexes in the lead tolerant vetiver grass [*Vetiveria zizanioides* (L.)] using liquid chromatography and mass spectrometry **Environmental Pollution**. n. 157, p. 2173-2183, 2009
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Baltimore, 2005.
- ARIAS C. A., BRIX H. AND GARZA M. F. **Alternative for phosphorus removal in subsurface flow constructed wetlands**. Book of the Conference of International Meeting on phytodepuration, p. 73-79. Lorca, Spain, 2005.
- AVELINO, Maria Clara Godinho Sommer. **Construção de um sistema de alagados construídos e o comportamento dos parâmetros físico-químicas e biológicos da fase de maturação dos leitos de fluxo vertical**. Bauru: Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 2012, 90 p. Dissertação de Mestrado.
- 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)

BECCATO, M. A. B. **Elaboração participativa de uma proposta de reestruturação do sistema de tratamento de esgoto da comunidade do Marujá – Parque estadual da Ilha do Cardoso / SP.** São Carlos, SP: 2004. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo – USP, 2004. 292 p.

BRAGA FILHO, D. & MANCUSO, P. C. S. **Conceito de reuso de água.** In: Reuso de água; Capítulo 2. Eds. P. C. Sanches Mancuso & H. Felício dos Santos. Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. São Paulo, 2002.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária.** SP: CETESB/ASCETESB, 1986.

BRASIL, M. da S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A. Plantio e desempenho fenológico da Taboa (*Thypha sp.*) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagados construídos. **Engenharia Sanitária Ambiental.** v. 12, n. 3, p. 266-272, 2007

BRIX, H. *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands System Design, Removal Processes and Treatment Performance.* In: Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Ed. By Gerald A. Moshiri. Lewis Publishers, 1993

BRIX, H. Use of constructed wetlands in water pollution control: historical development, present status, and future perspectives. **Water Science and Technology,** v. 30, n. 8, p. 209-223, 1994.

BRIX, H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? **Water Science and Technology,** v.35, n.5, p.11-17, 1997.

BRIX, H.; SCHIERUP, H.H. **The use of aquatic macrophytes in water pollution control.** v.18, p.100. *Ambio*, 1989.

CALHEIROS, C. S. C.; RANGEL, A. O. S. S.; CASTRO, P. M. L. Constructed wetland systems vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater. *Water Research,* n. 41, p. 1790-1791. 2007

CETESB - **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Nota Técnica sobre tecnologia de controle** - Indústria Têxtil - NT-22. São Paulo, 1992, 31 p.

CETESB - **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Nota Técnica sobre tecnologia de controle** - Indústria Têxtil - NT-22. São Paulo, 1992, 31 p.

DUARTE, S. **Estudo das potencialidades das zonas húmidas Artificiais no tratamento de efluentes aquícolas.** Monografia de final de curso, Departamento de Engenharia Biológica e Química, Licenciatura em Engenharia do Ambiente, Portugal, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. 2002.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

FIA, RONALDO; MATOS, ANTONIO T DE; FIA, FÁTIMA R. L.; MATOS, MATEUS P DE; LAMBERT, TÚLIO F.; NASCIMENTO, FELIPE S. Desempenho de forrageiras em sistemas de alagados de tratamento de águas residuárias do processamento de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 842-847, março 2010.

FREITAS, Wallisson da Silva, D.S.; **Desempenho de sistemas alagados construídos cultivados com diferentes espécies vegetais no tratamento de águas residuárias da suinocultura.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 159 p. Dissertação de Mestrado

HENARES, Mateus Nicolino Peixoto,. **Utilização de macrófitas aquáticas flutuantes no tratamento de efluentes de carcinicultura.** Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Jaboticabal, SP, 2008.

HYUN-JIN KIM, FENG CHEN, XI WANG, HAU YIN CHUNG AND ZHENGYU JIN. Evaluation of Antioxidant Activity of Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) Oil and Identification of Its Antioxidant Constituents. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, v. 53, n. 20, p. 7691 -7695. 2005

ICLEI, Brasil. “Manual para aproveitamento do biogás: volume 2, efluentes urbanos.” ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para America Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2010.

**IBGE** (Brasil). Instituto Brasileiro de Geografia, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008

IBGE (Brasil). **IBGE cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>

KADLEC, R.H. & KNIGHT, R.L. *Treatment Wetlands*. CRC Press, Boca Raton, Fl. 893pp. 1996.

KOOTTATEP, T.; SURINKUL, N.; KAMAL, A. S.; POLPRASERT, C.; STRAUSS, M. *Material fluxes in constructed wetlands treating septage and their polishing systems*. In: International Conference on Waste Stabilisation Ponds, 6, and International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 9, 2004, vignon. Proceedings ... Avignon: IWA/Astee, 2004.

MAKRIS, KONSTANTINOS C. SHAKYA, KABINDRA M.; DATTA, RUPALI; SAKAR, DIBYENDU. Chemically catalyzed uptake of 2,4,6-trinitrotoluene by. **Environmental Pollution**, v. 148, p. 101-106, 2007.

MATOS, ANTONIO TEIXEIRA DE; ABRAHÃO, SÉRGIO SILVA; BORGES, ALISSON CARRARO; MATOS, MATEUS PIMENTEL. Influência da taxa de carga orgânica no desempenho de sistemas de alagados construídos cultivados com forrageiras. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 15, n. 1, janeiro/março 2010  
MENEZES, J. M. Estudo de Parâmetros Limnológicos na Bacia do Igarapé Belmont – Porto Velho/Ro/Brasil. **Pesquisa & Criação**, n.4. Porto velho, 2005, p.311 – 320.

METCALF & EDDY (2003). *Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse*. Hill Book, New York, USA.

MIRANDA-SANTOS, L.; NASCIMENTO, J. M. F.; CASTILHO FILHO, G. S.; GIAFFERIS, G. P.; TALAMONI, J. L. B. Avaliação da qualidade da água do Rio

Bauru (Bauru, SP) – micro bacia Tietê-Jacaré (UGRH 13) In: III Simpósio de Ecologia do PPGERN, 2009, São Carlos.

MUCCIARELLI, M; BERTEA, C. M.; COZZO, M.; SCANNERINI, S.; GALLINO, M. Vetiveria zizanioides as a tool for environmental engineering. **Acta Horticulturae**, v. 457, p. 260-269, 1998.

NASCIMENTO, N. de O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v.10, n. 1, p. 36-48, jan/mar 2005.

REED, S. C. Nitrogen removal in wastewater stabilization ponds. **Journal of Water Pollution Control Federation**. v. 57, n. 1, 1985.

SALATI, E (2000). Utilização de Sistemas de Wetlands Construídas para Tratamento de Águas. *Relatório técnico para o programa de Pós Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da EESC*. São Carlos. 36p

SBRT. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas Disponível em : <http://sbrt.ibict.br/>. Acesso em : 25 de agosto de 2012

SILVA, S. C., “Wetlands Construídos” de Fluxo Vertical com Meio Suporte de Solo Natural Modificado no Tratamento de Esgotos Domésticos. xvii, 205p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2007). Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

SPERLING, Marcos Von. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*, v.01. Minas Gerais: ABES, 1995.

SPERLING, M. von. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

TONIATO, JOÃO VITOR. **Avaliação de um wetland construído no tratamento de efluentes sépticos – estudo de caso Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil.** 95 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2005

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 10, n. 1, p.103 – 106, 1998.

TRUONG, PAUL; VAN, TRAN TAN; PINNERS, ELISE. **Sistema de aplicação Vetiver: manual de referência técnica.** 2ª Edição. ed. [S.l.]: Rede Internacional de Vetiver, 2008.

UCKER, F. E. **Eficiência do capim Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L. Nash) no tratamento de esgoto sanitário.** 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

VALENTIM, M. A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de tanque séptico modificado.** Campinas, SP: 1999. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, 1999. 119 p.

VIERITZ, A. et al. **Modelling Monto Vetiver Growth and Nutrient Uptake.** Department of Natural Resources and Mines. Queensland, p. 87-99. 2010.

VYMAZAL, J; KRÖPFELOVÁ, L. **Wasterwater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow.** Environmental Pollution. Volume 14. Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Environmental Sciences. Czech republic: Springer Science. 561p, 2

ZANELLA, LUCIANO. **Plantas Ornamentais no Pós-tratamento de efluentes sanitários: Wetlands-construidos utilizando brita e bambu como suporte.** Tese (Doutorado) – Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP, 2008, 189 p.

ZHENG apud TRUONG, PAUL & HART, BARBARA. Vetiver system for wastewater treatment. In: *Pacific Rim Vetiver Network Technical Bulletin*, 2001.