

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Juliana Machado Rezende**

**EFLUENTE TRATADO PELO SISTEMA DE LEITO  
CULTIVADO COM *Panicum maximum* EM ATENDIMENTO  
ÀS RESOLUÇÕES CONAMA 357/2005 E 430/2011.**

**Taubaté**

**2015**

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Juliana Machado Rezende**

**EFLUENTE TRATADO PELO SISTEMA DE LEITO  
CULTIVADO COM *Panicum maximum* EM ATENDIMENTO  
ÀS RESOLUÇÕES CONAMA 357/2005 E 430/2011.**

Dissertação apresentada para obtenção do  
Título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Ciências Ambientais, da  
Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fortes Neto

**Taubaté**

**2015**

**JULIANA MACHADO REZENDE**

**EFLUENTE TRATADO PELO SISTEMA DE LEITO CULTIVADO COM *Panicum maximum* EM ATENDIMENTO ÀS RESOLUÇÕES CONAMA 357/2005 E 430/2011.**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fortes Neto

**Data:**

**Resultado:**

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Dr. Paulo Fortes Neto**

**Universidade de Taubaté**

**Assinatura:** \_\_\_\_\_

**Profa. Dra. Ana Aparecida da Silva Almeida**

**Universidade de Taubaté**

**Assinatura:** \_\_\_\_\_

**Profa. Dra. Herminia Yohko Kanamura**

**Universidade Federal de Alfenas**

**Assinatura:** \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, que me deu o dom da vida e oportunidade de realizar mais um sonho.

Ao meu marido, Caio, que desde o início dessa jornada me acompanha, com muita paciência e carinho, além de toda a compreensão que teve todo este tempo.

Aos meus familiares, que me apoiaram e deram forças me dizendo para não desistir, mas persistir e continuar.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Paulo Fortes Neto por sua imensurável paciência e por seu incentivo em todo o tempo.

À Mestre Eliana Maria de Araújo Mariano da Silva, pelas importantes informações e ajuda.

Ao Departamento de Ciências Agrárias, por oferecer todo o suporte necessário para que essa pesquisa pudesse ser realizada.

Meus sinceros agradecimentos.

“A responsabilidade social e a preservação ambiental  
significa um compromisso com a vida.”

*João Bosco da Silva*

## RESUMO

### **Efluente tratado pelo sistema de leito cultivado com *Panicum maximum* em atendimento às Resoluções CONAMA 357/2005 E 430/2011.**

O lançamento de esgotos sanitários e industriais sem tratamento nos corpos d'água está entre a principal causa da deterioração dos corpos d'água, comprometendo a qualidade deste importante recurso, além de contribuir na veiculação de muitas doenças, trazendo sérios prejuízos à saúde da população. A utilização de métodos alternativos para a redução da carga poluente dos esgotos, como leito cultivado com plantas, tem apresentado resultados satisfatórios, tornando esta prática viável. No presente se avaliou a eficiência dos sistema de leito cultivado do *Panicum maximum* no tratamento do esgoto sanitário de uma instituição de ensino, de modo a atender padrões para o lançamento em corpos de água doce classe 2 conforme padrões estabelecidos nas resoluções CONAMA 430/2011 e CONAMA 357/2005. Por oito semanas amostras do efluente foram coletadas em quatro pontos do sistema de tratamento de esgoto do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté: 1- entrada, 2- após o tanque séptico, 3- após o tanque anaeróbio e 4- após o leito cultivado. Os resultados obtidos mostraram que o sistema de tratamento promoveu redução no número de coliformes termotolerante em 53%. Quanto a Demanda Bioquímica de Oxigênio a redução foi acima de 90%, atendendo à legislação que determina remoção mínima de 60%. Para os teores de nitrogênio total e fósforo total a redução foi respectivamente de 80% e 85%. O sistema obteve redução dos teores de coliformes termotolerante, atendendo aos limites de lançamento estipulados pela Resolução CONAMA 357/05, mas a DBO, o teor de nitrogênio total e fósforo total limitam o lançamento do efluente tratado em corpos d'água.

Palavras-chave: leito de raízes, esgoto doméstico, tratamento de esgoto.

## ABSTRACT

### **Effluent treated by wetland with *Panicum maximum* attending CONAMA Resolutions 430/2011 and 357/2005.**

The laying of sanitary and industrial waste water untreated into water courses are the main cause of deterioration of it, compromising the quality of this important resource, and contribute to the transmission of many diseases, bringing serious damage to public health. The use of alternative methods for reducing the polluting of the sewage, as wetland systems with plants, has shown satisfactory results, making this practice viable. This study aimed to evaluate the efficiency of wetland system with *Panicum maximum* in the treatment of sewage in a educational institution in order to reach standards for discard in class 2 water courses attending Resolutions CONAMA 430/2011 and CONAMA 357/2005. For eight weeks samples of the effluent were collected at four points in sewage treatment system of the Department of Agricultural Sciences in the University of Taubaté: 1- system entry, 2- after the septic tank, 3- after anaerobic tank and 4- after the wetland. The results obtained show that the treatment system decreased the number of thermotolerant coliforms in 53%. For DBO reduction was over 90%, attending the law that determine minimum removal of 60%. For total nitrogen and total phosphorus reduction was respectively 80% and 85%. The system achieved a reduction of thermotolerant coliform levels, reaching the limits set by CONAMA Resolution 357/05, but the DBO, total nitrogen content and total phosphorus limit the release of treated effluent into water courses.

Keywords: wetlands, sewage, wastewater treatment.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Perfil Esquemático da ETE compacta por leito cultivado. 22
- Figura 2:** Vista geral do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU. 30
- Figura 3:** Leito cultivado com *Panicum maximum* instalado no Departamento de Ciências Agrárias, da Universidade de Taubaté (SP).Perfil esquemático de operação do projeto. 32
- Figura 4:** Perfil esquemático de operação do projeto. 33
- Figura 5:** Coliformes termotolerante em amostra de efluentes coletados: antes da fossa séptica (1), antes do filtro anaeróbio (2), antes do leito cultivado (3) e após leito cultivado (4), no sistema de leito cultivado do Departamento de Ciências Agrárias da Unitau no período de setembro/outubro de 2013. 37
- Figura 6:** Valores de DQO nos diferentes pontos de amostragem do sistema de leito cultivado implantado no Departamento de Ciências Agrárias da Unitau no período de setembro/outubro de 2013. 38
- Figura 7:** Valores de DBO nos diferentes pontos de amostragem do sistema de leito cultivado implantado no Departamento de Ciências Agrárias da Unitau no período de setembro/outubro de 2013. 39
- Figura 8:** Teores de nitrogênio total obtidos nos diferentes pontos de amostragem do sistema de leito cultivado, implantado no Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU. 40
- Figura 9:** Teores de fósforo total obtidos nos diferentes pontos de amostragem do sistema de leito cultivado, implantado no Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU. 41



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Estimativa da eficiência esperada nos diversos níveis de tratamento incorporados numa ETE.	19
<b>Tabela 2:</b> Valores médios dos parâmetros para os diferentes pontos de amostragem.	36
<b>Tabela 3:</b> Valores máximos dos parâmetros da Resolução CONAMA 357/05 para lançamento em corpos d'água classe 2.	36
<b>Tabela 4:</b> Valores máximos de DBO da Resolução CONAMA 430/11.	36

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	12
<b>2 OBJETIVO</b>	14
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	15
3.1 Saneamento básico	15
3.2 Tratamento de esgoto	17
3.3 Sistema de tratamento de efluentes por leito cultivado	20
3.4 Eficiência do leito cultivado	24
3.4.1 Coliformes termotolerante	25
3.4.2 Demanda Química de Oxigênio(DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio(DBO)	25
3.4.3 Nitrogênio total	26
3.4.4 Fósforo total	27
3.5 Legislação Brasileira que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes	27
3.6 <i>Panicum maximum</i> em sistema de leito cultivado	28
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b>	30
4.1 Caracterização da área de estudo	30
4.2 O sistema de leito cultivado e amostragens do efluente	31
4.3 Parâmetros analisados	33
4.3.1 Método das análises químicas e microbiológicas	34
4.3.1.1 Coliformes termotolerante	34
4.3.1.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	34
4.3.1.3 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	35
4.3.1.4 Nitrogênio total	35
4.3.1.5 Fósforo total	35
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	36

5.1 Coliformes termotolerante	37
5.2 Demanda Química de Oxigênio e Demanda Bioquímica de Oxigênio	38
5.3 Nitrogênio total	40
5.4 Fósforo total	41
<b>6 CONCLUSÕES</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O esgoto doméstico é um resíduo altamente poluidor, e por isso tem demandado pesquisas visando o desenvolvimento de tecnologias adequadas e de baixo custo para o seu tratamento e disposição adequada do efluente gerado nesse tratamento (RIBAS e FORTES NETO, 2008).

No Brasil, o lançamento de esgotos sanitários e industriais sem tratamento nos corpos d'água está entre os principais impactos à qualidade da água, mostrando o déficit na área do saneamento básico, que é sempre justificado pela falta de recursos e de uma política clara para o setor. Além do mais, esse descarte contribui para deterioração dos corpos d'água e compromete a qualidade deste importante recurso, além da degradação ambiental e o risco à saúde da população (BREGUNCE, 2011).

Nos últimos anos é possível verificar grandes avanços em pesquisas e desenvolvimento de processos e técnicas de tratamento de águas residuárias. Esses estudos são direcionados tanto para sistemas de grande porte e de maior complexidade, como de pequeno porte, baixo custo e simplicidade operacional (MAZZOLA, 2005; RIBAS e FORTES NETO, 2008).

Os tratamentos aplicados ao esgoto devem ser eficazes na redução da carga orgânica, como determina a legislação brasileira vigente (CONAMA, 2011) caso contrário, o efluente não poderá ser lançado no corpo d'água, pois poderá conferir às águas características deletérias a reprodução ou fisiologia dos organismos vivos, restringindo os usos preponderantes de cada classe de água previsto na legislação (CONAMA, 2005).

Dentre as possibilidades de tratamento desse efluente, destaca-se o sistema de tratamento de esgoto com leito cultivado, que além de simples implantação e operação, é baseado em processos naturais, além de ser uma alternativa eficiente na melhoria do efluente

para liberação no meio aquático (BREGUNCE, 2011). Este sistema usa de espécies vegetais para o tratamento do esgoto o que representa uma tecnologia que está se revelando como uma alternativa, eficiente e de baixo custo, aos sistemas convencionais.

Neste presente estudo, o sistema de tratamento de esgoto com leito cultivado que recebeu o efluente é instalado dentro de uma universidade que dá fundos para o Ribeirão Itaim, que possui relevância econômica e ambiental para a região. Vários trabalhos já foram feitos nesse ribeirão buscando melhoria no efluente a ser lançado.

Dessa forma salienta-se a importância no atendimento à legislação vigente, considerando que a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável e que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas.

## **2 OBJETIVO**

O presente estudo teve como objetivo avaliar se o sistema de tratamento de esgoto tipo leito cultivado com *Panicum maximum* foi eficaz na geração de efluente com características de qualidade (DBO, DQO, nitrogênio, fósforo e coliformes termotolerante) em conformidade com os padrões estabelecidos pelas Resolução CONAMA 357/2005 e Resolução CONAMA 430/2011 considerando seu lançamento em corpos d'água de classe 2.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Saneamento Básico

O saneamento é um dos meios mais importantes de prevenção de doenças, podendo ser definido como o controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeito deletério sobre o seu bem-estar físico, mental ou social (MOTTA, 1993).

A implantação dos serviços de saneamento básico, em função da sua importância, deve ser tratada como prioridade na infraestrutura pública das comunidades. Esses serviços em bom funcionamento implicam em uma existência com mais dignidade para a população usuária, pois melhora as condições de higiene, segurança e conforto. Segundo Almeida e Almeida (2005), a implantação de um sistema de esgotamento sanitário, bem como sua operação, permite atingir os seguintes objetivos: - sanitários, que consiste na coleta e remoção rápida e segura das águas residuárias, disposição sanitária dos efluentes, devolvendo ao ambiente a água em condições de reuso, e redução ou eliminação de doenças de transmissão através da água, aumentando a vida média dos habitantes; - sociais, controle da estética do ambiente, evitando odores desagradáveis, melhoria das condições de conforto e bem estar da população; - econômicos, melhoria da produtividade tendo em vista uma vida mais saudável para os cidadãos e menor número de horas perdidas com recuperação de enfermidades, preservação dos recursos naturais e redução dos gastos públicos com campanhas de imunização e/ou erradicação de moléstias endêmicas ou epidêmicas.

Segundo Colares *et al.* (2010) são mais de 105 milhões de brasileiros que não dispõem de um sistema de esgotamento sanitário adequado, e, devido essa falta de saneamento 30% das mortes de crianças com menos de um ano de idade ocorrem por causa da diarreia e cerca

de 60% das internações em pediatria devem-se à falta de saneamento. Dessa forma, fica propícia o retorno de várias doenças consideradas erradicadas ou mesmo eliminadas do nosso cotidiano.

As populações rurais, normalmente com menos acesso às medidas de saneamento, são vítimas de enfermidades oriundas dos agentes biológicos contaminantes existentes no esgoto (RIBAS, 2008), e quase 2/3 dos brasileiros que vivem fora de áreas urbanas não contam com o serviço de saneamento básico, ou seja, é um grande risco à saúde dessa parcela da população.

No meio rural, a situação é mais crítica que no meio urbano pois há falta de recursos financeiros, baixa instrução da população e pouca informação sobre a importância e a gravidade da situação. Nessas áreas ocorre contaminação do solo, das águas de superfície e subterrâneas decorrentes do não tratamento das águas residuárias (VALENTIM, 1999).

A presença de fossas sépticas é muito comum em pequenas comunidades, sendo muitas vezes, construídas fora das especificações técnicas e operam em condições irregulares. Assim, tornam-se foco de contaminação dos recursos hídricos no caso de transbordamentos, bem como, comprometem as águas aplicadas na irrigação agrícola e as águas subterrâneas. Isso reflete na má qualidade da água que será consumida pela captação em poços da região, além de haver o problema com as doenças de veiculação hídrica (COLAÇO, 2006).

Muitas doenças tidas como erradicadas tornam a assolar a sociedade, causando sérios prejuízos à saúde da população (VALENTIM, 2003). Portanto, é fundamental investigar sistemas de tratamento que retirem ou até mesmo diminuam, consideravelmente, substâncias indesejáveis, e assim, possa fornecer efluentes com concentrações que possam ser lançados em corpos receptores, sem causar danos à natureza (SOUSA, 2001).



A necessidade de implantação de infraestrutura de saneamento surge como uma das principais preocupações da administração pública. No estado de São Paulo, com o processo de crescimento das aglomerações urbanas, os sistemas de saneamento têm evoluído de forma estreitamente ligada com o processo de desenvolvimento econômico e de urbanização (OLIVEIRA, 2006).

O déficit na área é sempre justificado pela falta de recursos e de uma política clara para o setor (VALENTIM, 2003). Uma opção que se mostra viável para melhoria deste quadro, tanto do ponto de vista econômico, como social e ambiental é o tratamento de esgoto “in situ”, que apresenta simples gerenciamento e facilidade de construção.

Os processos de tratamento baseados nos sistemas naturais possuem vantagens em relação aos convencionais, por serem pouco mecanizados, de fácil operação e apresentarem baixo custo de implantação e operação, sendo uma boa opção para implantação em áreas rurais e em pequenas comunidades (COLAÇO, 2006).

### 3.2 Tratamento de esgoto

O esgoto sanitário pode ser definido como a junção de águas residuárias de uso doméstico, comercial, institucional e industrial (AVELAR, 2008), e infelizmente ainda é prática comum no Brasil a disposição deste resíduo em corpos d’água.

A geração de esgoto sanitário é advinda das águas de abastecimento, sendo sua medida dada em função da quantidade de água consumida, é geralmente expressa pela taxa de consumo per capita dependendo dos hábitos e costumes de cada localidade (SOUSA e OLIVEIRA, 2011).

Segundo Avelar (2008), o processo de tratamento de esgoto realizado em estações de tratamento de esgotos (ETEs) consiste na montagem de um sistema visando à diminuição das características indesejadas, de forma otimizada, o que pode reduzir os custos e tempo de tratamento, e também devido à escassez de água potável e a contaminação das águas pelo descaso ambiental, faz-se necessária a utilização de tecnologias que permitam o adequado tratamento de efluentes de forma a preservar a qualidade da água (ALMEIDA e ALMEIDA, 2005).

Em contrapartida, também observamos que os sistemas de tratamento de esgoto convencionais, apresentam desvantagens, tais como, a elevada demanda de energia para a degradação do material carbonáceo e para a nitrificação; o desperdício de substâncias que poderiam ser utilizadas na agricultura; a alta produção de biossólidos (lodo de esgoto); alto custo de manutenção das redes coletoras, entre outros (SEZERINO *et al.*, 2005).

Segundo Oliveira (2006), no campo de tecnologias para o tratamento de esgotos sanitários, a escolha entre as diversas alternativas disponíveis é ampla e depende de diversos fatores, entre eles: a área disponível para a implantação da ETE, topografia dos possíveis locais de implantação, volumes diários a serem tratados e variações horárias e sazonais da vazão de esgotos, características do corpo receptor de esgotos tratados, disponibilidade e grau de instrução da equipe operacional responsável pelo sistema, disponibilidade e custos operacionais de consumo de energia elétrica, clima e variações de temperatura da região, disponibilidade de locais e/ou sistemas de reaproveitamento e/ou disposição adequados dos resíduos gerados pela ETE.

O tratamento de esgotos pode ser dividido em três níveis de acordo com o grau de poluentes que se deseja atingir conforme Oliveira (2006) cita em seu estudo e a Tabela 1 ilustra: o tratamento primário destina-se à remoção de sólidos grosseiros em suspensão

(materiais de maiores dimensões e sólidos decantáveis como areia e gordura). São utilizados apenas mecanismos físicos (gradeamento e sedimentação por gravidade) como método de tratamento. Essa etapa tem a finalidade de proteger as unidades de tratamento subsequentes e dispositivos de transporte como, por exemplo, bombas e tubulações, além de proteção dos corpos receptores quanto aos aspectos físicos. Nesse primeiro momento, há remoção também de boa parte da matéria orgânica, utilizando-se de mecanismos físicos como método de tratamento.

O tratamento secundário, normalmente constituído por reator biológico, remove grande parte da matéria orgânica, parcela dos nutrientes como nitrogênio e fósforo. Nessa etapa, os reatores biológicos reproduzem os fenômenos naturais da estabilização da matéria orgânica que ocorreriam no corpo receptor.

O tratamento terciário é geralmente constituído de unidade de tratamento físico-químico, tendo como finalidade a remoção complementar da matéria orgânica, dos nutrientes, de poluentes específicos e a desinfecção dos esgotos tratados. Esse tratamento final nem sempre está presente no sistema de tratamento.

**Tabela 1** – Estimativa da eficiência esperada nos diversos níveis de tratamento incorporados numa ETE

Tipo de tratamento	Matéria orgânica (% remoção de DBO)	Sólidos em suspensão (% remoção SS)	Nutrientes (% remoção nutrientes)	Bactérias (% remoção)
Preliminar	5 – 10	5 – 20	Não remove	10 – 20
Primário	25 – 50	40 – 70	Não remove	25 – 75
Secundário	80 – 95	65 – 95	Pode remover	70 – 99
Terciário	40 – 99	80 – 99	Até 99	Até 99,999

Fonte – OLIVEIRA, 2006

O sobrenadante gerado após pré-decantação dos esgotos pode passar por um processo adicional de tratamento feito por leitos cultivados artificiais, sendo posteriormente utilizados em descarga de vasos sanitários ou para fins mais nobres, levando a significativa diminuição do consumo de água e, conseqüentemente, diminuição na geração de resíduos (SOUSA e OLIVEIRA, 2011).

Dentre os possíveis sistemas de tratamento, destacam-se os tanques sépticos, as lagoas de estabilização, os reatores anaeróbios, o reúso e disposição no solo e os leitos cultivados (VALENTIM, 2003).

Uma alternativa vista como ambientalmente sustentável, é o sistema de tratamento de esgoto chamado natural, que consiste no sistema que se baseia na capacidade de ciclagem dos elementos contidos nas águas residuárias, sem o fornecimento de qualquer fonte de energia induzida para acelerar os processos bioquímicos, os quais ocorrem de forma espontânea (SEZERINO *et al.*, 2005).

### 3.3 Sistema de tratamento de efluentes por leito cultivado

Sistemas de “wetlands” naturais são sistemas complexos e fascinantes, que exercem uma série de funções vitais para o ambiente e a sociedade, uma vez que sua existência depende da qualidade do meio. Esses sistemas tem a função de promover um melhoramento da qualidade da água, retendo ou transformando o excesso de nutrientes, os sólidos suspensos e metais pesados, além de proteger o meio ambiente (MONTEIRO, 2009).

Como exemplo se sistema natural de tratamento de esgoto, temos o sistema de leitos cultivados ou “*wetland*” construído. Sendo que o termo “sistema natural” descreve os processos de tratamento que têm como principais componentes, a força gravitacional,

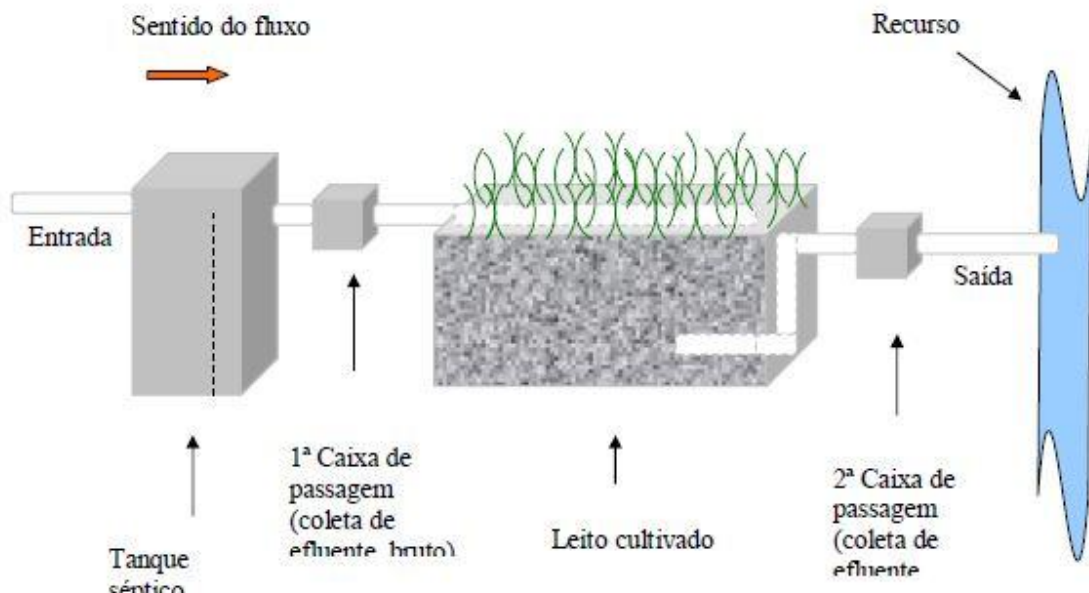
microorganismos, plantas e animais; e apresenta muitas vantagens, sendo a principal, o baixo custo de implantação e operação, sem contar que o clima e a biodiversidade vegetal do Brasil torna o país propício ao uso desta tecnologia (COLAÇO, 2006).

Os sistemas naturais de tratamento de esgotos são assim chamados quando se baseiam na capacidade de ciclagem dos elementos contidos nas águas residuárias sem o fornecimento de qualquer fonte de energia induzida para acelerar os processos bioquímicos, sendo que esses ocorrem de forma espontânea, e, nessas características enquadram-se os sistemas de tratamento construídos, utilizando leito cultivado com macrófitas (COLAÇO, 2006 e SEZERINO *et al.*, 2005). Além do mais, as fontes de energia nesses sistemas naturais são renováveis, e, com o objetivo de reciclar a matéria orgânica e os nutrientes, ocorrem interações entre os processos (químicos, físicos e biológicos) com agentes como plantas, solo, animais e luz solar (AVELAR, 2008).

O tratamento por leito cultivado é uma tecnologia para tratamento de efluentes que envolve o emprego de espécies vegetais adequadas com o fim de degradar, reter e remover poluentes orgânicos e inorgânicos da água (RIBAS, 2008), e caracteriza-se por ser um sistema físico-biológico, constituído por um tanque séptico, onde ocorre o tratamento primário do efluente bruto, sendo removidos os sólidos sedimentáveis, e no leito de raízes, onde ocorre o tratamento secundário.

Conforme Ribas (2008), a estação compacta de tratamento de efluentes por leito cultivado caracteriza-se por ser um sistema físico-biológico, constituído por tanque séptico onde ocorre o tratamento primário do efluente bruto, cuja função é remover os sólidos sedimentáveis e leito cultivado, onde ocorre o tratamento secundário. Todos os compartimentos são construídos em concreto impermeabilizado ou dependendo das características do terreno e do solo, pode-se usar lona plástica resistente e impermeável para

ferrar internamente o tanque do leito. É constituído por um leito físico composto por uma camada de brita apoiada sobre outra camada de areia. Sobre a brita é cultivada uma espécie vegetal adequada à solo saturado e rico em matéria orgânica. Do tanque séptico, o efluente é distribuído, por uma rede de tubulação de “PVC” perfurada, dentro do leito cultivado, na altura das raízes das plantas, onde se inicia o tratamento secundário da ETE. Havendo declividade suficiente todo o processo ocorre sem demanda de energia, utilizando-se apenas da ação da gravidade para conduzir o efluente. Se for necessário, utiliza-se uma bomba para elevar ou conduzir o efluente do tanque para a ETE. O uso de bombas elétricas para conduzir o fluxo de efluente, só se faz necessário quando as alternativas de condução não ofereçam um caimento mínimo ou quando o tanque séptico estiver abaixo do nível da ETE. No fundo fica acomodada a tubulação que capta o efluente tratado, conduzindo-o para fora da estação (Figura 1).



Fonte – RIBAS (2008)

**Figura 1.** Perfil Esquemático da ETE compacta por leito cultivado

O “*wetland*” construído é um sistema artificialmente projetado com diferentes tecnologias constituído de espécies vegetais em diferentes substratos, que pode ser areia, brita ou outro material inerte. Assim, nessas condições, no sistema de tratamento construído de forma natural pode-se observar o tratamento de águas residuárias por meio de processos físicos, químicos e biológicos (SOUSA, 2006).

O uso do leito cultivado faz-se pertinente, pois, devido aos processos físicos e bioquímicos que ocorrem, a matéria orgânica restante e os sólidos são removidos, os nutrientes são adsorvidos ou absorvidos pelo vegetal e os patógenos são eliminados (SEZERINO, 2005).

Os sistemas de leitos cultivados construídos podem ser divididos em três tipos: flutuantes, submersas e emergentes (SILVA, 2007). São artificialmente projetados para utilizar as plantas macrófitas em substratos como areia, cascalho ou outro material inerte (SOUSA, 2004).

Os leitos construídos tem potencial para otimizar os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem numa várzea natural; vazão superficial que impede o contato de pessoas, animais e mosquitos com a lâmina d’água; transporte de oxigênio, feito pelas plantas da atmosfera para as suas raízes criando microrregiões de contato entre as condições aeróbias – anaeróbias na rizosfera; retirada de nutrientes (nitrogênio e fósforo) pelas plantas; e, diminuição de organismos entéricos por decaimento natural e por predação (VALENTIM, 2003).

Segundo Avelar (2008) é uma solução viável, simples e barata, e de acordo com Colaço (2006) a aplicação deste sistema é ideal para áreas rurais e em pequenas comunidades.

Embora haja estudos a respeito dos tratamentos de águas residuárias, utilizando sistema de leito cultivado com macrófitas, ainda são poucos os estudos que relatam sobre a aplicação desta técnica em condições brasileiras (SEZERINO *et al.*, 2005).

### 3.4 Eficiência do leito cultivado

O tratamento de águas residuárias em sistemas anaeróbios (que apresentam como vantagem o fato de requererem menor área) alcançam elevada remoção de matéria orgânica, a baixo custo, mas em geral, seus efluentes não atendem às exigências da legislação para lançamento em corpos d'água, sendo então necessário um pós-tratamento (FIA, 2010).

Diante disso, Fia (2010) ressalta a eficiência dos sistemas de tratamento construídos no tratamento de águas residuárias, bem como no pós-tratamento de efluentes de sistemas anaeróbios, que se apresentam como uma forma viável e não onerosa, e têm apresentado bons resultados no tratamento de efluentes diversos, com possibilidade de uso do efluente tratado para a rega na agricultura (MATOS *et al.*, 2010). De acordo com Augusto (2007) mostra-se então, como uma alternativa simples e de baixo custo.

Segundo Valentim (1999), o sistema de leito cultivado apresenta como vantagens: otimização dos processos físicos, químicos e biológicos; transporte de oxigênio da atmosfera feito pelas plantas para as suas raízes; e, retirada de nutrientes como fósforo e nitrogênio pelas plantas.

Assumpção (2011) observou que após período de inatividade houve eficiência do leito cultivado na remoção de poluentes, mesmo que de forma lenta. Também verificou que com a remoção da biomassa vegetal morta e o plantio de novas mudas impactou de forma significativamente positiva e resultou em um aumento imediato da qualidade do efluente.



Conforme Amendola e Souza (2007), a recuperação ou tratamento de águas residuárias de origem doméstica por *wetlands* cultivados indicam resultados satisfatórios na remoção da carga poluidora presente no efluente.

Esses sistemas se mostram muito promissores devido à alta remoção da matéria orgânica, fácil implantação e baixo custo (MAZZOLA *et al.*, 2005).

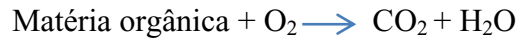
### **3.4.1 Coliformes termotolerante**

A presença de coliformes na água, geralmente indica contaminação, trata-se de um grupo de bactérias pertencentes à família *Enterobacteriaceae*, que representa vários bacilos Gram-negativos de importância clínica, são anaeróbios facultativos presentes no intestino grosso, e a avaliação microbiológica da água é muito importante, pois pode determinar o risco de se contrair doenças de veiculação hídrica, e a presença de coliformes fecais pode indicar uma alta concentração de *Escherichia coli*, pois presume-se que a população do grupo coliformes seja composta de uma alta proporção desta bactéria (SOUZA, 2006).

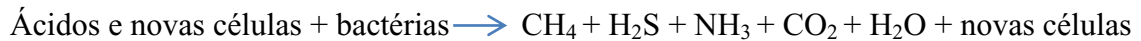
### **3.4.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

As Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) são taxas que indicam a depuração da matéria carbonácea, que pode ocorrer de forma aeróbia e anaeróbia, de acordo com os aceptores de elétrons disponíveis no meio, por meio de microrganismos que necessitam de uma fonte de carbono e energia para manutenção do seu metabolismo e reprodução (AVELAR, 2008).

A degradação pode ocorrer de forma aeróbia, realizada predominantemente, por bactérias aeróbias heterotróficas:



A degradação pode ocorrer de forma anaeróbia, baseando-se em reações realizadas por bactérias facultativas ou anaeróbias obrigatórias, isso em dois estágios:



A degradação anaeróbia é mais lenta que a aeróbia, mas, na ausência de oxigênio, ela torna-se predominante e responsável pelo processo descrito (AVELAR, 2008).

### 3.4.3 Nitrogênio total

A remoção de nitrogênio por meio de leitos cultivados consiste em uma série de processos, mas ocorre, sobretudo pela ação de microrganismos nitrificantes que, em condições aeróbias, o convertem em íons nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e, posteriormente nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Isso, por meio de assimilação pelas plantas e por adsorção por meio de reações de troca iônica no solo. Há ainda uma parcela de amônia ( $\text{NH}_3$ ) perdida por volatilização na forma de amônia molecular (ASSUMPÇÃO, 2010).

O nitrato é um composto cada vez mais encontrado em água de poços. Em águas superficiais ocorre em baixos teores, mas pode atingir altas concentrações, e, seu consumo está associado a efeitos negativos para a saúde humana, especialmente em crianças (FREITAS *et al.*, 2001).

#### 3.4.4 Fósforo total

Os leitos cultivados tornam-se saturados de nutrientes com o decorrer do tempo, e sua eficiência para remoção de fósforo dos efluentes pode reduzir. O processo que ocorre com fósforo em leitos cultivados é bem complexo. A sedimentação do fósforo particulado e a adsorção de fosforo solúvel são processos de remoção básicos que ocorrem nos leitos. Em caso de colheita, a remoção do fósforo pode representar de 20% a 30%, mas se a colheita das espécies vegetais utilizadas nos leitos cultivados não for realizada, o fósforo volta para o sistema aquático (CECCONELLO, 2005).

#### 3.5 Legislação Brasileira que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) propõe um controle mais restritivo da qualidade das águas de consumo humano. Dentre as medidas preventivas está a elaboração de instrumentos legislativos mais restritivos em relação ao tratamento e ao lançamento de águas residuárias (CUTOLO e ROCHA, 2002).

A legislação existente tem o objetivo, além de medidas de saneamento considerando a importância dos recursos hídricos para saúde e bem-estar humano, o equilíbrio ecológico aquático e classe de qualidade ambiental e, a preservação e proteção da sua utilização.

A Resolução CONAMA 357/05, classifica as águas doces em 5 classes segundo os seus usos, além de estabelecer limites individuais de algumas substâncias presentes na água para cada classe (BRASIL, 2005). O padrão adequado para lançamento de efluente de esgoto em corpos d'água de classe 2 é: coliformes termotolerantes (NMP 100mL<sup>-1</sup>) < 2500, DBO (mgL<sup>-1</sup>) < 10, nitrogênio total (mgL<sup>-1</sup>) < 5,6 e fósforo total (mgL<sup>-1</sup>) < 0,05.

A Resolução CONAMA 430/11 complementa e altera a Resolução nº 357/2005, e dispõe sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos d'água receptores (BRASIL, 2011), onde DBO ( $\text{mgL}^{-1}$ ) deve ser  $< 120$  ou ter remoção mínima de 60%.

### 3.6 *Panicum maximum* em sistema de leito cultivado

Quando utilizadas no tratamento de esgoto, as plantas representam uma tecnologia emergente, eficiente, estética e de baixos custos energéticos, sendo assim uma boa alternativa (AVELAR, 2008).

As plantas têm funções definitivas no processo de tratamento do esgoto, podendo-se observar a absorção de material orgânico, nutrientes e metais pesados. As raízes e rizomas das plantas excretam substância de ação bactericida e também promovem transferência de oxigênio do ar atmosférico para o substrato, proporcionando assim, possibilidades de nitrificação (SOUSA, 2011).

As plantas do gênero *Panicum maximum* pertencem à família *Gramineae*, tribo *Paniceae*, que possui cerca de 81 gêneros e mais de 1460 espécies. Encontram-se distribuídas em uma ampla faixa do globo terrestre, em regiões correspondentes à África, Américas Central e do Sul, norte da Austrália, Índia, sudeste da Ásia e as Ilhas do Pacífico. Sempre despertou muito interesse entre pesquisadores e produtores devido a sua alta produtividade e ampla adaptabilidade (MELLO, 2002).

Segundo Brito (1999), o *Panicum maximum*, é uma das forrageiras mais importantes nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, e é de fácil cultivo, apresentando elevado

potencial de aplicação em projetos de sistemas de tratamento construído; ressaltada a curiosidade de que não é uma macrófita.

É uma gramínea forrageira, extremamente adaptada ao pastejo, pois antes do início do estágio de florescimento, ocorre a contínua emissão de folhas, logo após a desfolhação, e também é foco de pesquisas a capacidade da planta em brotar após desfolhação (BARBOSA *et al.*, 2002). É uma espécie que se destaca pelo seu grande potencial de produção e boa qualidade como alimento animal (ALMEIDA *et al.*, 2000).

Segundo Dias e Alves (2008), apresenta boa amplitude de adaptação às condições tropicais e subtropicais, possui boa resistência ao pastoreio e tem boa aceitação pelos animais, mas a qualidade das sementes produzidas geralmente é duvidosa, havendo assim, alguns testes específicos para avaliação da sua viabilidade. O manejo junto com fatores ambientais são determinantes para as características morfogênicas e estruturais da pastagem (CANDIDO *et al.*, 2005), e o período de descanso é muito importante e criterioso.

O *Panicum maximum* já foi o capim mais utilizado para engorda de bovinos e um dos mais expressivos em extensão de área de pastagem cultivada (EUCLIDES *et al.*, 1999), mas possui baixa adaptabilidade a solos de baixa fertilidade e baixa tolerância à seca.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido em condições de campo, no Departamento de Ciências Agrárias, da Universidade de Taubaté (UNITAU), Município de Taubaté, Estado de São Paulo, nas coordenadas Geográficas 23°02'34''S e 45°31'02''W, que atinge altitude média de 577 m e está a 140 km da cidade de São Paulo (Figura 2).



**Figura2.** Vista geral do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU.

O clima local de acordo com a Classificação de Köppen (1948) é do tipo Cwa (sub-tropical), caracterizado por períodos chuvosos no verão e uma média pluviométrica anual de 1300mm.

A Universidade tem como fundos o Ribeirão Itaim, que compõe a bacia do Rio Una , que está localizada em uma área que abrange parte de três municípios: Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba, ocupando uma área de 477km<sup>2</sup>. O rio Una passa a ter essa denominação quando da união do rio Sete Voltas com o rio das Almas, no bairro do Registro (SILVA, 2008).

Sua relevância ambiental e econômica está ligada ao fato de o rio Una ser um importante afluente do rio Paraíba do Sul e fonte de captação de pelo menos 20% de água para o abastecimento do município de Taubaté (Oliveira *et al.*, 2006).

A importância da bacia do Rio Una e, em consequência, a de seus afluentes, no contexto da bacia do rio Paraíba do Sul ficou clara na análise do Comitê das Bacias Hidrográficas do Paraíba do Sul (CBH-PS), onde foi estabelecida uma ordem de priorização das bacias afluentes para ações de recuperação, e resultou na classificação da bacia do Uma em quarto lugar.

A legislação de apoio utilizada foi a Resolução CONAMA 357 de março de 2005, que define o enquadramento dos corpos d'água, estabelecendo classes segundo a qualidade e lançamentos de efluentes, e a Resolução CONAMA 430 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

#### 4.2 O sistema de leito cultivado e amostragens do efluente

O sistema de tratamento consiste em etapas: tanque séptico, seguido de tanque anaeróbio, seguido do leito cultivado com a espécie *Panicum maximum*, que espontaneamente se desenvolveu no sistema.

O esgoto utilizado no experimento foi proveniente do Departamento de Ciências Agrárias – UNITAU, que trata dos esgotos dos sanitários, laboratórios e cozinha existentes no prédio central do Departamento.

O sistema de tratamento de esgoto por leito cultivado estruturalmente se compôs de um tanque séptico construído em concreto armado, dois filtros anaeróbios compartimentados,

sendo o primeiro filtro de fluxo descendente seguido do segundo por fluxo ascendente, e por fim o leito de raízes construído com concreto armado (Figuras 3 e 4).

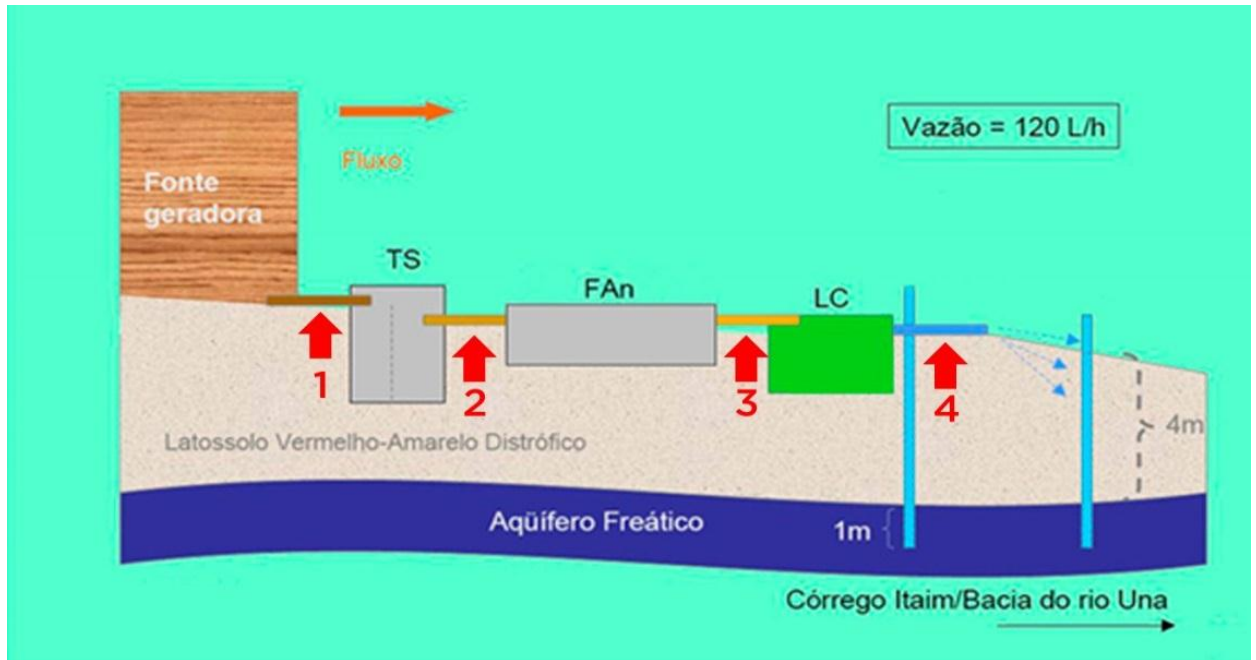
O tratamento tem início com a entrada do esgoto bruto na primeira unidade do sistema, chamada tanque séptico, nessa fase a parte sólida em suspensão fica retida, são separados pelo processo de sedimentação; após isso, o efluente segue para o filtro anaeróbio, que é composto basicamente por uma caixa d'água de cimento amianto, onde uma parte da fração orgânica fica retida; e o que segue vai para o leito cultivado, onde o efluente entra em contato com *Panicum maximum* (Figura 4), ocorrendo reações resultantes desse contato.



**Figura 3.** Leito cultivado com *Panicum maximum* instalado no Departamento de Ciências Agrárias, da Universidade de Taubaté (SP).

Para o monitoramento foram coletadas amostras do líquido efluente, uma vez por semana, durante 8 semanas, em 4 pontos do sistema: entrada do sistema (1), após tanque séptico (2), após tanque anaeróbio (3) e após leito cultivado (4) conforme Figura 3. O efluente a ser tratado teve vazão de 120 L/h.





**Figura 4.** Perfil esquemático de operação do projeto. Legenda: esgoto bruto (1), TS= tanque séptico (2), FAn= filtro anaeróbio (3) e após LC= leito cultivado (4). **Fonte:** adaptado de Fortes Neto (2007)

O efluente tratado deverá atender às exigências para que seja lançado no Ribeirão Itaim (Bacia Hidrográfica do Rio Una), cujos recursos hídricos são utilizados para abastecimentos públicos, industriais e irrigação, embora este esteja diminuindo com a substituição de culturas irrigadas por criação de gado (SILVA, 2008), sendo classificado pela legislação de acordo com Resolução CONAMA 357/05 como classe 2.

#### 4.3 Parâmetros analisados

A eficácia do leito cultivado foi medida em termos e capacidade do sistema em remover poluentes. Assim, foram analisados coliformes termotolerantes, DQO, DBO, nitrogênio total e fósforo total.

### 4.3.1 Métodos de análises microbiológicas e químicas

#### 4.3.1.1 Coliformes termotolerante

A metodologia empregada para a contagem do número mais provável (NMP) de coliformes termotolerantes foi o preconizado no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2000), utilizando-se da técnica de tubos múltiplos (TTM).

Para essa determinação, uma alíquota de 1mL dos frascos, contendo amostras de água diluídas em solução fisiológica a 0,9% nas séries  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  e  $10^{-6}$ , foram incubadas na série de 5 tubos por diluição contendo o meio de cultura A1. Após a inoculação os tubos foram colocados em estufa de cultura regulada à  $35^{\circ}\text{C} \pm 2$  durante um período de 24 a 48 horas e depois foram determinados os tubos positivos e negativos. Na contagem dos tubos positivos fez-se a conversão com o auxílio de uma tabela em número mais provável de coliformes termotolerante em 100 mL de água.

A densidade de coliformes foi expressa em N.M.P. de coliformes termotolerante por 100 mL de água, o qual é obtido por meio da tabela no *Standard Methods* (APHA, 2000).

#### 4.3.1.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Para a análise da DQO, as amostras do efluente foram devidamente colocadas em tubos de ensaio com solução, previamente, preparada de acordo com metodologia descrita pela HACH e incubadas a  $150^{\circ}\text{C}$  por duas horas. Após, a DQO realizada e os resultados foram reportados em  $\text{mgL}^{-1}$  de  $\text{O}_2$  (OPAS, 1999).

#### 4.3.1.3 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

As amostras coletadas foram devidamente colocadas em frascos de vidro tipo âmbar com capacidade de 1L. Os frascos com agitador magnético e com o reagente hidróxido de lítio foram incubados, e os resultados foram reportados em  $\text{mgL}^{-1}$  de  $\text{O}_2$  (OPAS, 1999).

#### 4.3.1.4 Nitrogênio total

Para a determinação do nitrogênio total foi filtrado um volume de 200 mL através de filtro de 0,45 micrôn, e se utilizou 50 mL do filtrado ou volume diluído a 50 mL. Foi empregada uma proveta com tampa com 50 mL de amostra, ou volume menor diluído a 50 mL, ao qual 1 mL de reagente de sulfanilamida foi adicionado, após 5 minutos, 1 mL de dicloreto de N – (1-naftil) etilenodiamina, foi incorporado, sendo as amostras lidas em espectrofotômetro. Os resultados foram comparados a uma curva de calibração construída com o padrão nitrito, sendo empregado como branco, água destilada e repetindo o processo executado para a amostra (APHA, 2000).

#### 4.3.1.5 Fósforo total

Para determinação do fósforo em uma amostra de 50 mL foi adicionado 1mL de ácido sulfúrico concentrado e 5 mL de ácido nítrico e foi digerida por 1 hora a  $105^\circ\text{C}$ . Após resfriamento adicionou-se ao meio 3 gotas de fenilftaleína. Foram adicionados 16 mL de solução desenvolvedora de cor e a leitura foi feita em espectrofotômetro. Foi utilizado como branco, água deionizada. Os resultados foram comparados aos de uma curva padrão preparada com fosfato de potássio anidro (APHA, 2000).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises dos parâmetros analisados para caracterizar a eficiência do sistema de leito cultivado utilizando *Panicum maximum* são apresentados na Tabela 4.

Tabela 2. Valores médios dos parâmetros para os diferentes pontos de amostragem.

Parâmetros	Efluente Bruto	Após tanque séptico	Após tanque anaeróbio	Após leito cultivado
Coliformes termotolerantes (NMP 100mL <sup>-1</sup> )	15,45	15,27	10,58	8,32
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	4451	3578	815,6	205,04
DBO (mgL <sup>-1</sup> )	1106,6	841,4	246	129,4
Nitrogênio total (mgL <sup>-1</sup> )	45,92	24,08	10,6	7,4
Fósforo total (mgL <sup>-1</sup> )	37	28,2	8,63	5,58

Tabela 3. Valores máximos dos parâmetros da Resolução CONAMA 357/05 para lançamento em corpos d'água classe 2.

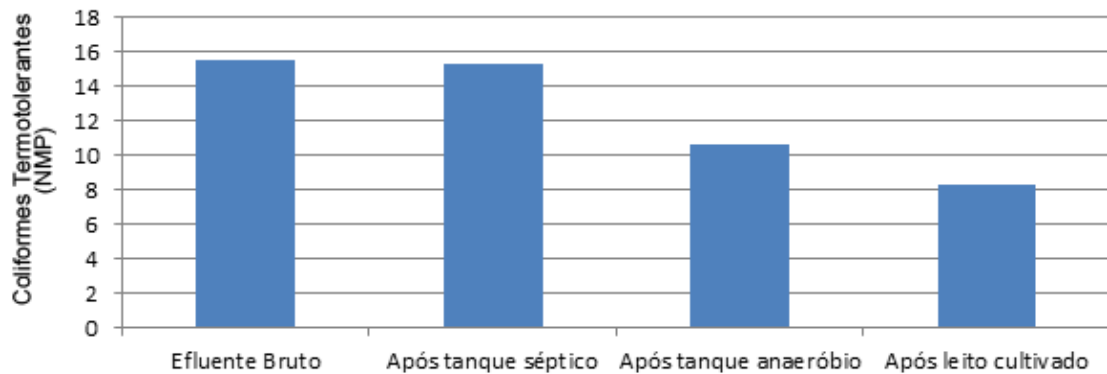
Parâmetros	
Coliforme termotolerantes (NMP 100mL <sup>-1</sup> )	2500
DBO (mgL <sup>-1</sup> )	10
Nitrogênio total (mgL <sup>-1</sup> )	5,6
Fósforo total (mgL <sup>-1</sup> )	0,05

Tabela 4. Valores máximos de DBO da Resolução CONAMA 430/11.

Parâmetros	valor máximo
DBO (mg/L <sup>-1</sup> )	120 ou remoção mínima de 60%

### 5.1 Coliformes termotolerantes

Os resultados de coliformes termotolerantes nas amostras de efluentes coletadas antes da fossa séptica, filtro anaeróbio e leito cultivado estão apresentados na Figura 5.



**Figura 5.** Coliformes termotolerantes em amostra de efluentes coletados: antes da fossa séptica (1), antes do filtro anaeróbio (2), antes do leito cultivado (3) e após leito cultivado (4), no sistema de leito cultivado do Departamento de Ciências Agrárias da Unitau no período de setembro/outubro de 2013.

Os dados amostrados indicam eficiência positiva do sistema de leito cultivado na remoção de coliformes termotolerantes, o que também foi verificado por Amendola e Sousa (2007), mas, o tempo de retenção hidráulica parece ter influência nos resultados (BREGUNCE *et al.*, 2011).

A quantidade de coliformes termotolerantes do efluente de todo o sistema de tratamento analisado variou entre 8,29 e 15,50 (NMP 100mL<sup>-1</sup>). A redução da concentração média de coliformes termotolerantes obtida nesse sistema foi considerada eficiente comparada aos parâmetros. Porém, observou-se que a grande queda na quantidade de coliformes termotolerantes ocorre após a passagem do efluente pelo filtro anaeróbio, onde a variação das médias é 15,27 e 10,58 (NMP/100mL). De qualquer forma, ainda há redução após a passagem

pelo leito cultivado, sendo o valor médio 8,32 (NMP/100mL), assim atendendo a legislação que exige  $\text{NMP}/100\text{mL} < 2500$ .

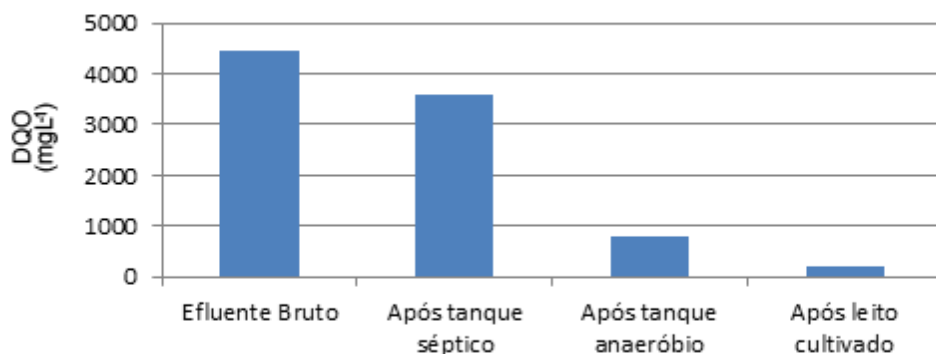
O bom desempenho dos sistemas de leito cultivado na remoção de coliformes termotolerantes também foi observado por outros autores.

O efluente apresentou-se adequado para a utilização na agricultura na forma de irrigação irrestrita, em função dos valores de coliformes termotolerantes (WHO,1989). Fortes Neto *et al.* (2013), também obteve eficiência na remoção de coliformes termotolerantes em sistema de tratamento de esgoto, e utilizou o mesmo para fertilização na produção de aveia.

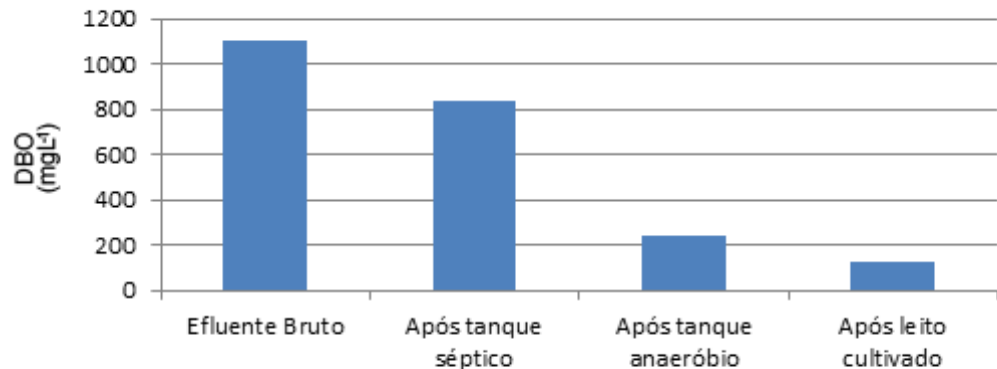
Sousa *et al.* (2004) observou em leito plantado com junco um relevante índice de remoção. Ribas (2008) também considerou o resultado positivo em sua pesquisa.

## 5.2 Demanda Química de Oxigênio e Demanda Bioquímica de Oxigênio

Os resultados de DQO e DBO nas amostras de efluentes coletadas são apresentados respectivamente nas Figuras 6 e 7.



**Figura 6.** Valores de DQO nos diferentes pontos de amostragem do sistema de leito cultivado implantado no Departamento de Ciências Agrárias da Unitau no período de setembro/outubro de 2013.



**Figura 7.** Valores de DBO nos diferentes pontos de amostragem do sistema de leito cultivado implantado no Departamento de Ciências Agrárias da Unitau no período de setembro/outubro de 2013.

Estudos que envolvem leitos cultivados, em sua maioria, têm como resultado altas taxas na remoção de DQO e DBO, o que também foi verificado no presente estudo.

A DQO corresponde a uma oxidação da matéria orgânica obtida por meio da fonte oxidante em meio ácido, assim, por estar relacionada com a quantidade de matéria orgânica, quanto mais poluído o efluente, maior será sua quantidade.

No sistema todo, houve variação entre 4830 a 200  $\text{mgL}^{-1}$  de DQO, havendo uma redução drástica do ponto 1 correspondente ao esgoto bruto para o ponto 4 correspondente ao esgoto após passagem pelo leito cultivado.

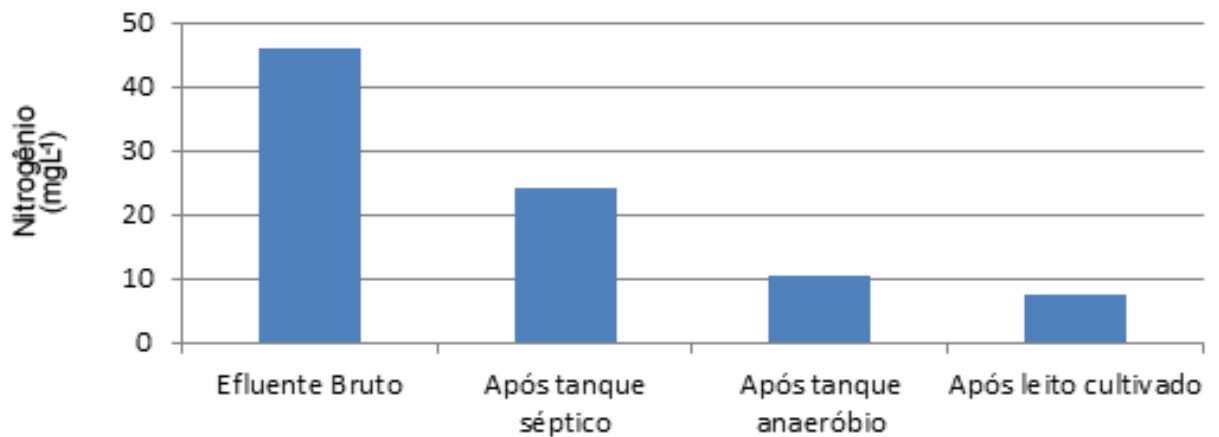
Brito *et al.* (1999) obteve eficiência média de remoção de matéria orgânica em DQO de 53% utilizando sistema de leitos cultivados com capim-elefante (*Pennisetum purpureum*).

A DBO retrata a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar, por meio de processos bioquímicos, a matéria carbonácea. O sistema monitorado apresentou variação de 1106,6 a 129,4  $\text{mg/L}^{-1}$ , demonstrando eficiência no sistema e atendimento à legislação vigente (CONAMA 430/11) que prevê valores menores que redução mínima de 60%.

Assumpção (2010) também observa eficiência na remoção de DBO em 46% em sistema de leito cultivado com *Typha* sp.

### 5.3 Nitrogênio total

Os valores de nitrogênio total são apresentados na Figura 8 nos diferentes pontos de amostragem do sistema de leito cultivado, implantado no Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU.



**Figura 8.** Teores de nitrogênio total obtidos nos diferentes pontos de amostragem do sistema de leito cultivado, implantado no Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU.

A análise dos dados indicou que a remoção de nitrogênio total ocorreu de forma contínua, não sofrendo variações durante o período de monitoramento. A concentração de nitrogênio do esgoto bruto variou entre 43 e 48,6 mgL<sup>-1</sup>, mas após a passagem pelo leito cultivado variou de 7 a 7,8 mgL<sup>-1</sup>.

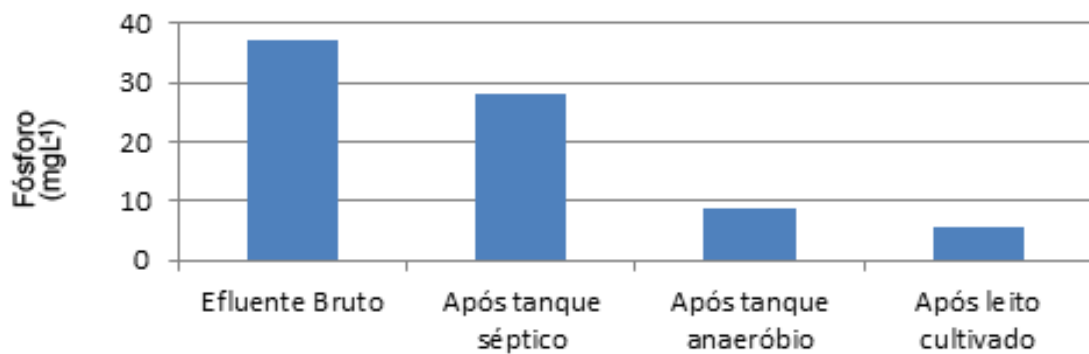


Outros estudos apresentaram baixas remoções de N total em um leito cultivado com macrófita e em outro estudo realizado, obteve-se 69,25% de eficiência utilizando a mesma macrófita (MAZZOLA, 2003). Assim, o sistema não atendeu ao padrão exigido pela legislação que é  $< 5,6 \text{ mgL}^{-1}$ .

Quanto à remoção de nutrientes, sobretudo nitrogênio e fósforo, espera-se que haja eficiência na remoção, mas sabe-se que após certo tempo de operação ocorre diminuição dessa eficiência.

#### 5.4 Fósforo total

Os valores de fósforo total são apresentados na Figura 9 nos diferentes pontos de amostragem do sistema de leito cultivado, implantado no Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU.



**Figura 9.** Teores de fósforo total obtidos nos diferentes pontos de amostragem do sistema de leito cultivado, implantado no Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU.

A redução média de fósforo total entre o efluente bruto e o tratado foi de 85%, mas ainda não atendeu à legislação vigente que prevê valores  $< 0,05 \text{ mgL}^{-1}$ .

O valor médio de fósforo na entrada do leito cultivado foi de  $37 \text{ mgL}^{-1}$ , e após passagem pelo leito cultivado foi de  $5,58 \text{ mgL}^{-1}$ , e, em todos os momentos a eficiência foi positiva.

Alguns estudos mostram que a eficiência na remoção se dá também pelos fenômenos de assimilação pelas plantas e também troca iônica por alguns minerais presentes no meio, mas, mostram não ser suficientes para chegar aos valores apresentados.

Quanto à remoção do fósforo total sabe-se que há eficiência na remoção, mas que após certo tempo de operação ocorre diminuição dessa eficiência (SILVA e ROSTON, 2010).

Verificando a eficiência do sistema de leito cultivado no tratamento de águas residuárias, a redução de fósforo não torna o esgoto tratado no sistema cultivado com *Panicum maximum* um resíduo dentro dos parâmetros legais das Resoluções CONAMA 357/05 e 430/11 para o descarte nos corpos d'água.

Mas, ainda assim, pode-se incentivar a implantação do sistema, visando à melhoria das condições de saúde em comunidades rurais e em comunidades de periferia, onde normalmente as condições são mais precárias. E, por ser um sistema natural, a economia no gasto de energia indica que esse sistema pode ser totalmente sustentável.

## 6 CONCLUSÕES

O efluente gerado do tratamento do esgoto do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU por meio de sistema de leito com *Panicum maximum* não atendeu a todos os padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/11 para rios classe 2.

Houve redução dos parâmetros, mas percebemos que não é a passagem pelo sistema de leito cultivado que garante a maior redução. Ainda assim, é importante ressaltar que há redução após a passagem pelo leito cultivado em todos os parâmetros observados.

Verificou-se que a redução dos teores de coliformes termotolerantes atende aos limites de lançamento estipulados pela Resolução CONAMA 357/05, mas a DBO, o teor de nitrogênio total e fósforo total limitam o lançamento do efluente tratado no corpo d'água.

Quanto à Resolução CONAMA 430/11, o efluente também não atende às condições e padrões, sendo somente a DBO o parâmetro que obteve eficiência de remoção mínima de 60%.

Como sugestão para futuros estudos, o tempo de retenção do efluente no sistema pode ser aumentado, gerando resultados mais satisfatórios quanto ao atendimento às Resoluções CONAMA quanto ao tratamento de efluentes sanitários e sua disposição em corpos d'água.

O sistema de leito cultivado utilizando *Panicum maximum* apresentou redução de todos os parâmetros analisados, pode-se confirmar a viabilidade da implantação desse sistema em instituições de ensino, indústrias e em pequenas comunidades, sendo uma alternativa simples e de baixo custo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A.A.S.; MONTEIRO, F.A.; JANK, L. Avaliação de *Panicum maximum* Jacq. para tolerância ao alumínio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 339-344, 2000.

ALMEIDA, R.A.; ALMEIDA, N.A.M. Remoção de coliformes o esgoto por meio de espécies vegetais. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 7, n. 03, p. 306-317, 2005.

AMENDOLA, M., SOUSA, A.L. Investigação teórica do processo de redução de coliformes e leitos cultivados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n.6, p. 637-643, 2007.

APHA, WWA, WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20<sup>th</sup> ed. Washington D.C. American Public Health Association. 2000.

ASSUMPÇÃO, J.G. Desempenho do leito cultivado no tratamento de efluentes gerado em uma instituição de ensino. 2010. 79p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Taubaté, Taubaté, 2010.

ASSUMPÇÃO, J.G.; UENO, M.; NETO, P.F.; ROSA, L.C.L. Desempenho do leito cultivado de uma estação de tratamento de efluentes gerado em uma instituição de ensino após período de inatividade. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.6, n.3, p. 165-178, 2011.

AUGUSTO, D.C.C.; GUERRINI, I.A.; ENGEL, V.L.; ROUSSEAU, G.X. Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 745-751, 2007.

AVELAR, J.C. **Avaliação da escória de Aciaria (LD) como leito cultivado e leito filtrante no pós-tratamento de efluente de reator UASB compartimentado**. 2008. 153p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

BARBOSA, R.A.; NASCIMENTO JR., D.; EUCLIDES, V.P.B.; REGAZZI, A.J.; FONSECA, D.M. Características Morfogênicas e Acúmulo de Forragem do Capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. Cv. Tanzânia) em Dois Resíduos Forrageiros Pós-Pastejo. **Rev. Bras. Zootec.**, Juiz de Fora, v.31, n.2, p.583-593, 2002.

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

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO nº 430**. Diário Oficial da União, 13 de maio de 2011.

BREGUNCE, D.T.; VEIGA, B.V.; MARANHO, L.T.; CUBAS, S.A. Avaliação de sistema de leito cultivado com a macrófita *Sagittaria montevidensis* Cham. & Schltdl. para tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.9, n.1, p. 86-95, jan./mar. 2011.

BRITO, C.J.F.A., RODELLA, R.A., DECHAMPS, F.C., ALQUINI, Y. Anatomia quantitativa e degradação *in vitro* de tecidos em cultivares decapim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach.) **Rev. Bras. Zootec.**, Juiz de Fora, v.28, n.2, p.223-229, 1999.

CANDIDO, M.J.D.; GOMIDE, C.A.M.; ALEXANDRINO, E.; GOMIDE, J.A.; PEREIRA, W.E. Morfofisiologia do dossel de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob lotação intermitente com três períodos de descanso. **Rev. Bras. Zootec.**, Juiz de Fora, v.34, n.2, p.406-415, 2005.

CECCONELLO, C.M. **Pós-tratamento de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos utilizando leitões cultivados**. 2005. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2005.

COLAÇO, A.B.; ROSTON, D.M. O uso de pneus picados como meio suporte de leitões cultivados para o tratamento de esgoto sanitário. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.3, n.1, p. 21-31, jan./jun. 2006.

COLARES, C.J.G; BARBOSA, L.S.; REIS, R.C.; CARDOSO, F.F. Tratamento de efluentes por tanque séptico com pós-tratamento por leitões cultivados. In: I SIMPÓSIO NACIONAL DE CIÊNCIA E MEIO AMBIENTE, Anápolis, Universidade Estadual de Goiás e UniEvangélica, 2010.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N. 357, de 17 de março de 2005.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N. 430, de 13 de maio de 2011.

CUTOLO, S.A.; ROCHA, A.A. Reflexões sobre o uso de águas residuárias na cidade de São Paulo. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, 11 (2): 89-105, 2002.

DIAS, M.C.L.L.; ALVES, S.J. Avaliação da viabilidade de sementes de *Panicum maximum* Jacq pelo teste de tetrazólio. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n.3, p. 152-158, 2008.

EUCLIDES, V.P.B.; THIAGO, L.R.L.; MACEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, M.P. Consumo voluntário de forragem de três cultivares de *Panicum maximum* sob pastejo. **Rev. Bras. Zootec.**, Juiz de Fora, v.28, n.6, p.1177-1185, 1999.

FIA, R.; MATOS, A.T.; QUEIROZ, M.E.L.R.; CECON, P.R.; FIA, F.R.L. Desempenho de sistemas alagados no tratamento de águas residuárias do processamento dos frutos do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n.12, p. 1323-1329, 2010.

FORTES NETO, P. Tratamento de efluente doméstico por leito cultivado. Primeiro Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul – SERHIDRO-PS 2007. Disponível em <http://hdl.handle.net/2315/131> Acesso em: 29 jul 2013.

FORTES NETO, P.; VEIGA, P.G.A.; FORTES, N.L.P; TARGA, M.S.; GADIOLI, J.L.; PEIXOTO, P.H.M. Alterações químicas do solo e produção de aveia fertilizada com água residuária do tratamento de esgoto sanitário. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.8 (suplemento), 2013.

FREITAS, M.B.; BRILHANTE, O.M.; ALMEIDA, L.M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 17 (3): 651-660, mai-jun, 2001.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un studio de los climas de la tierra. Cidade do México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 479 p.

MATOS, A.T.; FREITAS, W.S.; BRASIL, M.S., BORGES, A.C. Influência da espécie vegetal cultivada nas condições redox de sistemas alagados construídos. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 518-526, mai./jun. 2010.

MAZZOLA, M.; ROSTON, D.M.; VALENTIM, M.A.A. Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.2, p. 276-283, 2005.

MELLO, A.C.L. **Respostas morfofisiológicas do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) irrigado à intensidade de desfolha sob lotação rotacionada.** 2002. 67p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

MONTEIRO, R.C.M. **Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo “wetlands” para tratamento de água cinza visando reuso não potável.** 2009. 84p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MOTTA, S. Saneamento. In: Rouquayrol, M.Z. **Epidemiologia e Saúde.** 4 ed. Rio de Janeiro: MEDS, 1993, cap. 12, p. 343-364.

OLIVEIRA, A.S. **Tratamento de esgoto pelo sistema de lodos ativados no município de Ribeirão Preto, SP: avaliação da remoção de metais pesados.** 2006. 172p. Dissertação (Mestrado em Enfermagem e Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2006.

OLIVEIRA, E. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise Físico-Ambiental da Bacia do Una: Suporte de Análise Físico-Químico da Água- SP. In: SEMINÁRIO DE SENSORIAMENTO REMOTO DE GEOPROCESSAMENTO DO VALE DO PARAÍBA, 1., 7 de dez. 2006. **Anais...** Taubaté, 2006.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Fascículo água: **A desinfecção da água.** Brasília: OPAS, 1999.

RIBAS, T.B.C.; FORTES NETO, P. Disposição no solo de efluentes de esgoto tratado visando à redução de coliformes termotolerantes. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.3, n.3, p. 81-94, 2008.

RIBAS, T.B.C. **Disposição no solo de efluentes no esgoto tratado visando a redução de coliformes termotolerantes.** 2008. 58p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Taubaté, Taubaté, 2008.

SEZERINO, P.H.; BENTO, A.P.; LOBO, M.A.; LAPOLLI, F.R.; PHILLIPPI, L.S. Sistemas naturais aplicados ao tratamento descentralizado de esgotos: uso combinado de lagoas de estabilização e filtros plantados com macrófitas (wetlands). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Saneamento ambiental Brasileiro: Utopia ou realidade? Rio de Janeiro, ABES, 2005. p. 1-10.

SILVA, A. B. A. Qualidade sanitária das águas do Rio Una, São Paulo, Brasil, no período de chuvas. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 14, n. 1, 2008.

SILVA, E.M.; ROSTON, D.M. Tratamento de efluentes de sala de ordenha de bovinocultura: Lagoas de estabilização seguidas de leito cultivado. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.67-73, jan./fev. 2010.

SILVA, S.C. **“Wetlands construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos.** 2007. 206p. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SOARES, S.R.A.; BERNARDES, R.S.; CORDEIRO NETTO, O.M. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 18(6): 1713-1724, nov-dez, 2002.

SOUSA, J.T.; HAANDEL, A.C.; GUIMARÃES, A.V.A. Comparação ente sistemas wetlands tratando efluente aneróbio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA

SOUSA, J.T.; HAANDEL, A.; LIMA, E.P.C.; HENRIQUE, I.N. Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. **Eng. Sanit. Ambient.**, Campina grande, v.9, n.4, p. 285-290, out./dez. 2004.

SOUSA, P.R.; OLIVEIRA, R.M.S. Proposta de dimensionamento de leitos cultivados (wetlands) para tratamento de esgoto sanitário. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 4, p. 242-256, out./dez. 2011.

SOUZA, L.V. **Análise sanitária da água de poços domiciliares em uma comunidade rural do interior de São Paulo e sua relação com fatores sócio-ambientais.** 2006. 90p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Taubaté, Taubaté, 2006.



VALENTIM, M.A.A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado.** 1999. 119p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 1999.

VALENTIM, M.A.A. **Desempenho de leitos cultivados (“constructed wetland”) para o tratamento de esgoto.** 2003. 210p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2003.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture.** Report of a WHO Scientific Group. Geneva: WHO, 1989, 72p. (Technical Report Series, 778).