

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
DEPARTAMENTO DE ÁGUA E SOLO

**USO DE PNEU “PICADO” COMO MEIO SUPORTE DE  
LEITOS CULTIVADOS PARA O TRATAMENTO DE  
ESGOTO SANITÁRIO ORIUNDO DE UMA E.T.E.  
CONVENCIONAL**

**Andréia de Barros Collaço  
Eng<sup>a</sup>. Agrônoma**

**Orientador: Prof. Dr. Denis Miguel Roston**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Água e Solo.

Campinas  
Novembro de 2001

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

C683u	<p>Collaço, Andréia de Barros</p> <p>Uso de pneu “picado” como meio suporte de leitos cultivados para o tratamento de esgoto sanitário oriundo de uma E.T.E. convencional / Andréia de Barros Collaço. --Campinas, SP: [s.n.], 2001.</p> <p>Orientador: Denis Miguel Roston. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.</p> <p>1. Águas residuais – Purificação – Tratamento biológico. 2. Resíduos industriais – Aspectos ambientais. 3. Águas residuais. I. Roston, Denis Miguel. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.</p>
-------	--

Para Marcos, companheiro de todas as horas...

ofereço.

Aos meus pais Maria Teresa e José Milton, à minha irmã Sandra, pelo amor, incentivo e apoio incondicional em todos os momentos; e também para Raul, pela alegria no meu viver dedico.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Denis Miguel Roston pela orientação, compreensão e paciência nos momentos difíceis.

À FAPESP, pela bolsa de mestrado e auxílio à pesquisa através da disponibilização da reserva técnica.

À comissão de orientação Prof. Dr. José Euclides Paterniani e Prof. Dr. Durval de Paula Jr.

Ao diretor e ao pesquisador científico do Centro de Mecanização e Automação Agrícola do IAC, respectivamente, José Augusto Bernardi e Afonso Peche Filho, pelo apoio e disponibilização do local para o experimento.

Ao Sérgio Horninck, gerente regional da Cetesb em Piracicaba, pela amizade e ensinamentos, pela sugestão e ajuda com as orientações para a utilização do pneu.

À técnica do laboratório de Saneamento Maria Angélica Peralva pela amizade e pelas análises químicas.

À Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Mariângela Amendola e seu orientado Anderson Luis de Souza pelo auxílio e participação nos delineamentos estatísticos do experimento.

Ao Marcelo Luiz Alvarenga, da empresa Mazola Pneus de Valinhos, pelo auxílio prestativo e ao Sr. Amauri Marchi Jr., da empresa CBL comércio e Reciclagem de Borrachas, de São Bernardo do Campo, por ceder os pneus picados para o experimento.

Ao Olívio, amigo e funcionário do CMMA, e também ao Sr. Jurandir, pela construção dos leitos, pelo empenho prestativo e amizade.

Ao Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo e à técnica Gisleiva do Laboratório de Materiais, pela orientação e auxílio nas avaliações com o pneu picado.

Ao Sr. Robson, desenhista da área de concentração de Água e Solo, pelos desenhos.

À Martha, Aninha, secretárias da CPG, e a Suzely, secretária do DAS, pela amizade, pelos bons momentos, pela eficiência em todos os inúmeros auxílios.

AGRADEÇO

## LISTA DE QUADROS

	<b>Página</b>
<b>Quadro 1.</b> Características dos esgotos sanitários brutos (adaptado de VON SPERLING,1995).....	09
<b>Quadro 2.</b> Principais processos de tratamento (extraído de VON SPERLING, 1995).....	10
<b>Quadro 3.</b> Critérios de projeto para diferentes tipos de escoamento (extraído de VALENTIM, 1999).....	16
<b>Quadro 4.</b> Cronograma da construção e funcionamento dos leitos.....	33
<b>Quadro 5.</b> Delineamento estatístico do experimento.....	39
<b>Quadro 6.</b> Número de mudas mortas/secas por mês em cada leito.....	42
<b>Quadro 7.</b> Valores obtidos para coliforme total, na saída dos leitos cultivados com brita e com pneu como meio suporte.....	56
<b>Quadro 8.</b> Valores obtidos para <i>E. coli</i> , na saída dos leitos cultivados com brita e com pneu como meio suporte.....	57

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Leito cultivado com macrófitas com fluxo subsuperficial.....	12
<b>Figura 2.</b> Vista geral da localização da Estação de Tratamento de Esgoto do Centro de Mecanização e Automação Agrícola (CMAA), circundada pela floresta de <i>Pinnus</i> sp.....	29
<b>Figura 3.</b> Estação de tratamento de esgoto do CMAA.....	30
<b>Figura 4.</b> Esquema da estação de tratamento de esgoto do CMAA.....	30
<b>Figura 5.</b> Esquema da localização dos leitos cultivados na E.T.E.....	31
<b>Figura 6.</b> Vista dos leitos cultivados com pneu e brita como meio suporte.....	31
<b>Figura 7.</b> Esquema dos leitos vistos de cima.....	32
<b>Figura 8.</b> Detalhe da distribuição do efluente nos leitos.....	32
<b>Figura 9.</b> Mudanças de <i>Typha</i> sp. plantadas nos leitos cultivados.....	34
<b>Figura 10.</b> Amostra do lote de pneu picado.....	35
<b>Figura 11.</b> Detalhe do pneu picado e da pedra britada.....	36
<b>Figura 12.</b> Leitos cultivados com macrófitas implantados na CMAA.....	37
<b>Figura 13.</b> Detalhe do crescimento excessivo e tombamento das plantas (com o sombreamento do local).....	43
<b>Figura 14.</b> Gráfico dos valores obtidos para DBO.....	45
<b>Figura 15.</b> Gráfico dos valores obtidos para DQO.....	46
<b>Figura 16.</b> Gráfico dos valores obtidos para SS.....	47
<b>Figura 17.</b> Gráfico dos valores obtidos para NH <sub>3</sub> .....	48
<b>Figura 18.</b> Gráfico dos valores obtidos para NH <sub>3</sub> -N.....	49
<b>Figura 19.</b> Gráfico dos valores obtidos para NH <sub>4</sub> .....	50
<b>Figura 20.</b> Gráfico dos valores obtidos para NO <sub>3</sub> .....	51
<b>Figura 21.</b> Gráfico dos valores obtidos para a NO <sub>3</sub> -N.....	52
<b>Figura 22.</b> Gráfico dos valores obtidos para P.....	53
<b>Figura 23.</b> Gráfico dos valores obtidos para PO <sub>4</sub> .....	54
<b>Figura 24.</b> Gráfico dos valores obtidos para P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	55
<b>Figura 25.</b> Gráfico dos valores obtidos para coliforme total.....	56

<b>Figura 26.</b> Gráfico dos valores obtidos para <i>E. coli</i> .....	57
<b>Figura 27.</b> Gráfico dos valores obtidos para turbidez.....	58

## RESUMO

Este trabalho visou avaliar o comportamento de pneus picados como meio suporte em leitos cultivados, para o tratamento de esgoto sanitário doméstico. O experimento foi implantado após uma Estação de Tratamento de Esgoto (E.T.E.), que atende cerca de 260 pessoas. A estrutura para os leitos cultivados foi construída com blocos de cimento, acima do nível do solo, apresentando uma divisão, que forma dois tanques com 10 m<sup>2</sup> cada, com dimensões de 2 m de largura, 5 m de comprimento e 1 m de altura. Como meios suportes adotou-se pedra britada de granulometria n° 3 (de 55 a 90 mm de diâmetro), e pneu picado até a altura de 80 cm, mais pedra britada para completar a altura total (1 m). Foram plantadas 50 mudas de taboa (*Typha* sp.) em cada leito, distribuídas em 10 linhas no sentido do comprimento, sendo que o monitoramento do sistema começou após a sua estabilização. No total, foram retiradas 12 amostras de cada leito, sendo realizadas análises laboratoriais dos seguintes parâmetros: sólidos suspensos, turbidez, pH, DBO, DQO, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, P e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NH<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub>-N, coliforme total, *E. coli*.

Os resultados obtidos foram submetidos à uma análise estatística, através de um delineamento inteiramente ao acaso, a fim de verificar se existem diferenças significativas (a 1 % e 5 % de significância) entre a pedra britada (T1) e o pneu picado (T2) empregados como meio suporte nos leitos cultivados por meio da aplicação do teste F. Estatisticamente, comprovou-se que não existem diferenças significativas a 1% e a 5 % de significância para: DBO, NH<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, P, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Coliforme total, *E. coli*. Enquanto que para os parâmetros de sólidos suspensos, pH, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub>-N, turbidez, encontraram-se diferenças significativas a 1% e 5% de significância. Para a DQO, encontrou-se significativa entre os tratamentos somente a 5 % de significância. A interpretação gráfica dos valores obtidos confirmou a tendência dos resultados, comprovados estatisticamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas residuais. Tratamento biológico, Resíduos Sólido, Pneu.

## ABSTRACT

This work evaluated pricked tires as a medium for constructed wetlands, treating domestic wastewater. The experiment was conducted utilizing effluent of a Sewage Treatment Plant, assisting about 260 people. Two tanks with 10 m<sup>2</sup> each, with dimensions: of 2 m wide, 5 m long and 1 m height were built above soil level using cement bricks. One of the tanks was filled out entirely with crushed stone (diameter 55 to 90 mm), while in the other tank the medium was pricked tires reaching the height of 0.80 m. Above the tires, a 0.10 m gravel layer to complete the total height (1 m) and avoid floating. The aquatic macrophytes utilized were from *Typha species* distributed uniformly over the beds. The following parameters were monitored: suspended solids, pH, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, phosphorus, ammonia nitrogen, nitrate, total coliform, *E. coli* and turbidity. The results were submitted to a statistical analysis in order to verify if significant difference existed (to 1 % and 5% of significance) between the two treatments. The results demonstrate no significant differences for the parameters BOD, NH<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, P, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, total coliform, and *E. coli*. while for suspended solids, pH, NO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>-N, turbidity, were found significant differences to 1% and 5% of significance. For COD was found significant difference to 5% of significance.

**KEYWORDS:** Wastewater treatment, Biological treatment, Solid Waste, Tire.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	4
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3. 1. Aspectos gerais.....	5
3. 1. 1. Poluição dos recursos hídricos.....	5
3. 1. 2. Legislação ambiental.....	6
3. 1. 3. Esgoto sanitário.....	8
3. 1. 4. Tratamento do efluente sanitário.....	9
3. 1. 5. Leitos cultivados com macrófitas.....	11
3. 1. 5. 1. Aspectos gerais.....	11
3. 1. 5. 2. Componentes do sistema.....	13
3. 1. 5. 2. 1. Espécies vegetais.....	13
3. 1. 5. 2. 2. Tipo de escoamento.....	15
3. 1. 5. 2. 3. Pneu.....	16
3. 2. Sistema de leitos cultivados com macrófitas.....	17
3. 2. 1. Estado da arte.....	17
3. 2. 2. Algumas aplicações do sistema.....	22
3. 2. 2. 1. Tratamento de esgoto sanitário e polimento.....	22
3. 2. 2. 2. Qualidade da água e conservação ambiental.....	24
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4. 1. Local do experimento.....	28
4. 2. Descrição do experimento.....	30
4. 2. 1. Localização do experimento.....	30
4. 2. 2. Especificações do projeto.....	33
4. 2. 3. Construção dos leitos cultivados.....	33
4. 2. 4. Escolha e plantio das espécies vegetais.....	34
4. 2. 5. Pneu picado.....	34
4. 2. 6. Estabilização do sistema.....	36

4. 2. 7. Manejo e acompanhamento dos leitos cultivados.....	37
4. 2. 8. Monitoramento do sistema.....	37
4. 2. 9. Delineamento estatístico e análise dos resultados.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
5.1 Desenvolvimento das espécies vegetais.....	42
5.2 Desempenho dos leitos cultivados.....	43
5. 2. 1. Demanda bioquímica de oxigênio.....	44
5. 2. 2. Demanda química de oxigênio.....	45
5. 2. 3. Sólidos suspensos.....	46
5. 2. 4. pH.....	47
5. 2. 5. Nitrogênio.....	48
5. 2. 5. 1. NH <sub>3</sub> .....	48
5. 2. 5. 2. NH <sub>3</sub> -N.....	49
5. 2. 5. 3. NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	49
5. 2. 5. 4. NO <sub>3</sub> .....	50
5. 2. 5. 5. NO <sub>3</sub> -N.....	51
5. 2. 6. Fósforo.....	52
5. 2. 6. 1. P.....	52
5. 2. 6. 2. PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> .....	53
5. 2. 6. 3. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	54
5. 2. 7. Coliforme total.....	55
5. 2. 8. <i>E. coli</i> .....	56
5. 2. 9. Turbidez.....	58
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	59
7. LITERATURA CITADA.....	60

## 1. INTRODUÇÃO

Alguns anos atrás, a indústria automobilística brasileira com o intuito de aumentar a comercialização de veículos novos, lançou no mercado o chamado carro popular, que consiste num veículo com acabamento mais simples, e com um motor de menor potência. Essa estratégia de vendas tinha o propósito de forçar uma diminuição no custo de produção, para estimular uma expansão do mercado, e começar a abranger consumidores das classes com menor poder aquisitivo. A venda do carro novo aumentou, bem como a produção de pneus para se atender essa nova demanda. Como consequência, a quantidade de pneus usados também aumentou, sem que novas alternativas para o descarte adequado de pneus fossem criadas.

A destinação final dos pneus usados consiste então, numa grande problemática, pois esses não se degradam no ambiente, e assim sendo não podem ser dispostos em aterros (muito menos nos aterros municipais projetados para o recebimento de resíduos domiciliares). Dessa forma, é comum o serviço público de coleta do lixo domiciliar não receber os pneus usados, que acabam se acumulando em rios e logradouros públicos, sendo um meio ideal para a proliferação do mosquito *Aedes aegypti* (vetor da dengue), entre outros insetos. Outros pneus acabam sendo queimados a céu aberto, liberando gases na atmosfera. Nas propriedades agrícolas, os pneus, principalmente de tratores, acabam se acumulando numa área qualquer dentro da propriedade, pela falta de um destino adequado.

Mas quando a destinação dos pneus usados envolvem empresas privadas, que comercializam pneus um grande volume de pneus, a situação se complica ainda mais. A resolução CONAMA nº 258, de 26 de agosto de 1999, que está para ser regulamentada, define prazos de coleta e destinação final de pneus usados, de forma gradual. A partir de janeiro de 2002, para cada quatro pneus fabricados no país ou importados, os fabricantes terão que apresentar a destinação para um pneu sem uso. Em janeiro de 2003, a proporção muda para um pneu usado a cada dois fabricados ou importados; em janeiro de 2004, a paridade é de um por um. Finalmente em janeiro de 2005, a regra se inverte, e os fabricantes deverão apresentar destinação final para cinco pneus usados (incluindo os pneus que acompanham os carros importados), a cada quatro pneus fabricados ou importados. A resolução, que começou a vigorar a partir de 02.12.99 (data de publicação da Resolução), proíbe ainda a destinação inadequada de pneumáticos inversíveis, tais como a disposição

em aterros sanitários, mar, rios, lagos ou riachos, terrenos baldios ou alagadiços e a queima a céu aberto.

Uma opção de destino final de pneus, citada na revista Saneamento Ambiental (1998a), é o seu co-processamento em fornos de cimenteiras, que apesar de viável, apresenta restrições segundo a CETESB, que é o órgão ambiental fiscalizador do estado de São Paulo, devido a falta de regulamentações específicas. Contudo, as empresas cimenteiras continuam se movimentando para a obtenção da licença, uma vez que essa prática representa uma economia do combustível fóssil de até 20 %.

Outra saída encontrada para o destino de pneus, envolve a usina de processamento de xisto da PETROBRÁS, no município de São Mateus do Sul/PR, que adotou um programa para o reaproveitamento do pneu, que é misturado ao xisto numa proporção de 50 kg de pneu picado para 950 kg de xisto, para a obtenção de óleo, conforme artigo da revista Saneamento Ambiental (1998b).

O presente trabalho objetiva estudar a possibilidade de se reaproveitar o pneu usado picado como meio suporte em leitos cultivados, avaliando o seu comportamento em relação à pedra britada, que apresenta eficiência comprovada como meio suporte, sendo usualmente empregada nos leitos cultivados com macrófitas.

Esse sistema natural de tratamento de efluente chamado leito cultivado com macrófitas, apresenta bons resultados para o tratamento de efluentes sanitários, sendo considerados filtros biológicos, onde atuam microorganismos aeróbios e anaeróbios, juntamente com plantas aquáticas fixadas no meio de suporte. Uma das suas principais vantagens é o baixo custo de implantação/operação e sua relativa simplicidade, sem contar que o clima e a biodiversidade vegetal do Brasil, torna o País muito propício ao uso de leitos cultivados.

Uma excelente aplicabilidade desse sistema seria o saneamento rural e de pequenas comunidades, onde normalmente existem fossas, que na maioria das vezes são construídas fora das especificações das normas técnicas, operando em condições irregulares e que acabam perdendo o principal propósito de promover o tratamento primário dos efluentes domésticos. As fossas, freqüentemente acabam se tornando focos de contaminação dos recursos hídricos devido eventuais transbordamentos e esgotamentos, comprometendo as águas de irrigação de culturas agrícolas e também as águas subterrâneas, refletindo

diretamente na qualidade das águas consumidas de poços localizados na região, sem contar a veiculação das doenças hídricas. Outro aspecto da utilização de pneu picado como meio suporte, seria a criação de uma opção para áreas onde não existe a facilidade de obtenção da pedra britada.

A conclusão da viabilidade para o reaproveitamento de pneus nos leitos cultivados seria uma contribuição nas áreas de saneamento e saúde pública, de um modo racional e acessível, tratando-se os esgotos sanitários e também viabilizando um destino para pneus estocados em áreas abertas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GERAL**

O objetivo desse estudo é avaliar o comportamento e a aplicabilidade do pneu picado como meio suporte em leitos cultivados com macrófitas, comparando a sua eficiência em relação à pedra britada, visando desenvolver uma opção a mais para o destino final adequado para pneus usados, evitando sua deposição irregular no ambiente.

### **2.2. ESPECÍFICO**

Verificar a eficiência de remoção de matéria orgânica, nutrientes e coliformes, avaliando os resultados obtidos nos leitos cultivados com a pedra e com o pneu como meio suporte.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3. 1. ASPECTOS GERAIS**

##### **3. 1. 1. Poluição dos recursos hídricos**

Numa retrospectiva, de SANTOS & PIVELLO (1997), sobre o desenvolvimento da questão ambiental, observou-se que até os anos 30, deste século, havia a preocupação com o planejamento dos recursos hídricos e gestão de bacias hidrográficas, devido a herança de preceitos da Grécia Antiga. Já por volta dos anos 50/60, com a revolução industrial, registrou-se uma mudança no enfoque, onde passou a ser centralizado como ponto de interesse apenas o planejamento econômico. Nos anos 50, iniciam-se as discussões sobre o conceito de desenvolvimento e qualidade de vida, onde eram avaliados os aspectos positivos e negativos do crescimento econômico, incluindo itens como a poluição e a degradação ambiental. Numa continuidade do assunto, nos anos 70, ocorre uma retomada dos fundamentos de métodos para decisão multicriterial, a qual considera o planejamento a partir de outros fatores, além do econômico. A conservação e a preservação dos recursos naturais começam a ter maior importância nos anos 70/80, crescendo até a chegada da década de 90, onde as discussões se voltam ao desenvolvimento sustentável.

A administração dos recursos naturais, segundo COMAR (1995), no melhor interesse das populações humanas, é um dos assuntos mais críticos da atualidade, havendo uma urgente necessidade de estudos integrados aos processos humanos e naturais, visando o desenvolvimento de estratégias e tecnologias que promovam uma relação harmoniosa entre o meio ambiente e as ações antrópicas. A questão econômica não pode mais ser abordada independentemente da ecologia, resolvendo-se apenas os aspectos isolados das questões atuais, torna-se imprescindível uma visão mais abrangente, a fim de se integrar as ações humanas com os sistemas naturais, promovendo a estabilidade ecológica.

Ressaltando a importância de se tratar os esgotos gerados pelas atividades humanas, antes mesmo do seu lançamento em qualquer corpo d'água, segundo UEHARA & VIDAL (1991), os principais benefícios dessa prática seriam: a prevenção da disseminação de doenças transmissíveis causadas por microorganismos patogênicos, a conservação das fontes de abastecimento de água para uso doméstico, industrial e agrícola, a manutenção das características das águas destinadas à piscicultura, recreação e também da preservação da flora e fauna aquática.

Num sentido mais amplo, visando uma melhor gestão dos recursos hídricos, BRANCO (1978), recomenda um roteiro para um levantamento sanitário, o qual relaciona os fatores que interferem na qualidade da água, assim como determinam as condições de um curso d'água relativas à sua poluição e contaminação. Esse levantamento considera o todo, relacionando as atividades humanas com as condições ambientais, constando dados tais como a fisiografia da bacia hidrográfica (aspectos geológicos importantes, precipitações pluviométricas e escoamento, variações climáticas, uso e ocupação do uso da terra, recursos da água subterrânea), tendências e densidade da população (rural e urbana: esgotada ou não, tendência de variações), sistemas de esgoto e destino final (tipo, drenagem e destino das águas pluviais, volume e composição do esgoto, tratamento, etc.), despejos industriais (tipos, localização das fábricas na bacia, estatística industrial, dados dos despejos), dados hidrométricos (vazões e seus picos extremos, frequência de vazões baixas, relação entre escoamento e precipitação, cursos d'água com dispositivos medidores de água, curvas de descargas existentes), usos da água (usos atuais principais, usos menos importantes e usos futuros). Esses dados seriam ferramentas para subsidiar medidas e diretrizes para a conservação do manancial, buscando melhorias na qualidade e quantidade de água.

### **3. 1. 2. Legislação ambiental**

A questão do tratamento e despejo de esgotos, considerando a conservação do manancial hídrico, está intimamente relacionada com os aspectos da legislação vigente, que estipula diretrizes e regulamenta essa prática. Em linhas gerais, no estado de São Paulo, pode-se dizer que as mudanças no âmbito ambiental começaram, com a Lei nº 118, de 29 de junho de 1973, onde foi criada a atual CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), que iniciaria um trabalho mais específico na área de controle ambiental. Um pouco depois, esse órgão passa a trabalhar mais efetivamente com a Lei nº 997 de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre o Controle da Poluição do Meio Ambiente e também com o Decreto nº 8468 de 8 de setembro de 1976, que trata sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente.

No ano seguinte, publica-se o Decreto nº 10755, de 22 de novembro de 1977, que dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no

Decreto nº 8468 (anteriormente citado), alterado em 08/09/94 pelo Decreto nº 39173 que reenquadra alguns corpos d'água.

Sobre a bacia hidrográfica do rio Jundiaí tem-se o seguinte na legislação vigente:

Classe 1 (águas destinadas ao abastecimento doméstico, sem tratamento prévio ou com simples desinfecção): rio Jundiaí-Mirim e todos os afluentes até o ponto de captação de água de abastecimento para o município de Jundiaí

Classe 2 (águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas e à recreação de contato primário, tais como: natação, esqui aquático, mergulho): todos os corpos d'água, exceto os alhures classificados

Classe 3 (águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à preservação de peixes em geral e de outros elementos da fauna e flora e à dessedentação de animais): nada consta

Classe 4 (águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento avançado, ou à navegação, à harmonia paisagística, ao abastecimento industrial, à irrigação e à usos menos exigentes): córrego Castanho a partir da confluência com o córrego Japiguazú até a confluência com o rio Jundiaí. Trecho do rio Jundiaí a partir da confluência com o Córrego Pinheirinho até a confluência com o rio Tietê, no município de Salto.

Com a publicação da Lei Federal nº 6803 de 1980, a Lei nº 6938 de 1981, o Decreto Executivo nº 88351, que estipulam agentes de controle ambiental, tanto a nível federal, quanto no nível estadual e municipal, aumenta-se o respaldo para os órgãos públicos atuarem, principalmente nos estados que não apresentavam legislação ambiental própria, iniciando mudanças nas questões relacionadas com a conservação do meio ambiente. A Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986, classificando as águas doces, salinas e salobras do território Nacional, em nove classes, acentua ainda mais a necessidade de alterações, no que se refere à impactos ambientais gerados pelo sistema produtivo, e mais especificamente pelas descargas de efluentes líquidos no manancial hídrico.

Segundo UEHARA & VIDAL (1991), o grau de tratamento necessário para um efluente líquido vai depender do uso preponderante das águas receptoras a jusante do ponto de lançamento dos esgotos, bem como da capacidade do corpo hídrico em assimilar, por

diluição e autodepuração, o líquido tratado. Isso tudo deve ser aliado às exigências legais estabelecidas pelos órgãos de controle de poluição para o corpo receptor em apreço.

Uma comparação é feita, por VON SPERLING (1998), entre os diversos tratamentos de esgotos e a legislação federal (resolução CONAMA 20/86) de qualidade de água, a qual é baseada em padrões de lançamento e padrões de corpo d'água, e constata a dificuldade em se atender aos padrões de lançamento de amônia, DBO, fosfato e coliformes, sendo sugerida uma combinação de diferentes tecnologias de tratamento. Coloca ainda, que “num país em desenvolvimento, como o Brasil, a identificação do fato de que uma ampla gama de tecnologias de tratamento não é capaz de garantir o atendimento aos padrões do corpo d'água é um tópico de grande preocupação” e finaliza salientando a necessidade de se combinar tratamentos economicamente viáveis com uma revisão nos padrões da legislação vigente.

### **3. 1.3. Esgoto sanitário**

O esgoto sanitário é constituído de água e materiais sólidos na proporção de 99,9% de água e 0,1 % de sólidos, ou seja, apresenta 1000 ppm de material sólidos, sendo também rico em nutrientes (N e P) e patógenos (coliformes). A matéria sólida compreende os sólidos em suspensão e os sólidos dissolvidos que podem ser sedimentáveis e não sedimentáveis. O tratamento de esgotos sanitários envolve processos físicos, químicos e biológicos, sendo esse último muito importante para a remoção de cargas orgânicas, pois promove a biodegradação da matéria orgânica através de reações bioquímicas resultantes de ação das bactérias (LEME, 1982).

Estima-se que o esgoto doméstico apresente cerca de 600 a 1200 mg/l de sólidos totais, dividido em 40 a 45 % de sólidos em suspensão e 55 a 60 % de sólidos dissolvidos. Quanto a DBO a 20° C, que consiste na quantidade de oxigênio consumida para a oxidação de matéria orgânica, promovida pelas bactérias aeróbias, o valor estimado fica entre 100 a 500 mg/l (DACACH, 1990).

**Quadro 1.** Características dos esgotos sanitários brutos:

PARÂMETROS	CONCENTRAÇÃO	TÍPICO
Sólidos totais (mg/l)	700 - 1350	1100
Sólidos suspensos (mg/l)	200 - 450	400
Sólidos dissolvidos (mg/l)	500 - 900	700
Sólidos sedimentáveis (mg/l)	10 - 20	15
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	250 - 350	350
DQO (mg/l)	450 - 800	700
Nitrogênio total (mg N/l)	35 - 70	50
Nitrogênio orgânico (mg N/l)	15 - 30	20
Amônia (mg NH <sub>3</sub> -N/l)	20 - 40	30
Nitrito (mg NO <sub>2</sub> -N/l)	≅ 0	≅ 0
Nitrato (mg NO <sub>3</sub> -N/l)	0 - 2	≅ 0
Fósforo (mg/l)	5 - 25	14
pH	6,7 - 7,5	7
Coliformes totais (org/100ml)	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>9</sup>	-
<i>E. coli</i> (org/100ml)	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>8</sup>	-

Fonte: adaptado de VON SPERLING (1995)

### 3. 1. 4. Tratamento do efluente sanitário

O objetivo básico do tratamento de efluentes líquidos é a remoção de matérias orgânicas e inorgânicas, bem como de microorganismos patógenos que se encontram em suspensão ou dissolvidos na água. Para isso, são empregados processos de remoção físicos (gradeamento, mistura, floculação, sedimentação, flotação, sedimentação), químicos (precipitação, adsorção, desinfecção) e biológicos (remoção da matéria orgânica carbonácea, desnitrificação). Uma outra classificação dos processos é baseada na eficiência ou grau do tratamento podendo ser, numa seqüência crescente de eficiência, preliminar, primário, secundário ou terciário (LEME, 1982).

Mais especificamente, de acordo com VON SPERLING (1995), o tratamento preliminar atua na remoção de sólidos grosseiros, enquanto que o primário serve para a

remoção dos sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. O tratamento secundário faz a remoção da matéria orgânica e eventualmente de alguns nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo. No terciário ocorre a remoção de poluentes específicos, sendo esse bastante raro no Brasil. Nos dois primeiros tratamentos, predominam os mecanismos físicos, enquanto que para o tratamento secundário, mais comum, são os mecanismos biológicos. Outro aspecto, é que a determinação do tipo de tratamento a ser implantado, depende dos objetivos, do nível do tratamento, e também dos estudos de impacto ambiental no corpo receptor. Em outras palavras, a remoção dos poluentes no tratamento, para a adequação do lançamento aos padrões de qualidade que a legislação específica prevê, está relacionada à eficiência e ao nível do tratamento.

**Quadro 2.** Principais processos de tratamento:

NÍVEL	REMOÇÃO
Preliminar	Sólidos em suspensão grosseiros (incluindo areia)
Primário	Sólidos em suspensão sedimentáveis, DBO em suspensão
Secundário	DBO em suspensão (o que não ainda não foi removido), DBO solúvel
Terciário	Nutrientes, patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos, sólidos em suspensão remanescentes

Fonte: extraído de VON SPERLING (1995)

O tratamento preliminar normalmente abrange o gradeamento para a retirada de sólidos grosseiros e o desarenador para a sedimentação da areia, podendo também incluir nessa fase uma unidade de medição da vazão. No tratamento primário, geralmente emprega-se um decantador promovendo uma sedimentação dos sólidos em suspensão não grosseiros, a fim de se reduzir a DBO para o tratamento secundário, aumentando assim, a eficiência da E.T.E.. As fossas sépticas também podem ser empregadas para o tratamento primário de dejetos sanitários (VON SPERLING, 1995).

No tratamento secundário, predominam os processos biológicos, destacando-se as lagoas de estabilização, que são assim chamadas, pois possuem a capacidade de estabilizar a matéria orgânica dos efluentes líquidos, podendo ser aeróbias ou anaeróbias, dependendo do tipo de bactérias que atuam no sistema, além das facultativas, nas quais atuam bactérias aeróbias associadas a bactérias anaeróbias que atuam no fundo da lagoa. Para o

funcionamento adequado do sistema deve-se manter o efluente sanitário por alguns dias na lagoa (período de retenção), para que a matéria orgânica sofra as ações de processos naturais (DACACH, 1990).

O tratamento secundário também pode ser realizado por outros sistemas, além das lagoas de estabilização, que são os lodos ativados, filtro biológico e também os leitos cultivados com macrófitas. Esse último tipo de tratamento também pode ser aplicado como tratamento terciário atuando na retirada de nutrientes, sólidos em suspensão remanescentes.

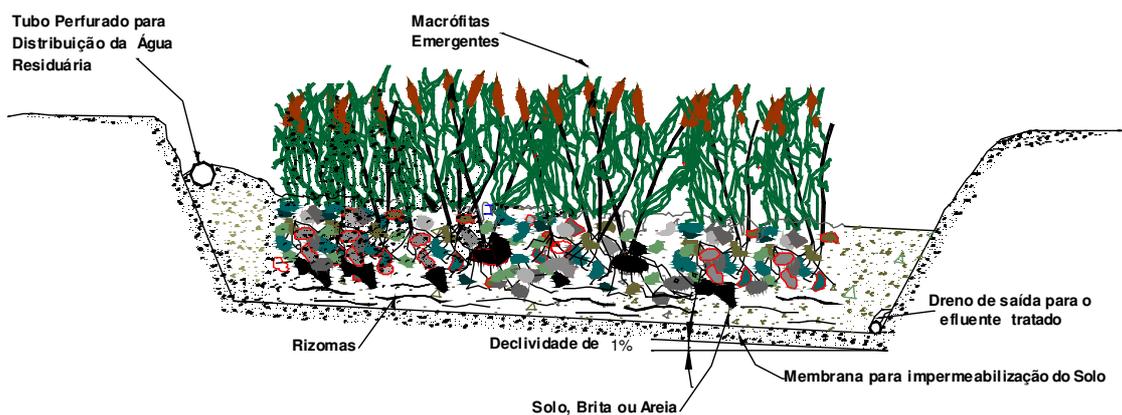
### **3. 1. 5. Leitos cultivados com macrófitas**

#### **3. 1. 5. 1. Aspectos gerais**

O sistema natural de tratamento de efluentes líquidos, chamado leitos cultivados com macrófitas (tradução do termo “Constructed Wetlands”, que é o mais normalmente encontrado na literatura científica internacional), podem ser considerados filtros biológicos, onde atuam microorganismos aeróbios e anaeróbios, juntamente com plantas aquáticas fixadas ou não num meio de suporte, apresentando grande capacidade de tamponamento das águas residuárias e baixa produção de lodo. Podem ser projetados com escoamento superficial, vertical ou subsuperficial (WOOD,1995).

Os leitos cultivados com escoamento subsuperficial são filtros horizontais, onde a lâmina d’água não fica exposta, evitando assim a propagação de mosquitos e odores. A superfície do efluente líquido fica abaixo da superfície do meio suporte, promovendo o contato do resíduo com microorganismos facultativos que vivem associados ao meio suporte e às raízes da espécie vegetal cultivada. O ambiente dos leitos cultivados é predominantemente anaeróbio (sem a presença de oxigênio), contudo, as condições aeróbias (presença de oxigênio) e anóxicas (presença de nitrato) são conseguidas graças ao fornecimento de oxigênio pelas raízes das macrófitas. A relação de simbiose entre plantas e microorganismos, promove na rizosfera a justaposição de uma região aeróbia com outra anóxica que envoltas numa grande região anaeróbica desenvolvem vários tipos de bactérias que motivam o processo de nitrificação-desnitrificação. Esses processos possibilitam uma redução da demanda química de oxigênio (DQO), bem como uma boa remoção de poluentes, tais como nitrogênio (N) e o fósforo (P) que está associado a eutrofização de corpos d’água. Outro aspecto é a redução de cor e odor possibilitada pelo sistema. As

condições climáticas locais interferem diretamente sobre os sistemas naturais, tal como a temperatura que influencia a solubilidade do oxigênio na água e a atividade microbiana. A taxa de liberação de oxigênio para as raízes depende da concentração interna de oxigênio, da demanda média de oxigênio e da permeabilidade nas paredes das raízes, sendo estes fatores influenciados pelo clima, pela espécie de planta cultivada, pelo tipo de leito e pelo manejo do sistema. As perdas no sistema podem ocorrer tanto por evaporação, como pela evapotranspiração relativa ao crescimento ou pelo próprio metabolismo das plantas, que como por exemplo, no caso do nitrogênio, promovem a volatilização de amônia, a desnitrificação e o consumo de N pelas plantas, sendo esses os métodos potenciais de remoção do N (VALENTIM, 1999).



**Figura 1:** Leito cultivado com macrófitas com fluxo subsuperficial

O leito cultivado é considerado um sistema natural de tratamento de efluentes que consiste numa espécie de tanque construído artificialmente, objetivando imitar uma várzea natural, no qual é colocado um meio de suporte para a fixação de espécies vegetais aquáticas. Nesse sistema há uma interação entre: plantas, solo ou meio de suporte, microorganismos com ênfase nas bactérias, sendo que sua performance depende de fatores tais como: profundidade da água, temperatura, pH e concentração do oxigênio dissolvido. Os principais processos que ocorrem nos leitos cultivados são basicamente: a força gravitacional, que realiza a sedimentação de partículas, precipitação e adsorção química e a

atuação dos organismos biológicos, apresentando assim, resultados para a diminuição dos valores de: DBO, sólidos suspensos, nitrogênio, traços de metais e elementos orgânicos e patógenos. Recomenda-se um tratamento preliminar, que dependendo do tipo de efluente pode ser: tanque séptico, tanque Imhoff, lagoas, tratamento primário convencional ou similares. As vantagens desse sistema comparado aos tratamentos convencionais consistem em: poucos gastos energéticos, mínimas estruturas mecânicas, operação simplificada, menor custo de implantação e funcionamento (REED et al., 1995).

Numa compilação de MANSOR (1998), os possíveis usos desse sistema natural são: águas de abastecimento, captadas de rios e lagos poluídos; águas residuárias domésticas, em nível primário, secundário e terciário; águas de precipitações pluviométricas coletadas em rodovias, áreas urbanas e rurais; drenagem ácidas provenientes de atividades de mineração; efluentes provenientes de aterros (chorume); águas residuárias de algumas atividades industriais e agrícolas; águas subterrâneas com alto teor de nitrato; lodo produzido nos tratamentos biológicos convencionais (redução de volume e estabilização).

Uma utilização mais específica, indicada por ROSTON (1994), é o emprego de um tanque séptico seguido de um leito cultivado de fluxo subsuperficial, para o tratamento de esgoto doméstico de propriedades rurais e pequenas comunidades.

### **3. 1. 5. 2. Componentes do sistema**

#### **3. 1. 5. 2. 1. Espécies vegetais**

As plantas utilizadas, no sistema natural de tratamento de efluentes líquidos com leitos cultivados, são as chamadas macrófitas ou aquáticas que vivem em alagados, uma vez que possuem os aerênquimas, que são estruturas especializadas desenvolvidas pela planta para o transporte de gases da atmosfera através das folhas e caule, para as raízes (HAMMER, 1997).

No sistema de leitos cultivados, um dos fatores importantes para sua eficiência é o desenvolvimento das plantas, pois essas, além de tudo, também contribuem para a atividade bacteriana, proporcionando além do oxigênio liberado pelas raízes, área superficial para a aderência das bactérias. Na literatura internacional, a planta geralmente mais testada é a *Typha* sp., chamada vulgarmente de taboa, que apresenta uma rusticidade e abundância adequada para seu emprego nesse sistema, inclusive aqui no Brasil (MANSOR, 1998).

Porém, o Brasil, além da taboa, apresenta uma grande variedade de espécies aquáticas, possibilitando outros estudos, diferentemente dos países de clima temperado, de onde advém a maior parte da literatura internacional sobre o assunto. A escolha de uma espécie vegetal nativa, comum na região em questão, pode significar melhores resultados, devido à adaptação do sistema de leitos cultivados às condições do clima do local. Segundo HOEHNE (1979), existem muitas espécies nativas aquáticas, nas mais diversas famílias botânicas. Dentro da classe das Monocotiledoneas, existem diferentes espécies aquáticas pertencentes às famílias Typhaceae, Cyperaceae, Juncaeeae, Araceae, que são as famílias de maiores ocorrências na literatura, e que possuem exemplares representantes abundantes aqui no Brasil. Outra opção seria a escolha de uma espécie aquática de Gramineae (atual Poaceae), representando uma planta de ciclo C3 (plantas com um melhor aproveitamento da energia solar) e uma outra espécie de uma das famílias acima citadas, representando o ciclo C4, a fim de se promover uma comparação do comportamento desses tipos de plantas, dentro dos sistemas de leitos cultivados.

Dessa forma, existem muitas opções que poderiam ser testadas no sistema de leitos cultivados com macrófitas, propiciando bons resultados dentro desse sistema.

Num estudo realizado na Austrália, de acordo com GREENWAY (1997), foram avaliadas as espécies vegetais presentes em 7 leitos cultivados projetados para o tratamento de esgoto sanitário. Vários tecidos foram analisados, sendo que não foram encontradas diferenças significativas de concentração de nutrientes entre os diversos tecidos avaliados. Apenas o teor de nitrogênio apresentou-se maior nas folhas, e o teor de fósforo maior nas raízes, na maioria das espécies.

De acordo com KOOB et al. (1999), para o adequado funcionamento dos leitos cultivados foi imprescindível a disponibilidade contínua de efluente líquido, bem como a escolha de espécies vegetais resistentes a períodos de estiagem. Uma alternativa empregada foi a associação de diversos tipos de espécies vegetais, com ciclos vegetativos diferentes, em diferentes épocas. Outro aspecto importante foi considerar os períodos de retorno hidráulico, considerando os processos de evaporação e perdas por infiltração (sem contar o tipo de clima do local em questão: árido ou semi-árido), para estipular os tempos de detenção de funcionamento do sistema, apesar de ser uma análise difícil devido a mudanças sazonais em padrões de precipitação. Essas considerações realizadas deram-se devido à

necessidade que o fitoplâncton, as algas e a vegetação emergente apresentam em relação às condições úmidas para eficiência no processo de remoção de nutrientes, metais e outros poluentes. Existem espécies tolerantes à seca e que podem ser empregadas, porém pode levar vários dias para se restabelecer as comunidades de bactérias fixas, necessárias para uma boa remoção de poluentes.

As plantas macrófitas apresentam várias propriedades intrínsecas, que as tornam um componente indispensável nos leitos cultivados. As funções mais importantes das macrófitas consistem nos efeitos físicos proporcionados ao tratamento, onde as mesmas estabilizam a superfície das camas, propiciam boas condições para a filtração física, impedem o entupimento de sistemas projetados com fluxo vertical, evitam o congelamento durante inverno, e ainda viabilizam uma área de superfície enorme, para crescimento microbiano fixo. Ao contrário de convicções anteriores, o crescimento das macrófitas não aumenta a condutividade hidráulica do substrato de leitos cultivados com fluxo de subsuperficial. O metabolismo dessas plantas interfere no tratamento dos efluentes dependendo das extensões do leito, sendo que a assimilação de nutrientes só é importante quantitativamente em sistemas com fluxo superficial. Outro aspecto é a transferência de oxigênio promovida pela rizosfera, que acaba por promover a degradação aeróbia de matéria orgânica e também o processo de nitrificação, sem contar os benefícios trazidos como habitat para a vida selvagem, e valor estético do sistema (BRIX, 1994).

### **3. 1. 5. 2. 2. Tipo de escoamento**

Existem basicamente três tipos de fluxos para o funcionamento dos leitos cultivados, sendo eles: de fluxo superficial (apresentam pequenas profundidades, usualmente empregados como tratamento terciário, exigem uma área de grandes dimensões), de fluxo subsuperficial (funcionam como filtros, evitam a proliferação de mosquitos, podem ser empregados como tratamento secundário) e de fluxo vertical (não necessita de áreas tão grandes como os anteriores, grande potencial de nitrificação (U.S.E.P.A., 1988).

**Quadro 3 .** Critérios de projeto para diferentes tipos de escoamento:

PARÂMETROS	FLUXO SUPERFICIAL	FLUXO SUBSUPERFICIAL
Tempo de detenção	5 – 14 dias	2 – 7 dias
Altura da coluna d'água	0,1 – 0,5 m	0,1 – 1 m
Área por vazão	0,002 – 0,014 ha/m <sup>3</sup> . dia	0,001 – 0,007 ha/m <sup>3</sup> . dia
Razão comprimento: largura	2:1 a 10:1	0,25:1 a 5:1
Controle de mosquitos	Requer	Não requer
Frequência de colheita	3 a 5 /ano	3 a 5/ano
DBO máxima	80 kg/ ha.dia	75 kg/ ha.dia
Taxa de Aplicação	7 – 60 mm <sup>3</sup> /mm <sup>2</sup> . dia	2 – 30 mm <sup>3</sup> /mm <sup>2</sup> . dia

Fonte: extraído de VALENTIM (1999)

**3. 1. 5. 2. 3. Pneu**

De acordo com o Certificado de Aprovação de Destinação de Resíduos Industriais (CADRI) emitido para sucatas de pneu, a composição aproximada do pneu, consiste em: 62 % de enxofre, 10.039 kcal/kg de PCS, 51 ppm de Arsênio, 0,04 ppm de Berílio, 60,57 ppm de Cromo total (sendo que Cromo Hexavalente não foi detectado), 0,02 ppm de Mercúrio, 71,22 ppm de Chumbo, 0,01 ppm de Selênio, 6 ppm de Vanádio e 18.120 ppm de Zinco.

Não foi encontrado nenhum tipo de trabalho ou pesquisa envolvendo o comportamento do pneu em meio aquoso, seja em água ou em efluente líquido. Os trabalhos encontrados, envolvendo o pneu, sempre abordavam tópicos de reaproveitamento ou co-processamento do pneu, sendo que o enterro no solo ou o descarte do mesmo no manancial hídrico foram consideradas práticas condenáveis. Dessa forma, o único estudo encontrado não trata diretamente sobre o pneu, mas relaciona o comportamento de alguns elementos no ambiente dos leitos cultivados, que também fazem parte da composição do pneu.

O estudo, segundo ALBERS & CAMARDESE (1991), consiste na avaliação do comportamento de alguns elementos químicos presentes no efluente a ser tratado, e a forma como os mesmos se comportam, sendo que foi realizada a comparação das concentrações de Al, Cd, Ca, Cu, Fe, Hg, Pb, Mg, Mn, Ni, P, e Zn em água, plantas, e insetos aquáticos presentes em seis leitos cultivados diferentes. Três dos seis leitos cultivados apresentavam um pH ácido com um valor aproximado de 5,0 (ambiente acidificado), enquanto que os outros três o pH estava em torno de 6,5 (ambiente não-acidificado). As concentrações de Zn na água e na planta (*Sparganium americanum*) foram maiores nos leitos cultivados de

característica acidificada, do que nos outros leitos não-acidificados. Nas plantas com raízes fixas ao fundo, foram detectadas altas concentrações de Fe, Mg, e Mn, apresentando valores acima dos níveis máximos permitidos para a alimentação de aves. As concentrações dos metais nos insetos estavam abaixo dos níveis máximos permitidos para alimentação de aves, e também abaixo dos níveis que causam efeitos tóxicos em pássaros selvagens. Contudo, as concentrações dos metais em ambientes acidulados foram menor do que a esperada, devido, provavelmente à mobilização limitada de metais nos sedimentos e às mudanças insignificantes na sedimentação de metais aquosos. O cálcio foi o elemento com menores teores nos ambientes acidificados, quando comparados com os ambientes não-acidificados; porém o teor de cálcio encontrado nos insetos e nas plantas não se apresentou como sendo o mais baixo. A baixa concentração de cálcio nos insetos aquáticos de ambos os grupos de leitos cultivados indicam que moluscos e crustáceos ricos em cálcio, são provavelmente importantes para a ave-fêmea e também filhotes no período da primavera, quando os invertebrados predominam nas dietas dos mesmos.

### **3. 2. Sistema de leitos cultivados com macrófitas**

#### **3. 2. 1. Estado da arte**

De acordo com MACKENEY (1991), a conscientização ambiental trouxe novas pressões aos técnicos e engenheiros, que passaram a buscar outras opções para o tratamento de efluentes líquidos, ocorrendo um entusiasmo crescente pelo uso dos leitos cultivados com macrófitas em detrimento aos métodos tradicionais. A pesquisa científica no mundo todo, está estabelecendo desígnios e critérios a fim de otimizar o desempenho na remoção de DBO, sólidos suspensos, fósforo, bem como, maior eficiência nos processos de nitrificação, desnitrificação e desinfecção. Os aspectos construtivos, de operação, manutenção e performance estão sendo discutidos e analisados, bem como, o uso potencial, e a aplicabilidade do sistema, entre outros itens.

Durante os anos de 1990 e 1991, a Agência de Proteção Ambiental norte-americana realizou um levantamento para identificar os sistemas de leitos cultivados já construídos ou ainda em construção no país, a fim de organizar as informações já disponíveis sobre esses sistemas. Foram encontrados mais de 150 sistemas implantados com o intuito de se tratar efluente líquido, predominantemente efluente sanitário, encontrando-se tanto sistemas

projetados com fluxo superficial como com fluxo subsuperficial (BROWN & REED, 1994).

Segundo ALBERTSON (1998), muitos sistemas de leitos cultivados já foram implantados ao longo dos Estados Unidos, mas ainda faltam estudos visando o entendimento dos processos biológicos, químicos, físicos, bem como as interações que ocorrem dentro desses sistemas. Com este conhecimento, pode-se definir muito mais claramente, as vantagens e desvantagens do sistema, e também se compreender melhor as suas limitações. As pesquisas nessa área deveriam ser organizadas através de um planejamento sistemático, onde todos os aspectos seriam especificamente avaliados.

Na Flórida, Estados Unidos, um projeto de restauração de alagados naturais, envolveu 55 projetos congregando inúmeros cientistas e engenheiros para viabilizar a reconstrução da paisagem em Everglades, sendo que os mesmos deverão promover a manutenção e o adequado funcionamento desses leitos por um período mínimo de 20 anos. Esses esforços servirão inclusive para a restauração dos habitats naturais, e também para a obtenção de dados e informações sobre os leitos cultivados com macrófitas, aprimorando os conhecimentos técnicos-científicos atuais (JOVEM, 1996).

Já no Reino Unido, os leitos cultivados apresentam uma certa divulgação na sua eficiência para o tratamento de efluente líquido, contudo ainda faltam maiores informações e divulgação de outros usos preponderantes (ESTIMA & PROBERT, 1997).

Nos países de língua alemã, foram relatados os 15 anos de experiência no sistema de leitos cultivados, abordando tanto os resultados de pesquisas como as necessidades diárias da manutenção prática. Aproximadamente a metade dos leitos implantada apresenta a areia como meio suporte, sendo que bons resultados foram encontrados para DBO, DQO, N e P, no tratamento do esgoto sanitário. Existe a possibilidade de se obter uma eficiência de 90 % na remoção de DBO, DQO, P, como também de N, quando se empregam taxas abaixo de 20 mm/dia ou então quando a área é maior que 10 m<sup>2</sup>/ planta, sendo que a operação e manutenção desses sistemas ficam baratas e fáceis, principalmente com a utilização de *Phragmites* nos leitos (GELLER, 1997).

Na República Tcheca, segundo VYMAZAL (1996), o primeiro sistema de leitos cultivados foi construído em 1989, sendo que só em 1991, outros três foram implantados para o tratamento de efluentes líquidos. Um levantamento realizado em 1994 indicou um

total de 41 leitos cultivados em construção ou em funcionamento, presentes no país. Com poucas exceções, os sistemas implantados foram projetados para o tratamento secundário de esgoto doméstico ou municipal, porém quanto ao tipo de escoamento, todos adotaram o fluxo horizontal e subsuperficial. As áreas construídas para o tratamento de efluentes variaram de 18 e 4493 m<sup>2</sup>. A espécie vegetal mais utilizada foi a *Phragmites*. Quanto a eficiência de remoção, encontraram-se altos valores para DBO (de 77 a 98%), DQO (de 59 a 91 %) e sólidos suspensos (de 77 a 99%), sendo que a eficiência de remoção para nitrogênio e fósforo variou amplamente entre os diversos sistemas, sendo geralmente abaixo de 60%.

Ainda na República Tcheca, segundo ZAKOVA (1996), numerosos leitos cultivados foram projetados com o intuito de amenizar a poluição não-pontual, sendo identificados aproximadamente 39 sistemas em construção ou já operando, os quais todos estavam sendo monitorados e avaliados. A principal dificuldade encontrada foi a falta de experiência, tornando-se muito importante aproveitar a experiência dos países com maior tradição na construção e operação desses sistemas.

Outro autor desse mesmo país, GRAU (1996), reforça a importância da adoção de sistemas de tratamento de efluentes líquidos que sejam eficientes, conforme a exigência da legislação vigente, contemplando os conceitos de acessibilidade e conveniência, ressaltando a necessidade de se aprofundarem os estudos sobre a aplicabilidade, eficiência e condução dos leitos cultivados.

Conforme GREENWAY & SIMPSON (1996), o clima subtropical-tropical presente em Queensland, Austrália, predispõe um crescimento excelente das espécies vegetais, oferecendo um grande potencial para o emprego dos leitos cultivados no tratamento de efluentes líquidos. O efluente tratado pode ser utilizado para a irrigação de culturas, campos, parques, jardins e campos de golfe, sendo de grande importância no período de estiagem nas áreas mais áridas onde a água é escassa. O efluente final dos leitos cultivados geralmente apresenta uma qualidade aceitável podendo ser despejados em rios e estuários. Os alagados naturais apenas são inundados em determinadas épocas do ano, fazendo com que a vida selvagem tenha que buscar outros refúgios nos períodos de seca. Dessa forma, os alagados construídos podem ser um habitat permanente para a vida selvagem, além de melhorarem a paisagem. O departamento de indústrias primárias do governo de Queensland

iniciou um programa para o controle da poluição, onde foram implantados 10 leitos cultivados, contemplando 6 projetos de pesquisa universitária, avaliando-se vários aspectos tais como: absorção de nutrientes e metais pesados pela planta, características biogeoquímicas dos sedimentos e o balanço da biomassa. Um estudo foi realizado para avaliar o funcionamento do sistema em questão, no tratamento de rejeitos de uma mina de ouro. Outra aplicação é a utilização como polimento de outros tratamentos e também visando o re-uso da água.

Algumas alternativas para o tratamento de águas residuárias na África do Sul foram apresentadas. Uma comparação entre os custos dos sistemas de tratamento de efluentes demonstrou que a manutenção de filtros biológicos, biodiscos, lagoas de estabilização, sistema de lodos ativados, apresentaram-se relativamente semelhantes, sendo que as lagoas de estabilização foram consideradas de custo mais baixo. Outro sistema mencionado foi o leito cultivado com macrófitas, que apesar de apresentar um custo similar, ainda não são devidamente divulgados devido à falta de informações sobre o seu funcionamento e manutenção (BATCHELOR, 1991).

Em 1993, segundo JENSSEN et al., foi avaliado o uso potencial dos leitos cultivados em países de clima frio, no hemisfério norte, em regiões sub-árticas. Num experimento localizado na Noruega, encontrou-se que a atividade biológica ainda ocorre em temperaturas entre 0 e 5° C, e que as altas taxas de remoção de nutrientes e matéria orgânica foram alcançadas sob determinadas condições. A utilização dos leitos cultivados, em países como a Noruega, a Suécia e países do norte da América, demonstrou que a eficiência do sistema no período do inverno não foi tão significativamente abaixo da eficiência obtida nas outras estações, contudo para a obtenção de bons resultados para a remoção de carga orgânica e nitrogênio, foi imprescindível um pré-tratamento aeróbio do efluente. Em climas frios também existe a necessidade de se projetar um sistema com uma maior área, maior profundidade e com um tempo de detenção mais longo. Como resultados dos 15 meses de operação, dos leitos cultivados instalados na Noruega, encontrou-se: remoção de 55 % de nitrogênio e 98 % de remoção de fósforo. A grande remoção de fósforo foi obtida com a utilização de um meio poroso sintético com alta capacidade de absorção de fósforo e uma areia rica em óxidos de ferro. Dessa forma, os resultados indicam que os leitos cultivados podem funcionar satisfatoriamente em climas frios, desde

que sejam desenvolvidos critérios adaptados para o local. Nesse sentido, várias aplicações dos leitos cultivados são possíveis, aliando-se, se necessário, outros sistemas de tratamento.

De acordo com BHAMIDIMARRI et al. (1991), na Nova Zelândia, os leitos cultivados por serem uma tecnologia de baixo custo e manutenção, e que empregam uma baixa vazão volumétrica, tem-se a maioria dos leitos cultivados implantados na Nova Zelândia são para o tratamento secundário de efluente doméstico de pequenas comunidades e para a remoção de patógenos. Existem mais de 20 leitos cultivados em operação no país, funcionando com cargas hidráulicas entre 7,3 e 4500 m<sup>3</sup>/dia, tanto projetados com escoamento superficial como subsuperficial. Alguns resultados de 3 leitos cultivados para o tratamento de efluentes de tanques sépticos, foram apresentados, sendo discutida a eficiência dos mesmos.

De acordo com DENNY (1997), a aplicação dos leitos cultivados visando a proteção e manutenção da qualidade da água em rios e lagos, é particularmente necessário e importante nos países em desenvolvimento, pois esses sistemas apresentam-se potencialmente bom e barato, sendo muito apropriados para o tratamento de esgoto sanitário em áreas rurais. Outra sugestão dada foi a integração com sistemas de produção de peixes. Contudo, ainda são poucos os leitos cultivados implantados, sendo que uma razão para isso pode ser a falta de pesquisa e programas incentivando o desenvolvimento e treinamento nos países em desenvolvimento.

Segundo MAGMEDOV et al. (1996), o aumento na utilização dos leitos cultivados para fins de tratamento de efluentes líquidos, melhoria da qualidade da água e conservação dos recursos naturais, é bem claro nos Estados Unidos, sendo que essa expansão também pode ser observada na maioria dos países europeus, na Austrália e em algumas regiões da Ásia e da África. Estima-se que o Reino Unido e a Ucrânia já avaliam esse sistema a mais de 10 anos. Alguns estudos envolvendo a eficiência de remoção de DBO, sólidos em suspensão, nitrogênio, entre outros parâmetros foram discutidas, bem como os aspectos construtivos dos leitos, tais como fluxo horizontal e vertical, escoamento superficial e subsuperficial. Outros tipos de aplicações foram indicados, incluindo a utilização como tratamento terciário (polimento), e o tratamento de água de escoamento superficial (Runoff), sendo esse último muito importante para o controle da poluição difusa.

### **3. 2. 2. Algumas aplicações do sistema**

Os leitos cultivados apresentam muitas aplicações, servindo no tratamento de efluentes agroindustriais e industriais, águas ácidas de drenagem de minas, efluente da criação animal, água de escoamento superficial (Runoff), entre outros, além do tratamento do esgoto sanitário. Dentro do interesse desse trabalho foram selecionadas algumas aplicações de interesse.

#### **3. 2. 2. 1. Tratamento de esgoto sanitário e polimento**

Em Strengberg, na Baixa Áustria, segundo SCHONERKLEE et al. (1997), um sistema de fluxo vertical apresentando como meio suporte materiais com diferentes granulometrias (areia/pedra) foi escolhido como um novo tipo de tratamento terciário, sendo que o mesmo foi projetado como experimento, porém com várias possibilidades de uso operacional. A área da superfície dos leitos consistiu em aproximadamente 600 m<sup>2</sup>, sendo subdividida em quatro partes, apresentando duas profundidades diferentes. A aplicação do efluente líquido ocorreu de modo intermitente, com tempos de detenção diferentes. Os principais objetivos da pesquisa consistiram em: promoção da nitrificação/desnitrificação e retirada de fósforo, sendo que os limites de carga de efluentes foram gradualmente aumentando no decorrer da pesquisa. A eficiência e a confiança operacional dentro do período de um ano inteiro (verão/inverno) foram considerados fatores importantes para o dimensionamento do sistema. A demanda química de oxigênio variou de 1 a 20 mg/l, e a eficiência de remoção do nitrogênio amoniacal variou de 40 a 90 %.

Num experimento implantado na Holanda, segundo SCHREIJER et Al (1997), foram realizados diversos testes, desde 1988, para se avaliar a viabilidade dos leitos cultivados como polimento para um sistema de tratamento de esgoto, através da associação de um leito cultivado com macrófitas e uma laguna. O tempo de detenção hidráulico empregado foi de 1 a 10 dias. A maior remoção de *E. coli*, com um teor satisfatório de oxigênio dissolvido, ocorreu quando o tempo de detenção adotado foi de 2 a 3 dias. A alternância de natural nos níveis de oxigênio resultou uma remoção extra nos teores de nitrogênio (nos níveis já baixos de nitrogênio presente no sistema). A remoção de fósforo

foi baixa, sendo muito importante a precipitação química no sistema de tratamento de efluentes adotado.

Um sistema de leitos cultivados foi construído perto de Ribeira, Califórnia, Estados Unidos, a fim de se promover um tratamento terciário no efluente de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), segundo LUND (1999). O efluente fluiu por quatro lagoas em série numa área combinada de 10 ha, sendo que foi instalado um dispositivo para medir o fluxo, bem como foram instalados lisímetros de sucção a fim de se obter dados do fluxo. Da água que entrou no sistema de leitos cultivados, 37% foi liberada como vazão de saída, 3% se evaporou e 60% foi infiltrada. O nitrogênio inorgânico total (concentração na saída, a jusante) foi reduzido em 32% quando comparada com a concentração do efluente que entrava no sistema.

Em Byron Bay, ao norte de Nova Gales do Sul, na Austrália, segundo BAVOR & ANDEL (1994), foi implantado um sistema de leitos cultivados a fim de se promover um polimento do efluente sanitário tratado. A remoção de nitrogênio e o desempenho da desinfecção do sistema foram monitorados, sendo que a monitoração do sistema foi contínua.

Um estudo realizado em Marrocos, de acordo com MANDI et al. (1998), avaliou a eficiência de um sistema de leitos cultivados no polimento de um efluente advindo do tratamento de esgotos domésticos, num clima árido. O experimento consistiu em quatro leitos com diferentes comprimentos (20, 30, 40 e 50 m), onde foram plantados exemplares de *Phragmites australis*. O sistema funcionou com fluxo horizontal, e uma taxa de aplicação de 10 l/s, com a carga hidráulica variando de 0,86 a 2,16 m<sup>3</sup>.m<sup>2</sup>/dia. Alguns dos parâmetros estudados foram: carga orgânica (DQO, sólidos em suspensão), nutrientes (nitrogênio de Kjeldhal total: N, NH<sub>4</sub>, fósforo total: P, PO<sub>4</sub>) e parasitas (*Helminth incita*). Os resultados encontrados foram muitos satisfatórios com a redução da carga orgânica (de 58 a 67 % para sólidos em suspensão e 48 a 62 % de DQO) e a carga parasítica (ovos de *Helminth*: de 71% a 95%). Porém a redução de nutrientes foi relativamente baixa, encontrando-se para N, reduções de 23 a 43%; para NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de 18 a 41%; para P de 5 a 17%; e finalmente para PO<sub>4</sub><sup>-</sup> de -9 a 13%). No período quente (de março a agosto), os resultados foram melhores para a redução da carga orgânica, nutrientes e carga hidráulica. A redução da carga de vermes parasitas foi proporcional ao crescimento exponencial da espécie

vegetal. O leito com maior comprimento (50 m) apresentou melhor eficiência na remoção de nutrientes (N: 53%; NH<sub>4</sub>: 61%; P: 30%; PO<sub>4</sub><sup>-</sup>: 14%) e na redução da carga parasítica (ovos de *Helminth*: 99%), apresentando também a taxa de aplicação mais baixa 0,86 m<sup>3</sup>. m<sup>2</sup>/dia

Na Carolina do Norte, nos Estados Unidos, segundo HOUSE et al. (1994), foi testada a eficiência dos leitos cultivados para o tratamento do efluente sanitário de uma única residência. O experimento foi implantado em setembro de 1989, e o período de avaliação foi de março a dezembro de 1991. Houve eficiência no processo aeróbio, promovendo-se a nitrificação completa e também a redução de fósforo. A concentração de nitrogênio total foi reduzida em 64% (de 44,4mg/l para 16,0 mg/l). No efluente bruto encontrou-se o nitrogênio na forma orgânica e de amônio, enquanto que na saída encontrou-se o nitrogênio na forma de nitrato. Houve também redução de 86 % de fósforo (de 4,4 mg/l para 0,6 mg/l). Os melhores resultados foram encontrados no leito plantado com *Phragmites australis*, quando comparado com o leito sem vegetação e com o leito com *Typha angustifolia* plantada. Os resultados obtidos para esse leito foram: a concentração de nitrato abaixou de 16,0 para 11,1 mg/l e o fósforo foi reduzido em 31 %, de 0,6 para 0,3 mg/l. Dessa forma, o sistema apresentou-se eficiente, com baixo custo e manutenção.

### **3. 2. 2. 2. Qualidade da água e conservação ambiental**

Baseados em relatos no Reino Unido, WORRAL et al. (1997), ressaltam a importância do sistema natural de tratamento de efluentes líquidos chamados leitos cultivados, tanto para a vida selvagem, como um sistema para se amenizar a poluição. Salienta a importância de se implantar outros sistemas de leitos cultivados ponderando-se a conservação da vida selvagem e considerando-se a necessidade de qualidade da água para o ecossistema. Como exemplo de estudo de caso, foi relatada a experiência do South Finger Reedbed desenvolvido por O Wildfowl & Wetlands Trust, que projetaram um sistema com o objetivo de melhorar a qualidade da água a jusante de uma grande coleção de aves selvagens em cativeiro, criando um habitat equilibrado. O desempenho desse sistema construído em 1993 demonstrou resultados positivos com redução de sólidos suspensos ao redor 80% e para a DBO cerca de 60%. Em termos de desempenho de vida selvagem, o sistema evoluiu rapidamente apoiando uma larga gama de animais vertebrados e espécies

invertebradas, dando uma perspectiva ecológica para uma obra vista estritamente sob a ótica da engenharia.

No estado de Texas dos Estados Unidos, os leitos cultivados foram utilizados para o tratamento de água superficial (Runoff) de rodovias a fim de melhorar a qualidade da água dos mananciais, numa área total de 89 ha, onde foram associadas estruturas para a retenção da água da chuva. O propósito de tratamento das águas foi aliado ao interesse ecológico de se promover um habitat adequado para a vida selvagem, sendo que foram formados corredores de ligação entre toda a área de implantação do sistema e conectando-se também os ambientes naturais (lagos, pântanos litorâneos, etc.), gerando uma melhoria na qualidade da água, diminuindo inundações e arborizando áreas (KNIGHT et al., 1998).

Nos Estados Unidos, de acordo com BERG (1998), os leitos cultivados foram empregados para o tratamento da água de escoamento superficial (Runoff) advinda da drenagem de áreas rurais, urbanas e industriais, e também com o propósito de restaurar uma faixa de vegetação de 30 m, necessária para reverter um quadro crítico de poluição dos recursos hídricos.

Outra aplicação semelhante foi relatada por TAI et al. (1998), que com o intuito de amenizar os efeitos do desenvolvimento agrícola e urbano, que geram um Runoff rico em nutrientes, acabando por prejudicar a qualidade da água e do sedimento do fundo da laguna do Indian, no litoral do centro leste da Flórida. Um dos objetivos consistiu em formar cerca de 5.460 acres de área de retenção/detenção para o controle das águas pluviais, e uma área de 2.240 acres com leitos cultivados, para a remoção de nutrientes e sedimentos transportados pelo Runoff.

Na Tailândia, que apresenta um clima tropical, foram implantados dois leitos cultivados com aplicações diferentes. O primeiro leito foi implantado para o tratamento do esgoto sanitário de um instituto governamental. O segundo foi construído com o intuito de melhorar a qualidade do efluente final de uma lagoa aerada pertencente a um sistema de tratamento de efluentes que atende aproximadamente 100 indústrias de um parque industrial. No primeiro leito, o tempo de retenção hidráulico era de 28 dias e a taxa hidráulica de aplicação  $0,015 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , já no segundo leito esses valores, foram, respectivamente, de 3 dias e  $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ . Foram monitoradas as qualidades físicas, químicas e biológicas, avaliando-se as ocorrências de protozoários e metazoas, através de análises

realizadas durante dois meses, duas vezes por semana. A temperatura foi bem constante ao longo do ano inteiro, ocorrendo de 26 a 31°C e 25 a 34°C para os dois leitos, respectivamente. A qualidade do efluente final apresentou-se bastante boa, encontrando-se 4,5 e 3,3 mg/l como valores para BDO, e 2,7 e 6,8 mg/l para o nitrogênio total, nos dois leitos, respectivamente. Foi estipulada uma relação entre valores de DBO filtrado e características zoológicas, sendo que a ocorrência de certo metazoa e protozoários relacionava-se com indício da qualidade do efluente (THOGCHAI & ORATHAI, 1997).

A utilização do sistema de leitos cultivados como tratamento terciário de efluentes a serem despejados na bacia do rio Alexander foi o objeto de estudo, em Israel, conforme GREEN (1996). Quatro leitos experimentais foram construídos, com uma área aproximada de 100 m<sup>2</sup> em cada leito, sendo que dois dos leitos foram projetados com fluxo horizontal e subsuperficial, com pedregulhos como meio suporte. Nos outros dois, o fluxo era horizontal, mas com escoamento superficial, empregando um solo do local como meio suporte. O tratamento terciário foi implantado após a estação de tratamento de esgotos de Netanya a fim de promover o polimento do efluente final. Para uma melhor compreensão do funcionamento do sistema de leitos cultivados foram construídos dois leitos pequenos de concreto com 10 m<sup>2</sup> em cada um, em Technion. (Os resultados dos seis primeiros meses de funcionamento nos dois sistemas (rio Alexander e Technion) mostraram que a remoção de DBO e sólidos em suspensão foram muito eficientes sob as condições de: tempo de retenção de 4-15 dias (carga hidráulica de 20-80 m<sup>3</sup>/0,1 ha/dia) e DBO com uma carga de 1-5,5 kg/0,1 ha/dia). A DBO e as concentrações de sólidos em suspensão apresentaram-se sempre inferior a 20 mg/l, sendo que na maioria do tempo os valores mantiveram-se abaixo de 10 mg/l. Contudo, a eficiência de remoção de nitrogênio e combinações de fósforo variou grandemente, indo desde de 95% a 0 % de remoção.

Uma aplicação dos leitos cultivados relacionados com a qualidade da água foi relatada por SANSANAYUTH et al. (1996), envolvendo a criação intensiva de camarão, que se expandiu muito rapidamente durante a década de 90, ao longo da costa da Tailândia. A quantidade excessiva de alimento fornecida à criação acaba por gerar uma alta concentração de matéria orgânica e nutriente na água e no lodo presente no fundo da lagoa, comprometendo a qualidade da água. Na Tailândia, após a retirada dos camarões da lagoa é proibido o descarregamento do lodo no manancial, porém a água é descarregada nos

mananciais naturais, gerando poluição e eutrofização nas áreas litorâneas da Tailândia. Dessa forma, um sistema de leitos cultivados com escoamento subsuperficial foi implantado com o objetivo de se tratar as águas residuárias provenientes da criação de camarões, que se apresenta com altos teores de salinidade. O experimento incluiu um leito testemunha (sem vegetação) e mais outro leito com *Acrostichum aureum* (um tipo de samambaia) plantada, utilizando pedregulho como meio suporte. Os resultados mostraram uma redução nos sólidos suspensos, na DBO, no carbono orgânico total (COT), no nitrogênio total e no fósforo em até 84%, 91%, 46%, 48% e 31%, respectivamente. Eficiências de remoção mais altas foram encontradas para COT, N e P, quando comparado com o leito testemunha.

Um sistema de leito cultivado foi implantado próximo ao desemboque da represa Carcoar, perto de Blayney, em dezembro de 1991, com o propósito de amenizar os problemas causados pelos altos teores de nutrientes presentes na água, mais especificamente o fósforo. A redução dos nutrientes serviria para abaixar a incidência de algas azuis e verdes que florescem todos os verões. O projeto exigiu pesquisa significativa, bem como envolvimento da comunidade (WHITE et al., 1994).

Outro projeto a ser implantado, envolvendo a qualidade das águas, foi relatado por KOHN (1993), onde leitos cultivados serão construídos para a remoção de nutrientes de alagados naturais (“everglades”), com o propósito de se remover todo o fósforo lixiviado de fazendas, evitando a contaminação de áreas já fragilizadas. A proposta é implantar 3742 acres de leitos cultivados para o tratamento de 2 milhões de acres de alagados naturais, com um custo de 14 milhões, que depois de inteiramente implantado será o maior sistema de leitos cultivados do mundo. O tempo de detenção consistirá entre 14 a 20 dias, e a profundidade dos leitos ficará entre 0,46 a 1,37 m, com movimentação da água por gravidade. A estimativa é que esse projeto remova até 22 ton/m<sup>2</sup> por ano de fósforo.

A poluição difusa, segundo ZAKOVA et al. (1993), é o principal fator responsável pela deterioração da qualidade das águas dos reservatórios Tchecos, que enfrentam problemas com a eutrofização das águas. Um estudo determinou as diferentes fontes de nutrientes, no período de 1960 a 1991, sendo elas: agricultura (lixiviação e erosão), pontos de atividades urbanas e rurais, decomposição atmosférica de nitrogênio e fósforo. O processo de eutrofização também foi acelerado devido ao desenvolvimento do fitoplâncton,

propiciando a ocorrência de espécies tóxicas, tais como as algas azuis e verdes (cianófitas e cianobactérias), *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, entre outras espécies. Várias tecnologias foram testadas para se evitar a eutrofização das águas, entre elas a implantação dos leitos cultivados, juntamente com práticas de manejo racional do solo e o uso práticas conservacionistas.

A urbanização pode gerar degradação ambiental em níveis significativos, caso não sejam adotados dispositivos de controle ambiental adequados. De acordo com FISHER et al. (1992), espera-se que a população de Sydney, na Austrália, atinja aproximadamente 1 milhão de habitantes, durante os próximos 20 anos. Desse modo algumas estratégias foram implantadas, visando a conservação da bacia hidrográfica do rio Hawkesbury-Nepean, incluindo o projeto de uma estação de tratamento de esgoto, a implantação de um sistema de leitos cultivados, o gerenciamento do Runoff urbano, entre outros.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1. Local do experimento**

O experimento com o sistema de leitos cultivados com macrófitas foi implantado no Centro de Mecanização e Automação Agrícola (CMAA) do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), localizado no município de Jundiaí, que está localizado na bacia hidrográfica do rio Jundiaí, com aproximadamente 1200 km<sup>2</sup> de área. Essa é a menor e mais industrializada bacia do Estado com uma população em torno de 600 mil pessoas, das quais 300 mil só em Jundiaí, distribuídas 90 % na zona urbana e 10 % na zona rural.

Considerando o quadro crítico dessa bacia, em 1998, iniciou-se o primeiro projeto de despoluição total de uma bacia, com a inauguração de uma estação de tratamento de esgoto com capacidade de tratar 1800 l/s de esgoto.

Dessa forma, fica evidenciada a importância e necessidade do tratamento adequado dos esgotos sanitários, nesse local, a fim de se cooperar com a manutenção e melhoria da qualidade hídrica.

O CMAA, além da sede administrativa com cerca de 80 funcionários, apresenta também 70 residências para a moradia de 260 pessoas entre funcionários, pesquisadores e seus familiares. Todo o esgoto sanitário gerado é coletado e enviado para a Estação de Tratamento de Esgoto (E.T.E.) do próprio Centro. A E.T.E. é uma construção antiga, que

ainda atende a demanda de efluentes, sendo que o lançamento do efluente final acaba por desembocar no córrego Hermida, um afluente do rio Jundiáí.



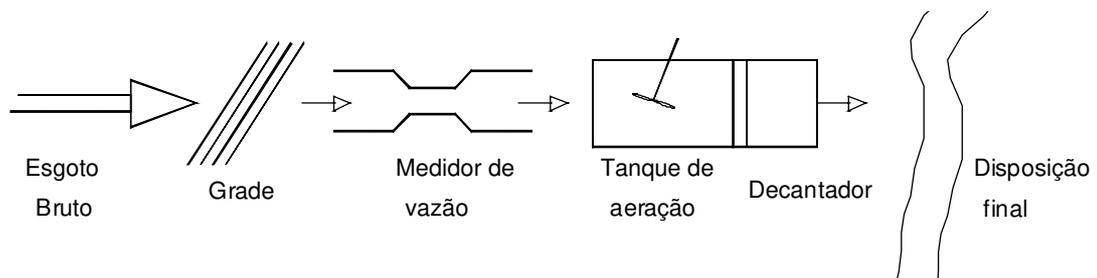
**Figura 2.** Vista geral da localização da Estação de Tratamento de Esgoto no Centro de Mecanização e Automação Agrícola, circundada pela floresta de *Pinnus* sp.

A Estação de Tratamento de Esgoto do Centro de Mecanização e Automação Agrícola (CMAA) foi construída na década de 60 (figura 3), juntamente com o centro de pesquisa, num projeto de uma empresa americana. Desde então, a ETE não teve qualquer tipo de manutenção, nem retirada de lodo, sendo comum a ocorrência de desprendimento do lodo do fundo. A ETE é composta por uma grade, um medidor de vazão, seguida de um tanque de aeração e um decantador, conforme a figura 4. O funcionamento do tanque de aeração é irregular, uma vez que em determinados períodos o aerador não fica ligado. Dessa forma, esse tanque eventualmente funciona como um tanque anaeróbico.

As construções apresentam a rede coletora de água pluvial ligada à rede coletora de esgoto, aumentando consideravelmente o volume do efluente a ser tratado em períodos chuvosos.



**Figura 3.** Estação de Tratamento de Esgoto do Centro de Mecanização e Automação agrícola



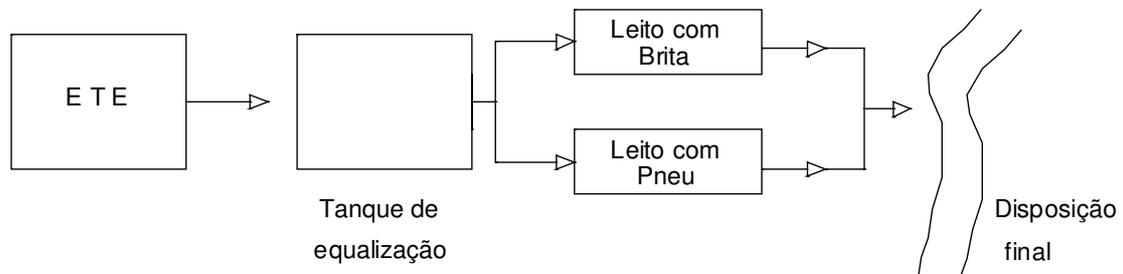
**Figura 4.** Croqui da Estação de Tratamento de Esgoto do Centro de Mecanização e Automação Agrícola

## 4. 2. Descrição do experimento

### 4. 2. 1. Localização dos leitos cultivados

Com a disponibilização de área pelo CMMA, o experimento foi implantado na forma de dois leitos cultivados, após a E.T.E. (conforme figura 5), de modo também a promover o polimento do efluente final tratado. Um leito foi preenchido apenas com brita nº3 (55 a 50 mm de diâmetro) como meio suporte, enquanto que no outro foi colocado pneu picado e pedra brita somente na camada mais superficial (com cerca de 20 cm de profundidade),

onde foram plantadas as espécies vegetais, a fim de evitar o acamamento das mesmas, conforme figura 6.



**Figura 5.** Croqui da localização dos leitos cultivados na E. T. E.



**Figura 6.** Vista dos leitos cultivados com pneu e brita como meio suporte.

A espécie vegetal escolhida para o plantio foi a Taboa (*Typha* sp.), devido a grande disponibilidade de plantas, dessa espécie, na região do local da implantação do experimento.

A distribuição do efluente nos leitos foi realizada por gravidade, através de tubos de PVC (com 25 mm de diâmetro). A entrada do efluente ocorreu por uma canalização

perfurada (furos com 10 mm de diâmetro), situada na superfície do meio suporte para uma adequada distribuição do efluente. Na saída, um dreno realizou o escoamento do efluente final, sendo que o mesmo ficou localizado no canto inferior do leito, embaixo do meio suporte (conforme figura 7).



**Figura 7.** Croqui dos leitos vistos de cima.



**Figura 8.** Detalhe da distribuição do efluente nos leitos.

#### 4. 2. 2. Especificações técnicas do projeto

Dimensões dos leitos: 2 m de largura x 5 m de comprimento x 1 m de altura.

Material construtivo: blocos de cimento de 02, x 0,4 m, com base de concreto armado.

Revestimento interno dos leitos: impermeabilização com produto próprio.

Altura da coluna d'água: 0,90 m.

Volume total do meio suporte: 10 m<sup>3</sup>.

Porosidade da brita: 50% do volume total.

Características dos pneus picados: para o volume de 10 m<sup>3</sup>, peso de 5 toneladas.

Tempo de detenção hidráulico: 2 dias.

Vazão de entrada nos leitos: 2,5 m<sup>3</sup>/dia ou 2500 l/dia.

#### 4. 2. 3. Construção dos leitos cultivados

Os leitos foram construídos com blocos de concreto, apresentando amarrações na segunda e na penúltima fiada dos blocos, com pilares e colunas, sendo o fundo construído com concreto armado, com colunas de. As dimensões consistiram em 5 m de comprimento, 2m de largura e 1m de altura. A construção dos leitos terminou no dia 13 de outubro de 2000, começando em seguida a impermeabilização das paredes internas dos leitos. A impermeabilização foi feita com Vedacit adicionado à massa do reboque, e com Sik Top passado em 3 camadas, com um tempo de secagem de 2 dias entre camada demão. Devido às chuvas no período, a construção só foi concluída no dia 27 de outubro de 2000.

Após o período de 4 dias para a secagem completa do impermeabilizante, foi colocado o meio suporte (brita e pneu) nos leitos. Antes do plantio das mudas, o sistema funcionou durante 7 dias para a preenchimento dos poros com o efluente líquido, sendo que no dia 9 de novembro foi realizado o plantio.

#### Quadro 4. Cronograma da construção e funcionamento dos leitos.

Data	Atividade
3/ago/2000	Início da construção
13/out/2000	Término da construção
27/out/2000	Conclusão da impermeabilização
31/out/2000	Início do preenchimento com o meio suporte
2 a 8/nov/2000	Período de circulação do efluente pelos leitos
9/nov/2000	Plantio das mudas
nov/2000 a abr/2001	Estabilização do sist. e acompanhamento do desenv. das plantas

#### 4. 2. 4. Escolha e plantio das espécies vegetais

A espécie vegetal escolhida foi *Typha* sp. (taboa), devido sua disponibilidade no entorno do experimento. As mudas foram coletadas do leito cultivado com macrófitas instalado na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, uma vez que as mesmas já estavam adaptadas ao esgoto sanitário.

Na preparação das mudas, a parte aérea da planta foi retirada, deixando-se apenas cerca de 10 cm a partir do colo da planta.

O plantio foi realizado no dia 9 de novembro de 2000, sendo que as mudas foram distribuídas em 10 linhas, com 5 mudas em cada, perfazendo uma população total de 50 mudas em cada leito, objetivando-se alcançar uma população estável de 50 mudas em cada leito.



**Figura 9.** Mudanças de *Typha* sp. plantadas nos leitos cultivados.

#### 4. 2. 5. Pneu picado

Para a obtenção do pneu picado foram contatadas várias empresas ligadas ao ramo de produção e comercialização de pneus, porém sem sucesso.

O serviço de atendimento ao cliente da empresa D Paschoal, indicou a Mazola Pneus de Valinhos/SP, responsável pela coleta e destino final dos pneus de todas as lojas da D Paschoal, que disponibilizou o pneu usado e o transporte do material.

O corte do pneu foi realizado pela empresa CBL Comércio e Reciclagem de Borrachas de São Bernardo do Campo/SP, que disponibilizou 5 amostras de pneus, com diferentes tipos de corte e tamanho.

A amostra selecionada era de um lote com pneus de trator, caminhão e automóveis, que foram passados pelo triturador de pneus da marca Satrem Italiana, regulado com grelha de 6 polegadas. Em seguida, o lote foi passado no granulador.



**Figura 10.** Amostra do lote de pneu picado.

Quanto a sua composição os resíduos/sucatas de pneus em geral, de acordo com o CADRI (Certificado de Aprovação de Destinação de Resíduos Industriais), a composição aproximada para o pneu, consiste em: enxofre 62%, PCS 10039 kcal/kg, arsênio 51 ppm, berílio 0,04 ppm, cromo hexa – não detectado, cromo total 60,57 ppm, mercúrio 0,02 ppm, chumbo 71,22 ppm, selênio 0,01 ppm, vanádio 6 ppm, zinco 18120 ppm e densidade de 500 kg/ m<sup>3</sup> .

Para o leito cultivado, com capacidade de 10 m<sup>3</sup>, foram necessárias 5 toneladas de pneu picado para o seu preenchimento.

Na figura 11, detalhes da grande irregularidade dos pedaços do pneu picado e da pedra britada.



**Figura 11.** Detalhe do pneu picado e da pedra britada

#### **4. 2. 6. Estabilização do sistema**

Um período de seis meses para testes e modificações (para uma regulação adequada) do sistema hidráulico, bem como, para a estabilização do sistema foi incluído, a fim de que a avaliação da eficiência do sistema para o tratamento do esgoto sanitário não fosse comprometida ou indicasse valores ou conclusões errôneas sobre o sistema de leitos cultivados.

A estabilidade envolve principalmente o desenvolvimento da colônia bacteriana, que atua diretamente na eficiência desse sistema para o tratamento de efluentes líquidos. Outro aspecto consiste no crescimento das mudas vegetais, e, por conseguinte de suas raízes e das bactérias que vivem associadas à sua rizosfera.



**Figura 12.** Leitões cultivados com macrófitas implantados no CMAA.

#### **4. 2. 7. Manejo e acompanhamento dos leitões cultivados**

As práticas de manejo e acompanhamento dos leitões cultivados consistiram em se verificar diariamente as possíveis (e rotineiras) obstruções no sistema de distribuição do efluente líquido nos leitões, bem como a contagem e replantio das mudas/plantas mortas sempre ao final de cada mês.

Outra rotina diária consistiu na regulagem da vazão de entrada nos leitões, para que as amostras semanais pudessem ser retiradas sem comprometimento dos resultados.

As espécies vegetais acamadas e/ou tombadas (comum nos exemplares com porte de cerca de 2 m de altura) que apresentaram injúrias, sofreram uma poda drástica, a fim de não comprometer o seu crescimento e também o desenvolvimento das plantas circunvizinhas.

#### **4. 2. 8. Monitoramento**

O monitoramento do sistema foi realizado por meio de análises laboratoriais, de acordo com os seguintes métodos:

- sólidos suspensos – segundo o Standard Methods for Examination of Water and Wasterwater;

- pH – peagâmetro Orion de bancada, com um eletrodo de platina imerso em solução eletrolítica dentro de uma campânula de vidro, pelo método eletrométrico, de acordo com o Standard Methods.;
- DQO – digestão da amostra com dicromato de potássio em um reator DQO Hach, seguida de determinação colorimétrica no espectro fotômetro DR/2010 (Hach), na faixa de 0 a 150 mg O<sub>2</sub>/l e desvio padrão de  $\pm 2,7$  mg O<sub>2</sub>/l, conforme Hach;
- DBO – equipamento DBOTrak (Hach) com análise de até 6 amostras por vez, com faixa de 0 a 700 mg O<sub>2</sub>/l, podendo ser DBO de 5, 7 e 10 dias;
- Fósforo total - método reagente PhosVer3 (Hach) com digestão em persulfato ácido no reator Hach para DBO e posterior determinação colorimétrica no espectrofotômetro DR/2010 que fornece leituras em PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, P e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>;
- Nitrogênio amoniacal – método Nessler, sem digestão, e posterior determinação colorimétrica no espectrofotômetro DR/2010, fornecendo valores para NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NH<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>-N
- Nitrato – método reagente NitraVer5 (Hach) e posterior determinação colorimétrica no espectrofotômetro DR/2010 (Hach), sendo que os resultados na faixa de 0 a 5 mg/L de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>;
- Coliformes totais e *E. coli* – método cromogênico, através da cartela Quanti-Tray, seladora Quanti-sealer e lâmpada UV do método conhecido comercialmente por Colilert-IDEXX e uma estufa biológica;
- Turbidez - método de radiação atenuada (Hach), com leitura de 0 a 4400 FAU (unidade de atenuação Formazin), que é uma adaptação da ISO 7027, sendo equivalente à NTU (unidade de turbidez nefelométrica).

As amostras foram retiradas semanalmente, salvo problemas com entupimento no sistema de distribuição do efluente nos leitos cultivados ou então a ocorrência de chuvas antes da coleta da amostra. No total, foram feitas 12 repetições para cada tratamento, perfazendo um período total de 6 meses de monitoramento do sistema.

Em dias chuvosos não foram retiradas amostras, uma vez que as construções e residências do local em questão, apresentavam a rede coletora de águas pluviais ligadas à rede coletora de esgoto, alterando as características do efluente, através de diluições. As coletas ocorreram sempre no período da tarde, em torno das 17:00 hs, a fim de se evitar

oscilações nos resultados, sendo que as amostras eram mantidas sob refrigeração até serem encaminhadas ao laboratório, na manhã seguinte da coleta.

As amostras eram sempre coletadas em frascos apropriados de 250 ml, retirados no laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola, onde foram realizadas as análises.

#### 4. 2. 9. Delineamento estatístico e análise dos resultados

Um delineamento estatístico para as análises químicas foi adotado, sendo que os resultados foram distribuídos conforme o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), onde um número diferente de repetições não interfere na avaliação dos resultados.

As amostras foram retiradas semanalmente, após o período de estabilização do sistema, num total de 12 repetições para cada tratamento, para quase todos os parâmetros estipulados. Definiram-se como tratamentos os diferentes meio suportes testados, sendo definido como tratamento 1, o leito preenchido inteiramente com brita; e como tratamento 2, o leito com pneu picado.

Em cada amostra retirada (repetição) foram analisados os seguintes parâmetros: sólidos suspensos, turbidez, pH, DBO, DQO, Fósforo (valores de P, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, PO<sub>4</sub>), Nitrogênio amoniacal (valores de NH<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>-NH, NH<sub>4</sub><sup>-</sup>), nitrato (valores de NO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub> -N), coliforme total, *E. coli*. Os valores obtidos em cada parâmetro, nas análises laboratoriais, foram organizados e dispostos num quadro, conforme demonstrado abaixo, para fins de cálculo e aplicação do teste F (ver apêndices).

**Quadro 5.** Delineamento estatístico do experimento.

TRAT (I)	REPETIÇÕES (j)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	x <sub>11</sub>	x <sub>12</sub>	x <sub>13</sub>	x <sub>14</sub>	x <sub>15</sub>	x <sub>16</sub>	x <sub>17</sub>	x <sub>18</sub>	X <sub>19</sub>	x <sub>110</sub>	x <sub>111</sub>	x <sub>112</sub>	T1
2	x <sub>21</sub>	x <sub>22</sub>	x <sub>23</sub>	X <sub>24</sub>	X <sub>25</sub>	X <sub>26</sub>	x <sub>27</sub>	x <sub>28</sub>	X <sub>29</sub>	x <sub>210</sub>	x <sub>211</sub>	x <sub>212</sub>	T2

onde para x<sub>ij</sub>, tem-se: i = tratamento e j = repetição

A caracterização do efluente foi realizada através de três repetições durante o período de avaliação do experimento, uma vez que por falta de recursos, não foi possível a

análise semanal. Dessa forma, a fim de não comprometer a avaliação entre os tratamentos (objetivo do trabalho), com a diminuição do número de repetições, preferiu-se fazer a caracterização do efluente apenas com a média de três repetições.

O principal propósito do monitoramento do experimento foi verificar a aplicabilidade do pneu picado como meio suporte em leitos cultivados, assim sendo, para cada parâmetro monitorado foi elaborado um gráfico com os valores obtidos pelas análises laboratoriais nos dois tratamentos (meio suporte com brita e meio suporte com pneu). Além das duas curvas com o resultados dos tratamentos, incluiu-se uma reta com o valor médio obtido na caracterização do efluente inicial, conforme mencionado anteriormente.

O delineamento adotado para a análise estatística dos resultados foi o delineamento inteiramente casualizado. A comparação entre as médias foi realizada por meio do teste F, que apenas determina se as médias dos tratamentos aplicados são diferentes ou iguais ao nível de 1% e 5 % de probabilidade. Como trata-se de apenas dois tratamentos não existe a necessidade de se comparar as médias duas a duas de todos os modos possíveis, tal como ocorre no teste de Tukey , entre outros.

De acordo com GOMES (1984), o teste F é calculado através do quadrado médio de tratamentos (que mede ao mesmo tempo as diferenças entre os tratamentos e o efeito do acaso) pelo quadrado médio do resíduo (que representa o efeito do acaso, sendo uma estimativa da variância para todos os tratamentos). Quando os tratamentos não imprimem efeito algum no experimento, o quociente deve ser em torno de 1, sendo que quanto maior o valor calculado, maior o efeito dos tratamentos. Depois de calculado o valor de F, o mesmo deve ser comparado com o valor de F tabelado, que relaciona os valores dos graus de liberdade do tratamento e do resíduo ao nível de 1 % ou 5 %.

Se o valor calculado é menor que o tabelado, confirma-se a hipótese da nulidade, onde os efeitos do tratamento são considerados ausentes, confirmando-se que não existe diferença entre os tratamentos. Quando estipula-se 1 % ou 5 % de significância, significa que apenas 5 % ou 1 % dos casos o valor de F daria maior que o valor de F tabelado, ou seja, a probabilidade de ocorrência de que os tratamentos diferem entre si seria de 5 % ou 1%. Quando adota-se 5 % diz-se que o resultado é significativo, pois ainda existe 5 % de dados que podem não confirmar a hipótese. Já para 1 % de significância, o resultado é

considerado altamente significativo, pois é bastante improvável a ocorrência de resultados adversos da hipótese.

A estatística foi utilizada como uma ferramenta na comparação dos dois tratamentos em questão, o leito cultivado com brita como meio suporte (T1) e o leito cultivado com pneu como meio suporte (T2), a fim de verificar se os resultados obtidos caracterizavam diferença entre os dois tratamentos. Contudo, para verificar se os resultados obtidos enquadram-se nas exigências da legislação vigente, foi realizada uma comparação entre as médias e o valor exigido por lei para cada parâmetro analisado. No caso da DBO foi também calculada a porcentagem de redução na carga poluidora.

Esse procedimento foi adotado adequando-se a situação encontrada na legislação vigente, que estipula valores exatos para o enquadramento do efluente no padrão de emissão. Dois tratamentos podem ser considerados estatisticamente iguais, quando se compara-se os seus resultados, obtidos nas análises laboratoriais; porém um pode atender a exigência da lei e o outro não. Como por exemplo: tem-se que um efluente pode estar dentro do padrão de emissão exigido pela lei, com 80 % de redução da carga poluidora da DBO, e o outro pode não ser aceito, por estar fora do limite estabelecido, apresentando 78 % de redução da DBO, apesar dos dois tratamentos terem sido considerados iguais estatisticamente.

Dessa forma, os resultados obtidos nas análises laboratoriais dos dois tratamentos foram comparados com a legislação estadual vigente (Lei nº 997 de 31/05/1976 com regulamentação pelo Decreto nº 8468 de 08/09/1976, que dispõe sobre a Prevenção e Controle da Poluição do Meio Ambiente), considerando o córrego Hermida enquadrado na classe 2 (conforme o Decreto nº 10755 de 22/11/77, alterado pelo Decreto nº 39173 de 08/09/94, que trata do enquadramento dos corpos de água receptores).

Na legislação estadual (decreto nº 8468 de 08/09/76), as águas enquadradas na Classe 2 não podem receber efluentes que de alguma maneira prejudiquem sua qualidade através da alteração dos parâmetros relacionados na lei (Cap. II, Seção I, Art. 11.). Para a DBO, o valor máximo permitido consiste em até 5 mg/l. Quanto aos padrões de emissão (Cap. II, Seção II, Art. 18) o máximo permitido é 60 mg de O<sub>2</sub>/l, sendo que esse limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluentes de um sistema de tratamento de esgotos que reduza a carga poluidora em pelo menos 80 %.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Desenvolvimento das espécies vegetais

No período de estabilização e funcionamento do sistema foi observado o desenvolvimento das mudas, sendo que sempre ao final de cada mês, as mudas mortas/secas eram contabilizadas para se efetuar o replantio das mesmas. No início do experimento, antes da estabilização do sistema, foram plantadas 50 mudas, uma vez que a população estipulada como adequada foi de 50 mudas por leito.

Assim sendo, a prática de replantio das mudas visou manter uma população de 50 mudas por leito. No quadro 6, o número de mudas mortas/secas em cada mês, e que também é o número de mudas replantadas nesse período.

**Quadro 6.** Número de mudas mortas/secas por mês em cada leito.

	Dez	Jan	Fev	06/03*	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Média	Desvio padrão
brita	7	26	13	21	15	11	24	28	31	29	25	20,909	8,117
pneu	11	19	9	16	9	7	19	18	22	21	17	15,273	5,312

\* após forte tempestade, houve acamamento e tombamento das plantas que na ocasião apresentavam um porte de cerca de 2 m de altura. Houve necessidade de replantio de mudas (visando manter uma população de 50 plantas em cada leito), bem como de uma poda drástica nas plantas danificadas a fim de se evitar o acamamento das espécies vegetais circunvizinhas, bem como aumentar a sua própria injúria com a quebra dos seus colmos e exposição de suas raízes.

Uma explicação possível para o crescimento acelerado das mudas e seu posterior tombamento é o excesso de nitrogênio que, conforme BRADY (1989), é absorvido pelas plantas, nas formas de nitrato e amônia, sendo que com o seu excesso, as folhas adquirem uma coloração verde escura e ocorre um crescimento excessivo da espécie vegetal, fazendo com que os caules não consigam se manterem eretos, conforme figura 13.



**Figura 13.** Detalhe do crescimento excessivo e tombamento das plantas (observar o sombreamento do local).

Outro aspecto observado foi que a grande mortandade das plantas apresentou-se mais severamente nos meses correspondentes ao período do inverno.

Dentre as possibilidades estão a falta de chuvas e uma conseqüente concentração do esgoto, bem a mudança do posicionamento do sol que pode ter interferido no desenvolvimento das plantas, devido ao sombreamento gerado por uma floresta de *Pinnus* sp. vizinha à Estação de Tratamento de Esgoto (ver figura 2 com a vista geral da localização da ETE).

## **5.2. Desempenho dos leitos cultivados**

Na revisão bibliográfica não foi encontrado nenhum estudo com a aplicação de pneu como meio suporte em leitos cultivados, apresentando essa pesquisa dados investigativos sobre a aplicabilidade do pneu. A verificação dos resultados obtidos para cada parâmetro indicam possibilidades e deficiências do sistema, que ainda necessita de muito estudo para poder ser entendido na sua extensão.

Algumas possíveis explicações para o desempenho do sistema podem ser entendidas, através de uma avaliação envolvendo o desempenho do sistema de leitos cultivados, com fluxo subsuperficial, que foi realizada por REED & BROWN (1995),

sendo que o objetivo principal foi identificar a influência da carga hidráulica, carga orgânica, tempo de detenção hidráulica no desempenho da remoção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos suspensos totais (SS), nitrogênio e fósforo. Os resultados indicaram que a redução da DBO e remoção de SS podem ser efetivas num tempo de detenção relativamente curto, e que a remoção de DBO apresenta uma relação linear com a carga orgânica. Já a remoção de nitrogênio exige um tempo de detenção maior, parecendo ser limitada pela baixa disponibilidade de oxigênio nesses sistemas. A eficiência de remoção de fósforo apresenta-se entre 30 e 60 %, sendo também um pouco limitada pela baixa disponibilidade de oxigênio.

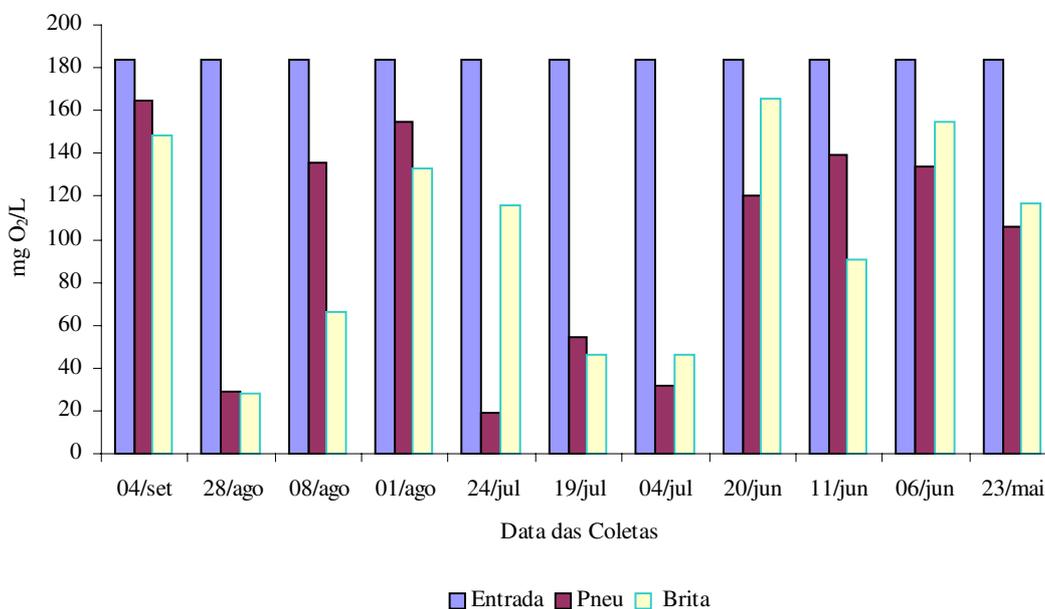
### **5. 2. 1. Demanda bioquímica de oxigênio**

O valor médio da DBO do efluente na entrada dos leitos foi de 184 mg de O<sub>2</sub>/L. Na saída dos leitos, os valores médios obtidos foram de 101 mg de O<sub>2</sub>/L para o leito com brita como meio suporte, e 99 mg de O<sub>2</sub>/L, para o leito com pneu picado como meio suporte, encontrando-se assim, respectivamente, uma eficiência de 45,06 % e 46,20 %.

A legislação vigente (Decreto nº 8468 de 08/09/76, que regulamenta a Lei nº 997 de 31/05/76), prevê como padrão de lançamento o valor máximo de 60 mg de O<sub>2</sub>/L, salvo os casos em que o tratamento dos efluentes atinja uma eficiência de 80 % na remoção da carga poluidora.

Essa forma, analisando-se a eficiência obtida pelos dois leitos, segundo a legislação vigente, tem-se que os mesmos não atingiram, a exigência de uma eficiência de 80 % de remoção da carga poluidora. Contudo, no período compreendido entre o início de julho até o início de agosto, os valores obtidos para a DBO ficaram abaixo da exigência de 60 mg de O<sub>2</sub>/L, estando então em conformidade com os padrões estipulados na legislação.

Porém, se for considerar o enquadramento do corpo hídrico (no caso, classe 2 do rio), o padrão exigido para se evitar prejuízos na qualidade do manancial, é de 5 mg de O<sub>2</sub>/L, o que na prática é muito difícil de se alcançar.



**Figura 14.** Gráfico dos valores obtidos para DBO.

Por outro lado, a avaliação estatística demonstrou que os resultados obtidos nos dois tratamentos para a DBO não apresentam diferenças significativas a 1% e a 5% de significância, de acordo com o teste F (ver apêndices).

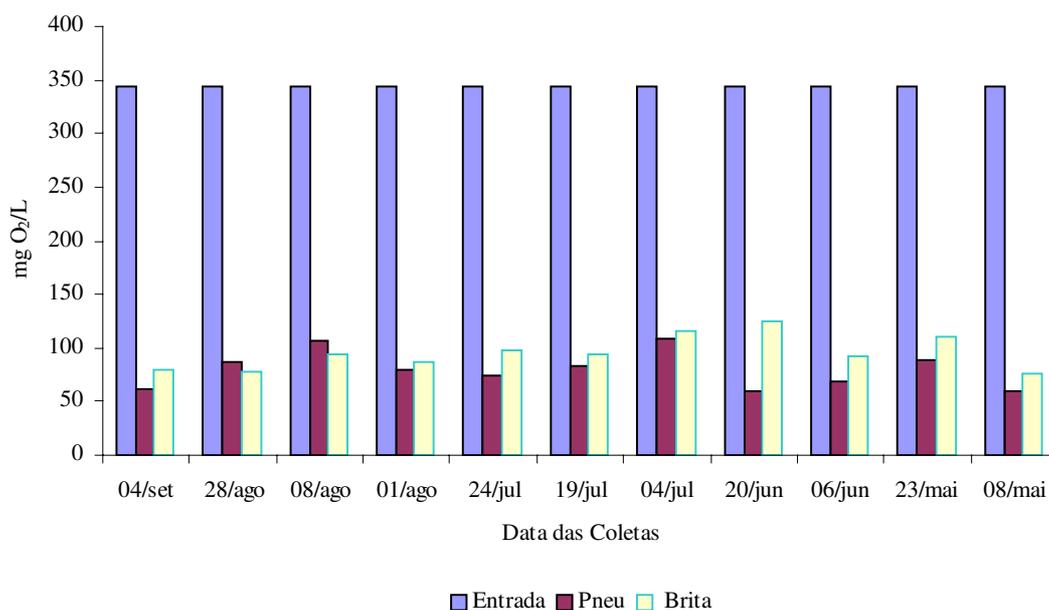
### 5. 2. 2. Demanda química de oxigênio

Na legislação não existem padrões estipulados para a DQO, sendo que as avaliações são realizadas para se obter uma melhor caracterização da carga orgânica do efluente, e o seu conseqüente potencial poluidor.

Considerando a média de 344 mg O<sub>2</sub>/L na entrada dos leitos, e as médias obtidas de 97 mg O<sub>2</sub>/L para o tratamento com brita, e 146 mg O<sub>2</sub>/L para o tratamento com pneu, tem-se uma redução da DQO de 71,54 % para o primeiro tratamento e 57,46 % para o segundo tratamento.

A avaliação estatística, através da aplicação do teste F, demonstrou que existem diferenças significativas entre os tratamentos, ao nível de 5 % de significância.

Mas, quando aplicado o mesmo teste F, a 1 % de significância, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas, vindo a confirmar uma tendência dos resultados, conforme pode-se observar na figura 15.



**Figura 15.** Gráfico dos valores obtidos para a DQO.

### 5. 2. 3. Sólidos suspensos

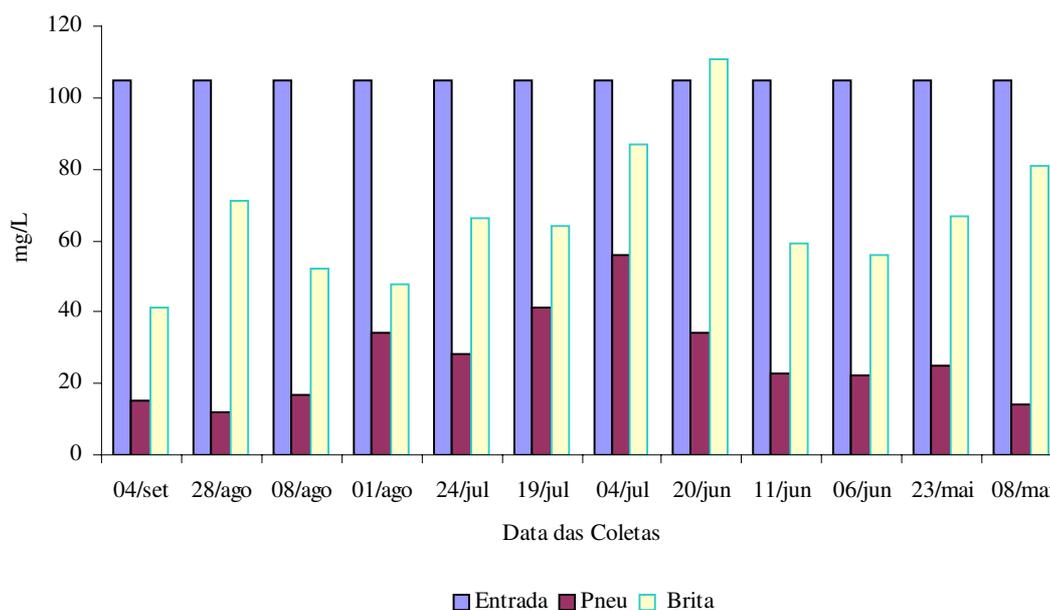
Numa comparação entre as médias de 105 mg/L para a entrada dos leitos, 66 mg/L para o tratamento com brita e 26 mg/L para o tratamento com pneu, tem-se que a porcentagem de redução para os tratamentos foi, respectivamente, de 36,27 % e 74,52 %.

Esse resultado positivo, obtido no tratamento com o pneu como meio suporte para as plantas, indica a necessidade de maiores investigações sobre a potencialidade do uso pneu nos leitos cultivados com macrófitas.

Estatisticamente, pelo teste F, confirmou-se que existem diferenças significativas a 5 % e a 1 % de significância entre os tratamentos. E como o valor obtido para o F calculado

foi extremamente alto, pode-se dizer que os tratamentos são bem distintos entre si, para esse parâmetro avaliado.

Graficamente, conforme a figura 16, é possível observar que o tratamento com brita apresentou os maiores valores para SS, demonstrando assim, a melhor eficiência obtida pelo tratamento com pneu.



**Figura 16.** Gráfico dos valores obtidos para os sólidos em suspensão (SS).

#### 5. 2. 4. pH

A lei exige que o pH do efluente a ser lançado no manancial hídrico, esteja dentro da faixa de 5 a 9, considerando que todos os valores de pH obtidos nesse experimento estão compreendidos nessa faixa, tem-se que os todos as tratamentos satisfazem a exigência do padrão de lançamento.

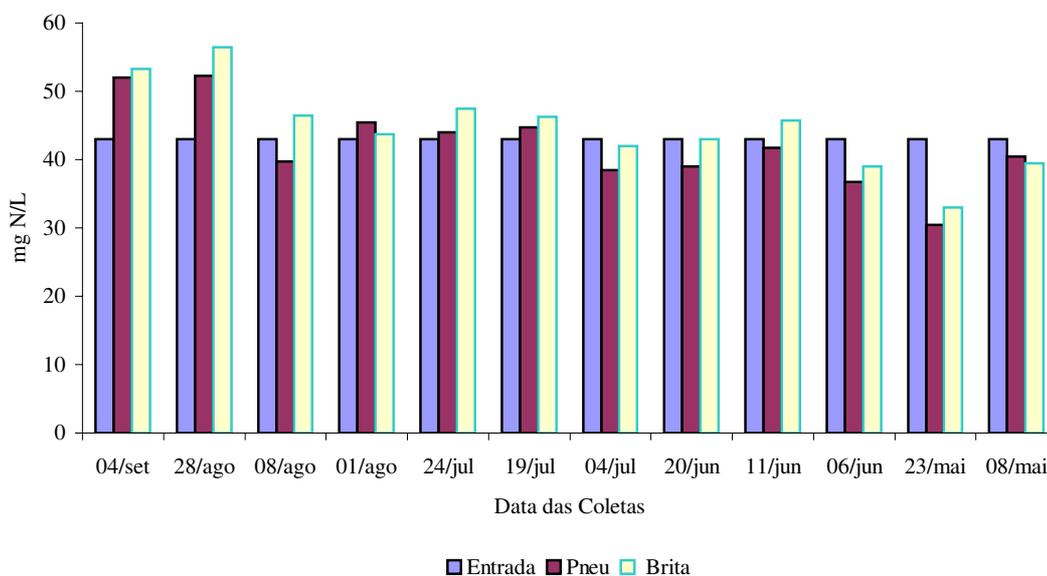
Na avaliação estatística, encontrou-se que os tratamentos apresentam diferenças significativas a 1 % e a 5 % de significância. A tendência observada indica que o tratamento com brita obteve os maiores valores para pH, com uma média de 7,38. Já o tratamento com o pneu picado apresentou uma média menor de 7,15, que se aproxima mais da normalidade.

## 5. 2. 5. Nitrogênio

### 5. 2. 5. 1. $\text{NH}_3^-$

Na entrada dos leitos cultivados encontrou-se um valor médio de 43 mg de N/L, enquanto que na saída dos leitos obteve-se 44 para o tratamento com brita como meio suporte, e 42,10 mg de N/L para o tratamento com pneu empregado como meio suporte.

Esses valores médios indicam resultados muito próximos, demonstrando que os tratamentos não foram eficientes para a remoção de  $\text{NH}_3^-$ , e nem tampouco esses valores se enquadraram na exigência de 0,5 mg de N/L, para as águas de Classe 2, evidenciando a desconformidade com a legislação vigente.



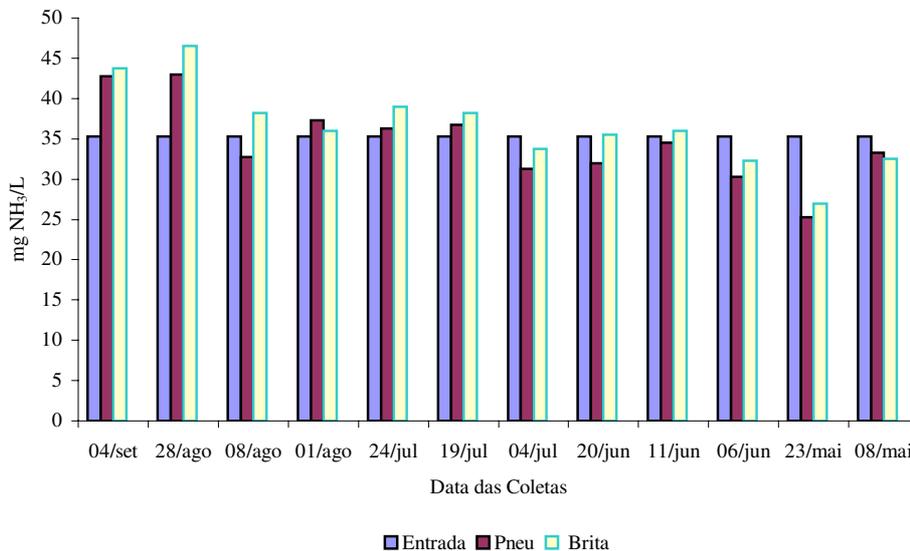
**Figura 17.** Gráfico dos valores obtidos para  $\text{NH}_3$ .

Estatisticamente, tem-se que os tratamentos não diferem entre si aos níveis de 5% e 1% de significância.

### 5. 2. 5. 2. NH<sub>3</sub>-N

A média de nitrogênio amoniacal encontrada na entrada dos leitos foi de 35 mg N/L, sendo que para os tratamentos com brita e pneu, os valores médios obtidos foram, respectivamente, de: 36 e 34 mg N/L. Tem-se então, valores médios muito semelhantes, demonstrando que os tratamentos em questão, não foram eficientes para a remoção de nitrogênio amoniacal.

A análise estatística comprovou que os tratamentos não apresentam diferenças significativas entre si, ao nível de 1 % e 5 % de significância. Graficamente (figura 18), confirma-se a tendência dos resultados com valores bem próximos.

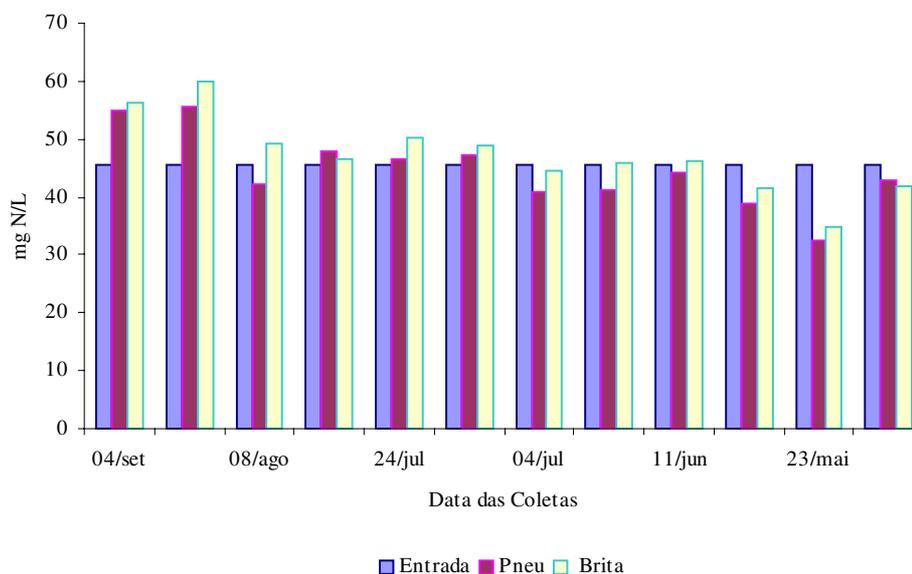


**Figura 18.** Gráfico dos valores obtidos para NH<sub>3</sub>-N.

### 5. 2. 5. 3. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Na entrada dos leitos, a média obtida foi de 45 mg N/L. Na saída dos leitos, esse valor foi de 47 e 44 mg/L para os leitos preenchidos com brita e com pneu, respectivamente. Novamente, os valores médios obtidos foram muito semelhantes, demonstrando a ineficiência dos tratamentos para a remoção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, e a tendência de similaridade dos tratamentos.

Estatisticamente, confirmou-se essa tendência observada na figura 19, pois os tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre si, ao nível de 1 % e 5 % de significância.



**Figura 19.** Gráfico dos valores obtidos para  $NH_4$ .

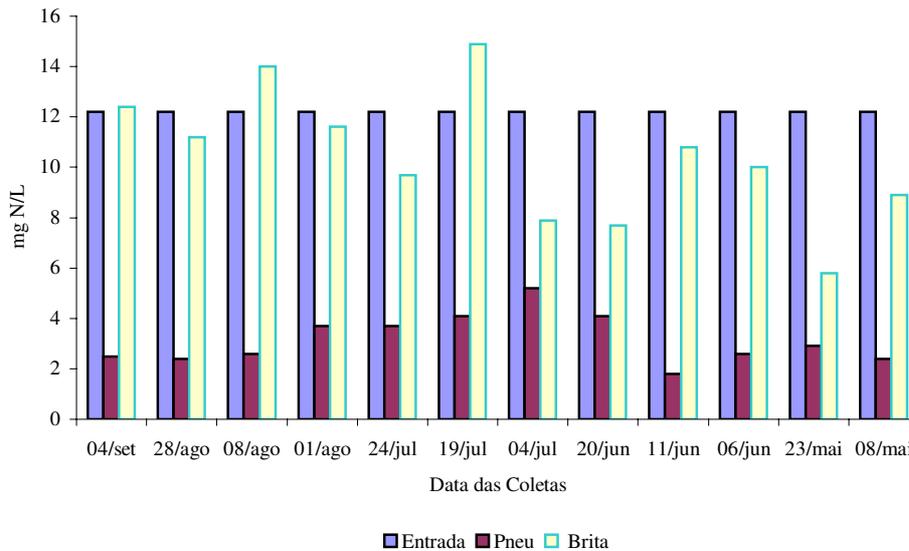
#### 5. 2. 5. 4. $NO_3$

Na entrada dos leitos a média encontrada foi de 12 mg/L, enquanto que para os tratamentos com brita e pneu, foi obtido, respectivamente, 14 e 3 mg/L. No primeiro tratamento a média dos valores aumentou, enquanto que no segundo tratamento a eficiência foi de 74,02 % na redução de  $NO_3$ .

Considerando a legislação vigente, que estipula como padrão de qualidade das águas classe 2, o valor máximo de 10 mg/L, tem-se que apenas o leito cultivado com pneu picado como meio suporte enquadra-se no limite exigido por lei.

Os resultados apresentaram-se bem distintos, demonstrando indícios de que o processo de desnitrificação se processou melhor no tratamento do leito com pneu, quando comparado com o outro tratamento que empregou a brita como meio suporte. Porém, ainda faltam estudos para se identificar os fatores, presentes no tratamento com pneu, que favorecem o processo de desnitrificação.

A análise estatística demonstrou que os tratamentos realmente apresentam diferenças significativas tanto ao nível de 5 %, como ao nível de 1 % de significância, confirmando a tendência dos resultados observada graficamente (figura 20).



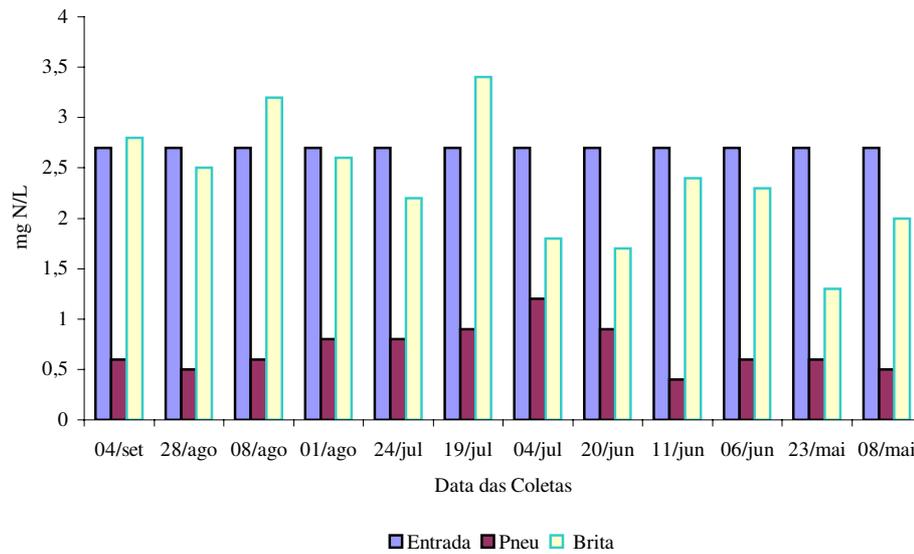
**Figura 20.** Gráfico dos valores obtidos para NO<sub>3</sub>.

#### 5. 2. 5. 5. NO<sub>3</sub>-N

Os valores médios obtidos para os leitos com brita e pneu como meio suporte, foram, respectivamente, de 2 e 0,7 mg de N/L. A média de entrada foi de 2,7 mg de N/L, encontrando-se assim, uma porcentagem de redução de 12,96 % no tratamento com brita, e 74,07 % no tratamento com pneu.

A análise estatística confirma essa diferença entre os tratamentos, sendo que com a aplicação do teste F, obteve-se que os tratamentos diferem significativamente entre si, ao nível de 5 % e 1 % de significância.

A diferença entre os tratamentos pode ser observada graficamente, na figura 21.



**Figura 21.** Gráfico dos valores obtidos para a  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

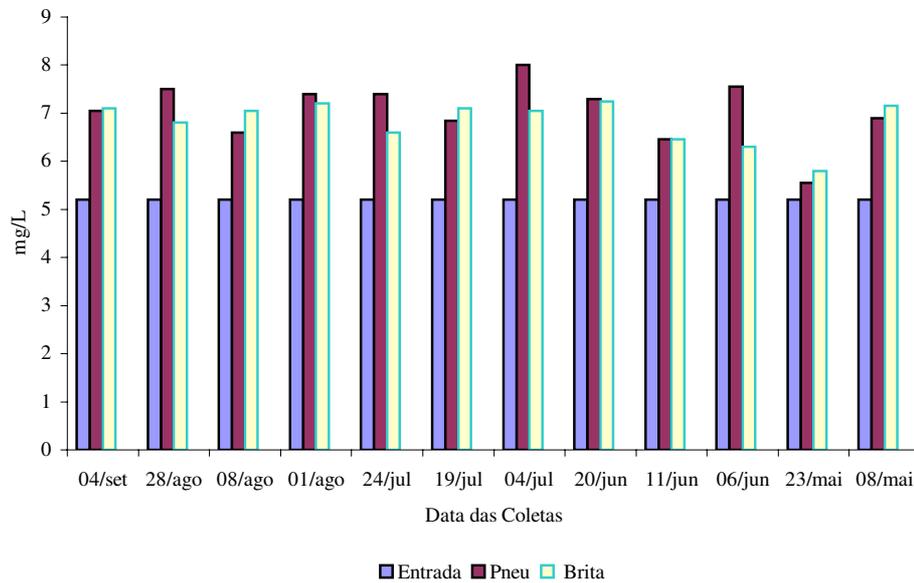
## 5. 2. 6. Fósforo

### 5. 2. 6. 1. P

Em comparação com a média de entrada 5 mg/L, tem-se que os tratamentos, ao invés de reduzirem os valores médios, promoveram um aumento no teor de P do efluente final, pois para o tratamento com brita o valor médio encontrado foi de 6 mg/L, e no tratamento com pneu o valor médio foi de 7 mg/L.

Estatisticamente, não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos, ao nível de 5 % e de 1 % de significância.

Os resultados podem ser conferidos graficamente, através da figura 22.



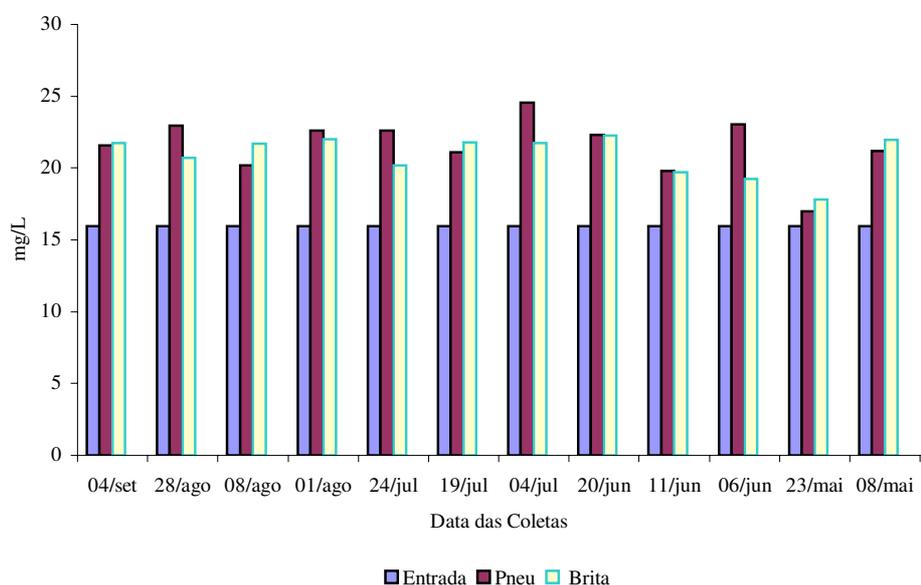
**Figura 22.** Gráfico dos valores obtidos para P.

#### 5. 2. 6. 2. $PO_4^-$

A média dos tratamentos com brita e com pneu foi, respectivamente, de 20, e 21 mg/L. Já a média encontrada na entrada dos leitos foi de 15 mg/L.

A tendência demonstrada pelas médias obtidas nos tratamento é confirmada pela estatística, pois com a aplicação do teste F, tem-se que não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos, ao nível de 5 % e de 1 % de significância.

Graficamente, pode-se observar a similaridade dos resultados obtidos nos dois tratamentos (figura 23).



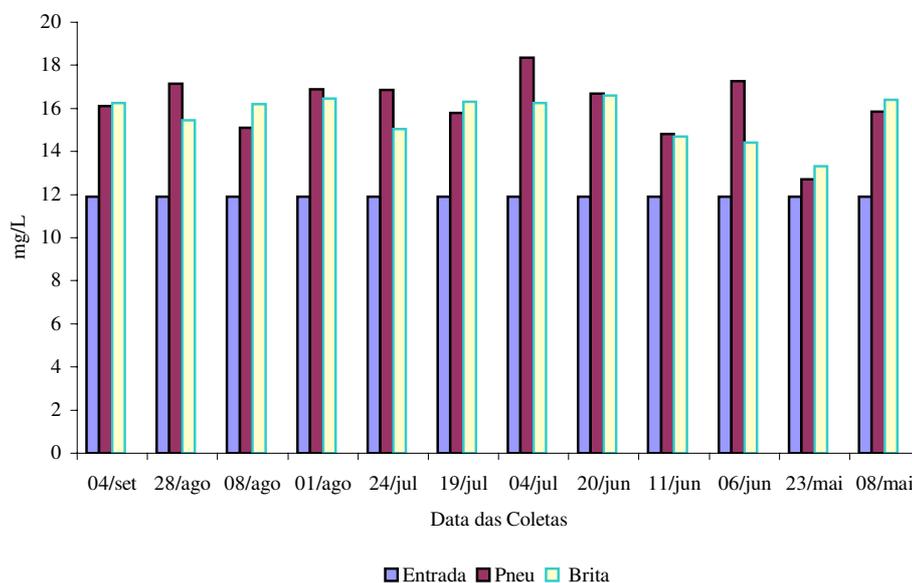
**Figura 23.** Gráfico dos valores obtidos para PO<sub>4</sub>.

### 5. 2. 6. 3. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Os valores médios obtidos na saída dos leitos foram de 15 e 16 mg/L para, respectivamente, os tratamentos com brita e com pneu. Na entrada dos leitos, a média obtida foi de 11 mg/L.

As médias dos tratamentos apresentam-se semelhantes, indicando uma tendência de similaridade entre os tratamentos. Com a análise estatística, pode-se confirmar que realmente não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos, ao nível de 5 % e de 1 % de significância.

Graficamente, esses resultados estão representados na figura 24.



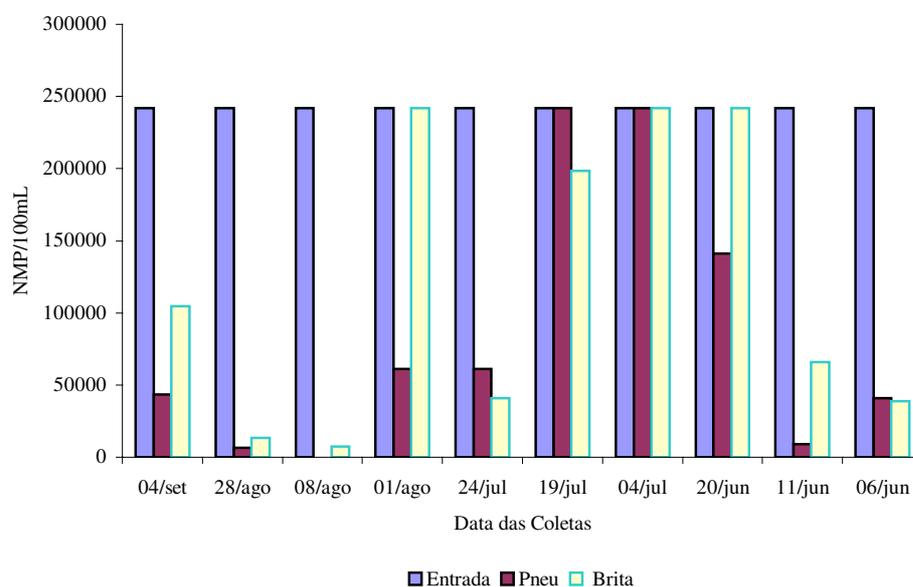
**Figura 24.** Gráfico dos valores obtidos para  $P_2O_5$ .

### 5. 2. 7. Coliforme total

De uma maneira geral, pelas médias obtidas na saída dos leitos, nem o tratamento com brita (média de 98589 NMP/100 ml), nem o tratamento com pneu (média de 78960 NMP/100 ml), atingiram o valor determinado na legislação de 5000 NMP/100 ml para águas de Classe 2, apesar de apresentarem uma redução de cerca de 59,25 % para o primeiro tratamento e 67,36 % para o segundo tratamento, quando comparados com a média da entrada de 2241920 NMP/100 ml.

De acordo com os resultados do teste F, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas aos níveis de 5 % e 1 % de significância.

Na figura 25, foram representados os valores para coliforme total,.



**Figura 25.** Gráfico dos valores obtidos para coliforme total.

**Quadro 7.** Valores obtidos para coliforme total, na saída dos leitos cultivados com brita e com pneu como meio suporte.

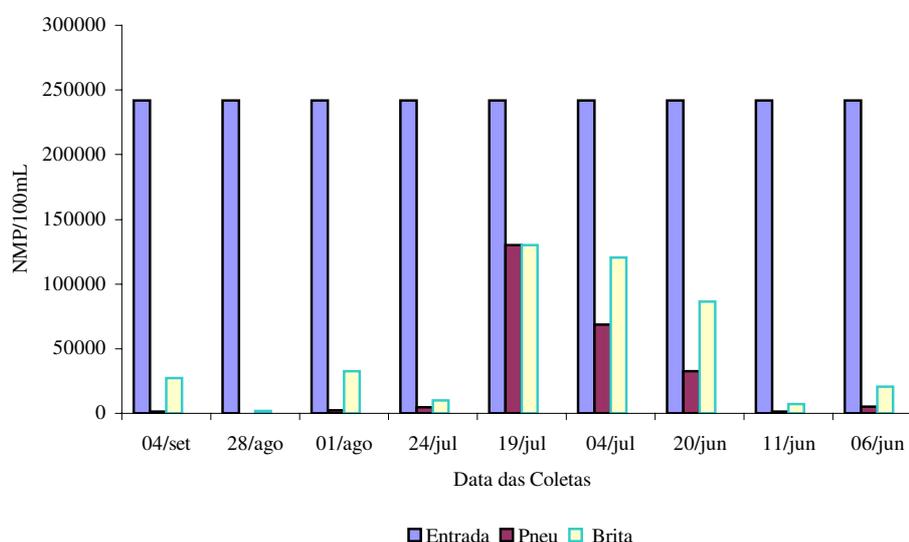
COLIFORME TOTAL		
Pneu	Brita	Data
43520	104620	04/set
6630	13330	28/ago
200	7270	08/ago
61310	241920	01/ago
61310	41060	24/jul
241920	198630	19/jul
241920	241920	04/jul
141360	241920	20/jun
9060	65860	11/jun
41060	38730	06/jun

### 5. 2. 8. *E. coli*

Os valores médios obtidos para a saída dos leitos com brita e com pneu, foram de, respectivamente, 43717 e 24741 NMP/100 ml, sendo que dessa forma, os mesmos não se enquadram no limite de 4000 NMP/100 ml exigido para as águas Classe 2.

Contudo, os tratamentos apresentaram uma boa porcentagem de remoção de patógenos com aproximadamente 81,93% para o leito com brita como meio suporte e 89,77% para o leito com pneu.

O gráfico dos valores obtidos para *E.coli* (figura 26), também apresenta dificuldade na escala para a sua representação, devido a amplitude dos valores a serem representados (conforme quadro 8).



**Figura 26.** Gráfico dos valores obtidos para *E. coli*.

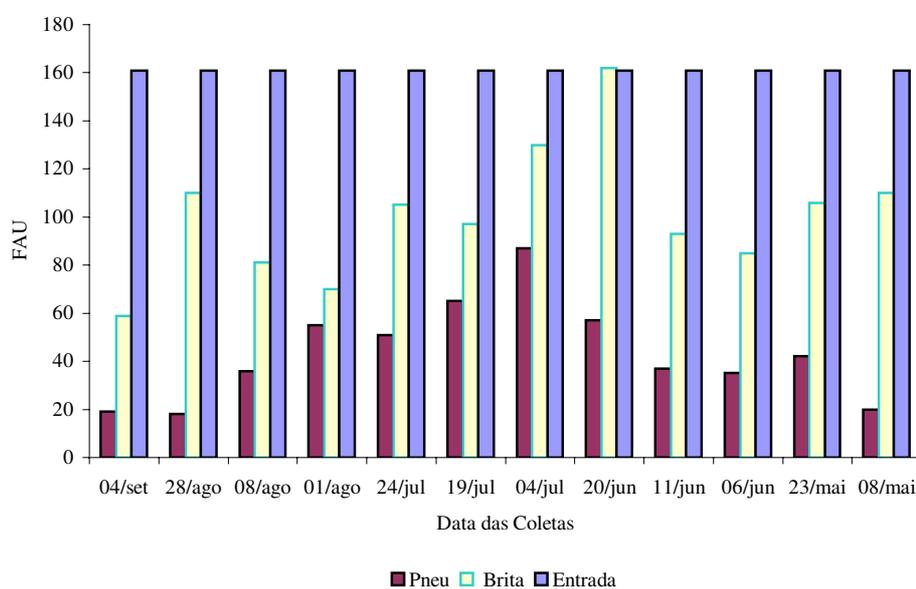
**Quadro 8.** Valores obtidos para *E. coli*, na saída dos leitos cultivados com brita e com pneu como meio suporte.

<i>E. coli</i>		Data
Pneu	Brita	
1560	27550	04/set
100	1890	28/ago
2620	32550	01/ago
4880	10140	24/jul
129970	129970	19/jul
68670	120330	04/jul
32550	86640	20/jun
1610	7330	11/jun
5450	20460	06/jun

### 5. 2. 9. Turbidez

No tratamento com brita encontrou-se uma média de 100,67 FAU, e para o tratamento com pneu o valor foi de 43,5 FAU, que quando comparadas com a média da entrada (161 FAU), tem-se uma redução de 37,47 % para o primeiro tratamento e uma melhoria de 72,81 % na turbidez para o segundo tratamento.

Os melhores resultados apresentados pelo leito cultivado com o pneu como meio suporte, pode ser observado graficamente, na figura 27.



**Figura 27.** Gráfico dos valores obtidos para turbidez.

Estatisticamente, os tratamentos apresentaram diferenças significativas entre si, tanto a 5 %, como a 1 % de significância, confirmando a tendência identificada nas médias.

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

- A aplicação de pneus como meio suporte para os leitos cultivados apresenta-se como uma alternativa, uma vez que de uma maneira geral, apresenta resultados similares ou até melhores que leitos cultivados com pedra britada como meio suporte. Contudo, ainda faltam muitos estudos, tanto para a utilização e manejo dos leitos cultivados, como para verificar a aplicabilidade do pneu no sistema;
- Na literatura fica clara a necessidade de se avaliarem adaptações, conforme as condições locais (como por exemplo: o tipo de clima) onde deverá ser implantado os leitos cultivados. Na revisão sobre o estado da arte, muitas são as dificuldades relatadas que vão desde a dificuldade em manejar adequadamente o sistema até os critérios técnicos mais adequados ao local em questão, para se projetar o sistema com melhor desempenho. Esse estudo fica como uma contribuição ao estado da arte desse sistema que começa a se desenvolver no Brasil;
- Dentre as dificuldades encontradas, muitas serviram como aprendizado para os próximos leitos cultivados a serem construídos, como a interferência do sombreamento da floresta de *Pinnus* sp. nos leitos cultivados, que demonstrou a importância dos fatores naturais dentro desse sistema;
- A utilização das avaliações estatísticas em análises laboratoriais deve ser aplicada com muito cuidado, a fim de se evitar distorções quando os resultados são comparados com a legislação vigente que adota valores exatos para o enquadramento dos efluentes no padrão de emissão;
- O comportamento do pneu em meio aquoso é um dos requisitos para a utilização de pneu como meio suporte nos leitos cultivados. Avaliações específicas de características do pneu como material, deveriam ser realizadas de modo a garantir que o pneu não gera qualquer tipo de interferências e contaminações no meio ambiente.

## 7. BIBLIOGRAFIA

ALBERS, P. H.; CAMARDESE, M. B. Effects of acidification on metal accumulation by aquatic plants and invertebrates. 1. Constructed wetlands. US Fish and Wildlife Service, Laurel, MD, USA **Environmental Toxicology and Chemistry**, v12, i6, p959-967, June 1993.

ALBERTSON, M. L. Constructed wetlands for wastewater treatment - a proposed research program. Colorado State Univ, Ft. Collins, CO, USA Proceedings of the **ASCE Wetlands Engineering River Restoration Conference**, (6), 1998.

AUSTIN, T. Yesterday's swamp. **Civil Engineering (New York)**, v60, i8, p36-39, August 1990.

BATCHELOR, A.; BOCARRO, R.; PYBUS, P.J. Low-cost and low-energy wastewater treatment systems. A South African perspective. CSIR, Pretoria, S Afr. **Water Science and Technology**, v24, i5, p241-246, 1991.

BAVOR, H. J.; ANDEL, E. F. Nutrient removal and disinfection performance in the Byron Bay constructed wetland system. Univ of Western Sydney-Hawkesbury, Richmond, Aust. **Water Science and Technology**, v29, i4, p201-208, 1994.

BHAMIDIMARRI, R., et al. Constructed wetlands for wastewater treatment. The New Zealand experience. Massey Univ, Palmerston North, NZ. **Water Science and Technology**, v24, i5, p247-253, 1991.

BERG, J. A. Constructed wetlands storm water quality treatment. Proceedings of the **ASCE Wetlands Engineering River Restoration Conference**, (6), 1998.

BIOTES, B. C. Constructed wetlands in the Czech Republic - survey of the research and practical use Zakova, Zdenka. **Water Science and Technology**, v33, i4-5, p303-308, 1996.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7ª edição. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898 p.

DACACH, N. G. **Saneamento básico**. 3ª edição. Rio de Janeiro: EDC – Ed. Didática e Científica, 1990. 293 p.

DENNY, P. Implementation of constructed wetlands in developing countries. Int Inst for Infrastructural Hydraulic and Environmental Engineering, Delft, Neth. **Water Science and Technology**, v35, i5, p27-34, 1997.

DONALD, S.; REED, S C. Inventory of constructed wetlands in the United States Brown. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, USA. **Water Science and Technology**, v29, i4, p309-318, 1994.

DRIZO, A.; et al. Physico-chemical screening of phosphate-removing substrates for use in constructed wetland systems. Univ of Edinburgh, Edinburgh, UK. **Water Research**, v33, i17, p 3595-3602, 1999.

FISHER, P.J.; et al. P. Environmental engineering initiatives in servicing Sydney's future urban development. **Water Board National Conference Publication - Institution of Engineers**, Australia, i92, pt 5, p91-96, 1992.

GELLER, G. Horizontal subsurface flow systems in the German speaking countries: summary of long-term scientific and practical experiences; recommendations. Ing.-Büro Oekolog, Augsburg, Ger. **Water Science and Technology**, v35, i5, p157-166, 1997.

GOMES, F.P. **A estatística moderna na agropecuária**. Piracicaba, SP: Potafos, 1984. 160 p.

GREEN, M.; SAFRAY, I.; AGAMI, M. Constructed wetlands for river reclamation: experimental design, start-up preliminary results. Technion, Haifa, Isr. **Bioresource Technology**, v55, i2, p157-162, February 1996.

GREENWAY, M. Nutrient content of wetland plants in constructed wetlands receiving municipal effluent in tropical Australia. Griffith Univ, Aust. **Water Science and Technology**, v35, i5, p135-142, 1997.

HAMMER, D. A. **Creating freshwater wetlands**. Chelsea: Boca Raton: Lewis Publishers, 1992. 298p.

HOEHNE, F. C. **Plantas Aquáticas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 1979. 168 p.

HOUSE, C.H.; BROOME, S.W.; HOOVER, M.T. Treatment of nitrogen and phosphorus by a constructed upland-wetland wastewater treatment system. North Carolina State Univ, Raleigh, NC, USA. **Water Science and Technology**, v29, i4, p177-184, 1994.

JENSSEN, P.D.; MAEHLUM, T.; KROGSTAD, T. Potential use of constructed wetlands for wastewater treatment in northern environment. **Water Science and Technology**, v28, i10, p149-157, 1993.

KOHN, D. ENR Polishing an ecological jewel. (Engineering News-Record), v.231, i6, p29-31, August 1993.

KOOB, T.; BARBER, M. E.; HATHHORN, W. E. Hydrologic design considerations of constructed wetlands for urban stormwater runoff. Washington State Univ, Pullman, WA, USA. **Journal of the American Water Resources Association**, v35, i2, p 323-331, 1999.

LEME, F. P. **Engenharia do Saneamento Ambiental**. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos, 1982. 354 p.

LUND, L. J. Nitrogen balance in a pond system receiving tertiary effluent. Univ of California, Riverside, CA, USA. **Journal of Environmental Quality**, v28, i4, p 1258-1263, 1999.

MACKNEY, B. .J. Constructed wetlands in effluent disposal. Byron Shire Council, Aust **National Conference Publication - Institution of Engineers**, Australia, i91, pt 14, p179-183, 1991.

MANDI, L.; BOUHOUM, K.; OUAZZANI, N. Application of constructed wetlands for domestic wastewater treatment in an arid climate. Université Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco. **Water Science and Technology**, v38, i1 pt 1, p 379-387, 1998.

MANSOR, M.T.C. Uso de Leito de Macrófitas no Tratamento de Águas Residuárias, 1998. 106 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas.

MARGARET; S., J., S. Artificial wetlands for wastewater treatment, water reuse and wildlife in Queensland, Australia Greenway. Griffith Univ, Nathan, Aust. **Water Science and Technology**, v33, i10-11, p221-229, 1996.

PANSWAD, T.; CHAVALPARIT, O. Water quality and occurrences of protozoa and metazoa in two constructed wetlands treating different wastewaters in Thailand. Chulalongkorn Univ, Bangkok, Thail. **Water Science and Technology**, v36, i12, p183-188, 1997.

PRAHA-Ujezd, C. Low cost wastewater treatment Grau, Petr. *AquaNova Int.* **Water Science and Technology**, v33, i8, p39-46, 1996.

PRICE, T.; PROBERT, D. Role of constructed wetlands in environmentally-sustainable developments. Cranfield Univ, Bedford, UK. **Applied Energy**, v57, i2-3, p129-174, Jun-Jul 1997.

REED, S. C. Constructed wetlands for wastewater treatment. **BioCycle**, v32 i1, p44-49, January 1991.

REED, S.C.; BROWN, D. Water Environment Research. Subsurface flow wetlands. A performance evaluation. **USA E.E.C, Norwich, VT**, v67 i2, p244-248, Mar-Apr 1995.

REED, S.C.; CRITES, R.W. & MIDDLEBROOKS, E. J. **Natural Systems for Waste Management and Treatment**. 2<sup>a</sup> ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, Inc., 1995. 433p.

RISSKOV, D. Functions of macrophytes in constructed wetlands Brix, Hans. Univ of Aarhus. **Water Science and Technology**, v29 i4, p71-78, 1994.

ROSTON, D.M. Uso de várzeas artificiais para tratamento de efluente de tanque séptico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, 1994, Campinas, SP. **Anais...** Campinas, 1994. n. 94 – 7 –210.

SANSANAYUTH, P.; et al. Shrimp pond effluent: Pollution problems and treatment by constructed wetlands. Environmental Research and Training Cent, Pathumthani, Thail. **Water Science and Technology**, v34, i11, pt 7, p93-98, 1996.

SCHONERKLEE, M.; et al. Tertiary treatment in a vertical flow reed bed system - a full scale pilot plant for 200-600 P.E. Austrian Research Cent Seibersdorf, Seibersdorf, Austria. **Water Science and Technology**, v35, i5, p223-230, 1997.

SCHREIJER, M.; et al. Use of constructed wetlands to upgrade treated sewage effluents before discharge to natural surface water in Texel Island, the Netherlands – pilotstudy. Water Board of Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier, Edam, Neth. **Water Science and Technology**, v35, i5, p231-237, 1997.

TAI, C. C.; ADKINS, M.; RAO, D. V. Design of a constructed treatment wetland for restoring an estuary lagoon. Div of Engg, Palatka, FL, USA. **Proceedings of the ASCE Wetlands Engineering River Restoration Conference**, (6), 1998.

UEHARA, M. Y. & VIDAL, W. L. Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas. Série Manuais. CETESB. 1991, 91 p.

U.S.E.P.A. **Design Manual on Constructed and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment**. EPA/625/1-88/022, CERI, Cincinnati – OH/USA. 1988. 83p.

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

VIEIRA, S.; HOFFMANN, R. **Estatística experimental**. São Paulo, SP: Atlas, 1989. 179p.

VON SPERLING, M. Associação entre a legislação brasileira de qualidade de água (resolução CONAMA 20/86) e a seleção de processos de tratamento de esgotos. **Revista Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 3, n.1 e 2, p 67-73. Jan - jun/1998.

VON SPERLING, M. “Princípios do tratamento biológico de águas residuárias”. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental /UFMG, Belo Horizonte/MG, 2ª ed., vol.1, 1995. 240 p.

VYACHESLAV G.; et al. Use of constructed wetlands for the treatment of run-off and drainage water the UK and Ukraine experience Magmedov. Ministry of Environmental Protection and Nuclear Safety, Kharkiv, Ukraine. **Water Science and Technology**, v33, i4-5, p315-323, 1996.

VYMAZAL, J. Constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic the fir5 years experience. Ecology and Use of Wetlands, Praha, Czech Republic. **Water Science and Technology**, v34, i11, pt 7, p159-164, 1996.

WHITE, G.C.; SMALLS, I.C.; BEK, P.A. Carcoar wetland - A wetland system for river nutrient removal New South Wales Dep of Water Resources, Aust. **Water Science and Technology**, v29, i4, p169-176, 1994.

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

WORRALL, P.; PEBERDY, K.J.; MILLETT, M.C. Constructed wetlands and nature conservation. Penny Anderson Associates, Cheshire, Engl. **Water Science and Technology**, v35, i5, p205-213, 1997.

YOUNG, P. 'New science' of wetland restoration. **Environmental Science and Technology**, v30, i7, p292-296, July 1996.

ZAKOVA, Z.; et al. Influence of diffuse pollution on the eutrophication and water quality of reservoirs in the Morava river basin. BIOTES, Brno, Czech Republic. **Water Science and Technology**, v28, i3-5, p79-90, 1993.