

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE WETLANDS CONSTRUÍDAS
PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS**

Eneas Salati

Eneas Salati Filho

Eneida Salati

Instituto Terramax - Consultoria e Projetos Ambientais LTDA

End: Rua Sta. Cruz, 40 – CEP:13419-020 – Piracicaba/SP

Tel.(019) 3434.0800 –(019) 34331637

e-mail: instituto.terramax@gmail.com

Piracicaba / SP

04/04/2009.

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE *WETLANDS* CONSTRUÍDAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS

1. *WETLANDS* CONSTRUÍDAS

As *wetlands* construídas são ecossistemas artificiais com diferentes tecnologias, utilizando os princípios básicos de modificação da qualidade da água das *wetlands* naturais e que diferem principalmente das *wetlands* naturais pelo seu regime hidrológico, o qual é controlado.

Além do regime hidrológico e da qualidade da água, as *wetlands* construídas diferem também das naturais no seu substrato o qual é projetado para otimizar a condutividade hidráulica do sistema; outra grande diferença que existe é a biodiversidade encontrada nos dois sistemas (construídos e naturais).

As *wetlands* construídas são, pois tipos de sistemas artificiais manejáveis, que tem despertado acentuado interesse mundial. Segundo WETZEL (1993) isto se deve em parte ao movimento preservacionista *de wetlands* naturais, tendo em vista que o seu uso indevido provocou profundas alterações descaracterizando estas áreas.

A utilização de *wetlands* construídas como sistemas de tratamento de águas residuais têm se intensificado nestas últimas décadas. Estes sistemas têm sido matéria de muitas discussões, as quais apresentam um ponto positivo: o desenvolvimento de pesquisas e experimentos conduzindo para um maior conhecimento e experiências nessa linha de pesquisa (HARBEL, 1997).

Segundo KADLEC & KNIGHT (1996), o principal objetivo da utilização de sistemas de *wetlands* construídas, é a melhoria da qualidade da água, seguido por objetivos secundários, tais como: produção fotossintética, produção de energia, podendo também ser utilizados recreacionalmente, comercialmente e para educação humana.

Há muitos registros na literatura de estudos e experiências de utilização de *wetlands* naturais ou construídas na remoção de nutrientes e contaminantes de esgotos urbanos e industriais. Os resultados desses trabalhos são bastante variáveis em função,

basicamente, dos tipos de espécies químicas presentes nesses efluentes, da carga dos mesmos à área alagável e do tipo *wetlands* construídas utilizada.

No Brasil, a primeira tentativa de utilização de sistemas *de wetlands* construídas para purificação de águas foi feita por SALATI & RODRIGUES (1982), com a construção de um lago artificial nas proximidades de um córrego altamente poluído (Rio Piracicamirim) localizado em Piracicaba/SP. As experiências iniciais foram satisfatórias e os trabalhos foram continuados a partir de 1985, pela Construtora Ambiental Ltda que posteriormente se transformou no Instituto de Ecologia Aplicada. Foram desenvolvidas novas tecnologias, procurando-se, especialmente aumentar a eficiência do sistema, diminuindo os investimentos.

Outros trabalhos, com utilização de sistemas *de wetlands* construídas, vêm sendo desenvolvidos no Brasil, dentre os quais cabe ressaltar: ROQUETE PINTO *et al* (1998) do Instituto Nacional de Tecnologia, VALENTIM & ROSTON (1998) da UNICAMP, GIOVANNINI & MOATTA MARQUES (1998) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e PHILIPPI *et al* (1998) da Universidade Federal de Santa Catarina.

Do ponto de vista da comunidade científica internacional, estes trabalhos vêm apresentando um grande avanço, sendo que foram realizadas conferências internacionais para a troca de informações e avaliação das eficiências dos diversos sistemas utilizados. Cerca de 1.000 trabalhos científicos foram apresentados em conferências internacionais realizadas de dois em dois anos desde 1986.

2. Técnicas de *Wetlands* Construídas

Várias técnicas de *wetlands* construídas foram desenvolvidas nestes últimos anos, as quais são utilizadas de acordo as características do efluente a ser tratado, da eficiência final desejada na remoção de nutrientes, contaminantes e outros poluentes, do interesse da utilização da biomassa produzida e do interesse paisagístico.

Um resumo dos sistemas de *wetlands* construídas utilizando macrófitas foi feito por BRIX (1993). Em princípio esses sistemas podem ser classificados como:

- a) Sistemas que utilizam plantas aquáticas flutuantes;
- b) Sistemas que utilizam plantas aquáticas emergentes.

Além dos sistemas acima citados, um outro foi projetado por SALATI (1987), utilizando solos filtrantes denominado Sistema DHS (Despoluição Hídrica com Solos - Patentes PI. 850.3030 e PI. 9600420-7). Este sistema sofreu uma variação para aumentar sua eficiência e para utilização em situações especiais de águas muito poluídas e que é conhecido como sistema DHS de fluxo ascendente, (SALATI FILHO *et al*, 1996).

A) *Wetlands* com Plantas Flutuantes

As macrófitas flutuantes formam um grande grupo de plantas abrangendo diversas espécies, e normalmente, são utilizadas em projetos com canais relativamente rasos (Figura1). Esses canais podem conter apenas uma espécie de plantas ou uma combinação de espécies. A espécie mais estudada é a *Eichornia crassipes* da família das pontederiáceas, pelas suas características de robustez associada à uma grande capacidade de crescimento vegetativo. Esta planta recebe diferentes nomes populares no Brasil, sendo conhecido como aguapé, baroneza, mururé, pavoá, rainha do lago, uapé e uapê.

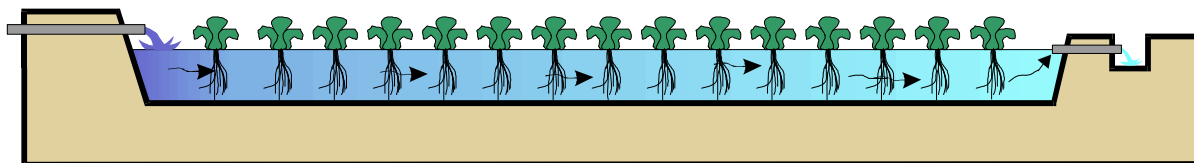


Figura 1: Desenho esquemático de um canal com plantas aquáticas flutuantes. São construídos normalmente canais longos e estreitos com aproximadamente 0,70 m de profundidade.

A utilização desta planta é devida a sua capacidade de resistir a águas altamente poluídas com grandes variações de nutrientes, pH, substâncias tóxicas, metais pesados e variações de temperatura. Por estas características, o aguapé, que é uma das plantas mais produtivas no mundo, tem apresentado problemas sérios nas regiões tropicais e sub-tropicais, nas quais pela sua capacidade de reprodução e crescimento tem apresentado problemas sérios no bloqueamento de canais e rios, prejudicando o tráfego de barcos, bem como, auxiliando na proliferação de vetores de doenças tropicais

(National Academy of Sciences, 1976). É importante salientar, no entanto, que esta capacidade de produção de biomassa que pode chegar a 5% ao dia, só ocorre em águas poluídas, especialmente esgoto urbano quando existe um aumento considerável da oferta de nutrientes.

Esta capacidade de crescimento e resistência e que faz com que o aguapé seja considerado uma praga, é utilizada nos sistemas de purificação hídrica. É utilizada para diferentes finalidades, entre as quais se destacam:

- Sistemas de tratamento terciário para remoção de nutrientes nos quais, especialmente o fósforo e o nitrogênio são incorporados à biomassa das plantas. A biomassa é removida freqüentemente de tal maneira a se manter o máximo de produtividade primária e para a remoção dos nutrientes incorporados (TRIVEDY & GUDEKAR, 1985). O nitrogênio também pode ser removido como consequência da dinitrificação microbológica.
- Sistemas integrando o tratamento secundário e terciário. Neste caso, além da remoção dos nutrientes existe também redução da DBO e da DQO. Neste processo existe degradação da matéria orgânica e transformações das formas nitrogenadas no canal de aguapé (SALATI, 1987). A colheita das plantas é feita para manter a produtividade e a eficiência do sistema. Muitos sistemas projetados com esta tecnologia incluem aeradores e o tempo médio de retenção da água depende das características do afluente, bem como dos parâmetros pretendidos para o efluente final. Os tempos de residência variam de 5-15 dias (DEBUSK *et al*, 1984). Tempo de residência de apenas 01 dia tem sido utilizado com sucesso (MANFRINATO, 1989).

A eficiência do aguapé na remoção de sólidos em suspensão está bem documentada. A maior parte dos sólidos em suspensão são removidos por sedimentação ou por adsorção no sistema radicular das plantas (DEBUSK *et al*, 1984). A cobertura densa dessas plantas flutuantes reduz os efeitos da mistura pelo vento, bem como minimiza as misturas térmicas. O sombreamento produzido pelas plantas restringe o crescimento de algas e o sistema radicular impede o movimento horizontal de material particulado (DINGES, 1982). Além disso, cargas elétricas associadas ao sistema radicular do aguapé reagem com partículas coloidais, causando a adsorção das mesmas. Desta forma,

estas partículas são removidas do líquido e são posteriormente decompostas lentamente por microorganismos associados à rizosfera das plantas (WOLVERTON, 1989; SALATI, 1987). A eficiência do aguapé na remoção de DBO e para produzir condições para nitrificação microbológica está associada com a sua capacidade de transporte de oxigênio do sistema foliar para a rizosfera (REDDY, K. R. *et al*, 1989; JEDICKE, A. *et al*, 1989).

Os sistemas de purificação de água utilizando aguapé estão suficientemente desenvolvidos para serem utilizados em regiões tropicais e subtropicais. Os critérios para projetos têm sido publicados por REDD *et al*. (1988); WEBER, & TCHOBANOGLIOUS (1986).

Outras espécies de plantas têm sido estudadas para a purificação de águas em sistemas utilizando plantas flutuantes. Assim, *Lemna*, *Spirodella* e *Wolffia* sp., têm sido investigadas, embora não com tanta frequência como o aguapé (NGO, 1987; SUTTON, & ORNES, 1975). Essas plantas conhecidas como “Duckweeds”, ocorrem numa área geográfica muito maior e podem crescer a temperaturas baixas da ordem de 1 a 3 °C. A principal finalidade dessas plantas que possuem pequeno sistema radicular é a remoção de nutrientes uma vez que adsorvem poucas partículas na rizosfera. Essas plantas cobrem a superfície evitando a penetração da luz e a produção de algas e plânctons e também criam condições mais adequadas que favorecem a dinitrificação. São de fácil manejo e contêm duas vezes mais proteínas, gordura, fósforo e nitrogênio que o aguapé (CULLY & EPPS, 1973; HILLMAN & CULLY, 1978). Os principais problemas no manejo são os ventos fortes que podem remover as plantas, sendo assim necessário o planejamento de barreiras flutuantes. O tempo de residência nestes sistemas é, em condições de verão (hemisfério norte), da ordem de 30 dias e no inverno de alguns meses (NGO, 1987).

Em resumo, a ação depuradora desses sistemas que utilizam plantas flutuantes é devido à:

- Adsorção de partículas pelo sistema radicular das plantas;
- Absorção de nutrientes e metais pelas plantas;
- Pela ação de microorganismos associados à rizosfera;
- Pelo transporte de oxigênio para a rizosfera.

As principais vantagens desses sistemas são:

- Baixo custo de implantação
- Alta eficiência de melhoria dos parâmetros que caracterizam os recursos hídricos
- Alta produção de biomassa que pode ser utilizada na produção de ração animal, energia e biofertilizantes

A utilização errônea do aguapé fez com que existam alguns preconceitos contra a utilização de sistemas com plantas flutuantes no Brasil. A confusão vem da comparação dos efeitos maléficos destas plantas nos lagos e represas que acabaram por ficar eutrofizados em decorrência do recebimento de afluentes industriais e urbanos com altos níveis de nutrientes. Realmente, nestas condições o manejo das plantas torna-se difícil e pela capacidade de proliferação nas condições climáticas reinantes, em pouco tempo elas podem ocupar grandes áreas das represas. É importante salientar que nas *wetlands* construídas com canais de plantas aquáticas e que são projetados para purificação hídrica dentro das recomendações técnicas, já está previsto um manejo não só da biomassa produzida como também de larvas de mosquito.

B) *Wetlands* com Plantas Emergentes

Estes sistemas de purificação hídrica utilizam plantas que se desenvolvem tendo o sistema radicular preso ao sedimento e o caule e as folhas parcialmente submersas. A profunda penetração do sistema radicular permite a exploração de um grande volume de sedimentos, dependendo da espécie considerada. As espécies típicas de macrófitas aquáticas emergentes são conhecidas de forma genérica pelo nome de juncos, que são plantas herbáceas de diversas famílias. As espécies mais utilizadas em projetos têm sido a *Phragmites australis*, a *Typha latifolia* e a *Scirpus lacustris*. Todas essas espécies são morfológicamente adaptadas para se desenvolverem em sedimentos inundados em decorrência dos grandes volumes de espaços internos capazes de transportar oxigênio para o sistema radicular (ARMSTRONG et al, 1991). Parte do oxigênio pode ainda sair do sistema radicular para a área em torno da risosfera criando condições de oxidação para os sedimentos que de outra forma seriam anaeróbicos, criando assim condição para decomposição de matéria orgânica, bem como para crescimento de bactérias nitrificadoras.

As macrófitas emergentes que possuem o sistema radicular fixo no substrato representam as formas dominantes das “wetlands” naturais. Estas plantas podem se desenvolver em situações nas quais o nível do lençol freático está 50 cm abaixo do nível do solo até situações nas quais o nível de água está 150 cm acima do nível do solo.

Podem ser reconhecidos 3 esquemas básicos para a utilização desta técnica de plantas aquáticas emergentes com a finalidade de purificação de águas:

- a) Macrófitas emergentes com fluxo superficial
- b) Macrófitas emergentes com fluxo sub-superficial horizontal
- c) Macrófitas emergentes com fluxo vertical

B.1) Sistemas com Macrófitas Emergentes com Fluxo Superficial

O esquema geral utilizando esta técnica está na Figura 2. É um dos mais antigos sistemas de “wetlands” construídas, com mais de 30 anos de operação na Holanda (GREINER & DE JONG, 1984). Um projeto típico consiste de um canal com 3-5 metros de largura e da ordem de 100 m de comprimento. No solo é cultivada uma planta típica dos sistemas naturais de “wetlands”, tais como *Phragmites australis*, *Typha latifolia* ou *Scirpus lacustris*. Uma lâmina de água de 10-40 cm é mantida sobre a superfície do solo. A purificação da água ocorre por diversos mecanismos de ação de microorganismos que ficam fixados no liter e na superfície do solo e na parte submersa da caule das plantas. Dependendo da legislação do país ou estado, o sistema deve ser implantado sobre camadas de argila e/ou mantas plásticas especiais.

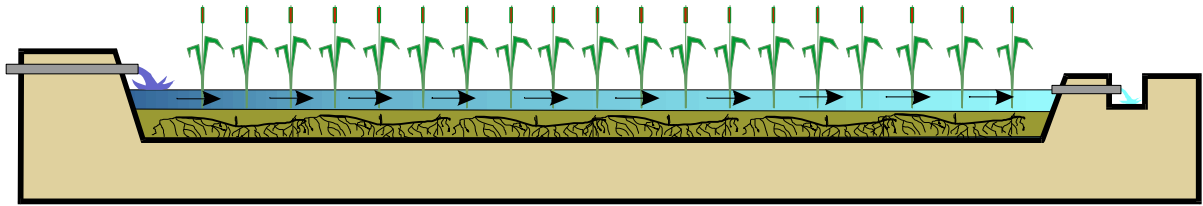


Figura 2: Desenho esquemático de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo superficial. A água a ser tratada escorre pela superfície do solo cultivado com plantas emergentes. Geralmente são construídos canais longos, sendo a lâmina de água variável.

B.2) Sistemas com Macrófitas Emergentes com Fluxo Horizontal Sub-Superficial

Um projeto típico está representado na Figura 3. O efluente a ser purificado é introduzido através de um colchão de pedriscos, procurando-se induzir um fluxo horizontal, em um lençol de pedras ou pedriscos, no qual estão cultivadas as plantas escolhidas para o sistema. Em geral são construídos canais estreitos e longos cujas dimensões dependem do projeto em particular. Sistemas deste tipo utilizando *Phragmites australis*, foram construídos em 1970 na Alemanha (BRIX, 1987; KICKUTH, 1977). Algumas centenas destes projetos foram construídas e estão em operação na Dinamarca, Alemanha, Inglaterra e nos Estados Unidos da América. As plantas têm duas funções importantes no processo, fornecendo oxigênio para os microorganismos na rizosfera e aumentando e estabilizando a condutividade hidráulica. O total de nutrientes retirado e armazenado nos tecidos das plantas é pequeno quando comparado com o total que existe na água afluyente ao sistema. As experiências obtidas com este tipo de sistema demonstram boa eficiência na remoção de sólidos suspensos e DBO (FINDLATER *et al*, 1990; SCHIERUP *et al*, 1990).

Dependendo do projeto e das condições da água a ser purificada observa-se também boa remoção de nitrogênio e fósforo. Os problemas que tem sido observado são o fluxo superficial que pode se formar, e em alguns casos, uma obstrução no sistema diminuindo a condutividade hidráulica.

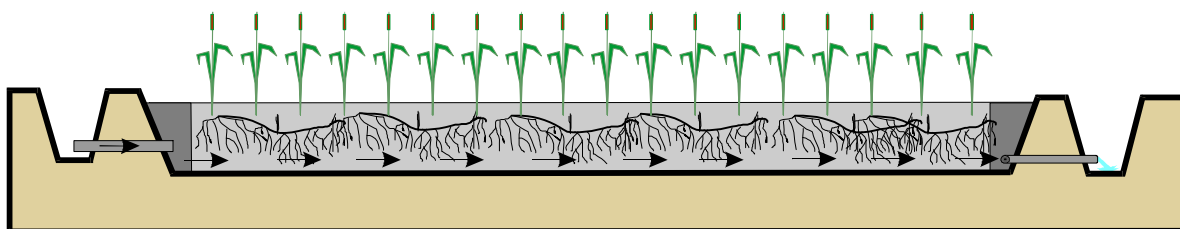


Figura 3: Desenho esquemático de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo sub-superficial. A água a ser tratada é mantida com fluxo horizontal em substrato formado por pedras, sendo cultivadas plantas emergentes. Em geral são construídos canais longos, sendo a espessura da camada das pedras variável, porém da ordem de 0,50 cm.

B.3) Sistema com Macrófitas Emergentes com Fluxo Vertical

Um sistema utilizando macrófitas emergentes com fluxo vertical (Figura 4) pode ser utilizado quando se requer maior condutividade hidráulica e maior oxigenação no sistema radicular (BRIX & SCHIERUP, 1990). As informações dos sistemas que utilizam esta tecnologia indicam boa remoção de sólidos suspensos, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Amônia e Fósforo. Uma alternância de funcionamento, permitindo uma drenagem total aumenta a oxigenação da rizosfera e do substrato (HILL & SAWHNEY., 1981).

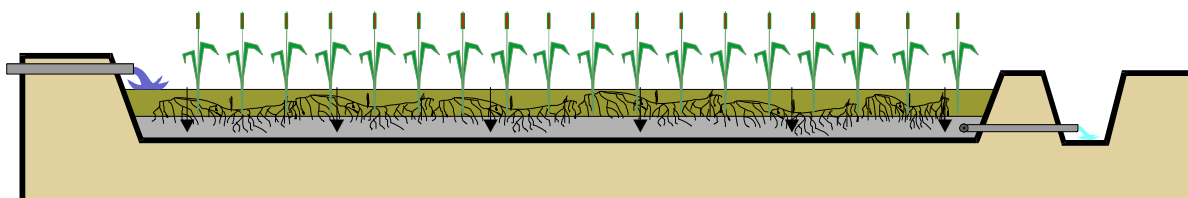


Figura 4: Desenho esquemático de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo vertical. A água a ser tratada deve ter um fluxo vertical em uma camada de solos sobre brita, no qual são cultivadas plantas emergentes. O desenho é variável, porém predominam os sistemas de canal longo com pouca profundidade.

C) Sistemas com Macrófitas Fixas Submersas

As macrófitas aquáticas submersas ficam totalmente submersas e quando são expostas ao sol, geralmente seus tecidos fotossinteticamente ativos são destruídos.

As espécies mais produtivas crescem, especialmente ou quase que exclusivamente, em água oligotróficas. As espécies mais encontradas são a *Isoetes Lacustris*, *Lobelia*

Dortmanna e a *Egéria* sp. As espécies mais produtivas como a *Elodea Canadensis*, proliferam em águas eutróficas.

A utilização destas macrófitas aquáticas submersas para purificação e controle de qualidade de águas, através de “wetlands” construídas, é feita através de canais estreitos e longos com profundidade variável, como indicado na Figura 5.

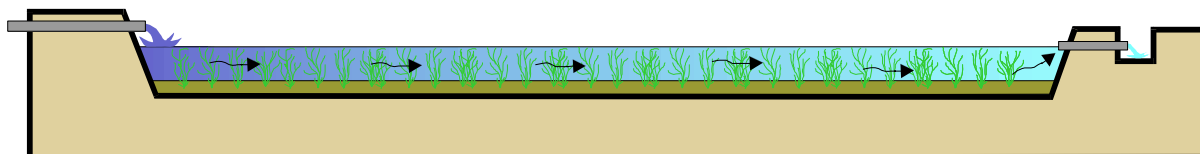


Figura 5: Desenho esquemático de um sistema com macrófitas fixas submersas. As macrófitas são cultivadas em um substrato com solo especial. A lâmina de água varia em torno de 1 m. A forma geométrica é normalmente de um canal longo.

Estas macrófitas podem absorver os nutrientes dos corpos hídricos. Como, porém, só se desenvolvem bem em águas bem oxigenadas, não têm sido recomendadas para tratamento de esgoto urbano, embora alguns experimentos tenham tido bom êxito mesmo para tratamento primário com *Elodea Nuttallii* (BISHOP & EIGHMY, 1989).

O principal uso potencial destas macrófitas submersas é o polimento de águas de esgoto após o tratamento “secundário”. Com o desenvolvimento de oxigênio na água pelo processo fotossintético durante o período diurno, altas taxas de oxigenação são obtidas, o que forma condições para a mineralização da matéria orgânica.

Os nutrientes absorvidos são acumulados preferencialmente nos tecidos radiculares e na microflora associada. A maior parte dos detritos orgânicos decorrentes da decomposição das plantas, ficam acumulados e retidos no sedimento dos canais especialmente projetados.

Os trabalhos de utilização desta técnica em sistemas de “wetlands” construídas está ainda em um estágio experimental, especialmente com a utilização das espécies *Egeria densa*, *Elodea canadensis*, *Elodea nuttallii*, *Ceratophyllum demersum* e *Hydrilla*

verticillata. Sua utilização tem sido recomendada para os estágios finais de sistemas de “wetlands “ construídas (MCNABB, 1976; REED *et al*, 1988).

D) Sistemas de Wetlands Com Solos Filtrantes (Sistema DHS – Patentes PI-850.3030 e PI. 9600420 - 7)

As *wetlands* com solos filtrantes são sistemas constituídos por camadas superpostas de brita, pedrisco e solo cultivado com arroz. As dimensões dos módulos de solos filtrantes, bem como a espessura da camada do solo, variam de acordo com o efluente a ser tratado e da eficiência que se deseja atingir. Pela experiência obtida pode-se filtrar até 100-300 l/s/ha.

A ação depuradora dos solos filtrantes se dá através de sua ação como filtro mecânico, filtro físico-químico e filtro biológico.

a) Ação de filtração mecânica: depende fundamentalmente da estrutura granulométrica do solo e da sua composição;

b) Ação de filtração físico-química: retenção de cátions e ânions. Esta ação está intimamente ligada à capacidade de troca catiônica do solo;

c) Ação biológica: exercida através de diversos mecanismos:

c.1) ação de microorganismos do solo que decompõem a matéria orgânica, ativam os processos biogeoquímicos e atuam sobre microorganismos que existem nas águas poluídas;

c.2) Ação de plantas que crescem nos solos e retiram nutrientes ao mesmo tempo em que mantêm a permeabilidade do solo através de seu sistema radicular.

Os solos filtrantes devem então ter características especiais, isto é, alto coeficiente de condutividade hidráulica e alta capacidade de troca catiônica, exigências que são atingidas com a incorporação de vermiculita expandida e matéria orgânica fibrosa, sendo que esta correção é dosada a cada caso em função da qualidade do solo disponível na região.

Os sistemas de solos filtrantes funcionam, dependendo do efluente a ser tratado, com fluxo descendente (Figuras 6 e 8) ou ascendente (Figuras 7 e 8).

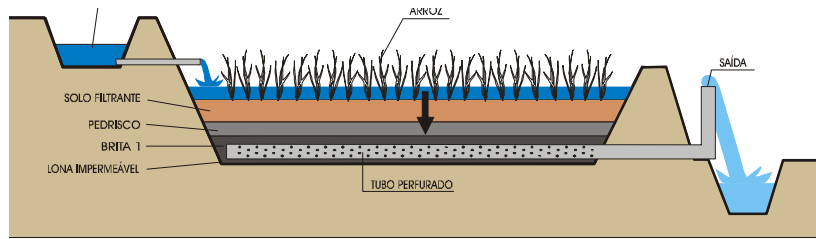


Figura 6: Desenho esquemático de um solo filtrante com fluxo descendente. A água a ser tratada é lançada sobre solo cultivado com arroz ou outra macrófita emergente

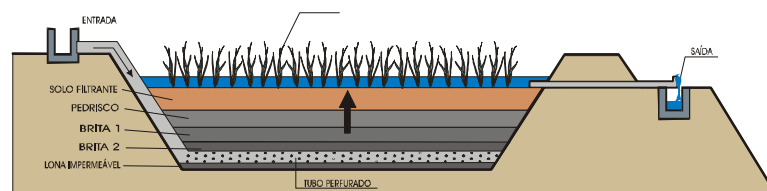


Figura 7 Desenho esquemático de um canal de solo filtrante com fluxo ascendente. A água a ser tratada é introduzida sob o sistema de drenagem sobre o qual está colocada a camada de solo filtrante.

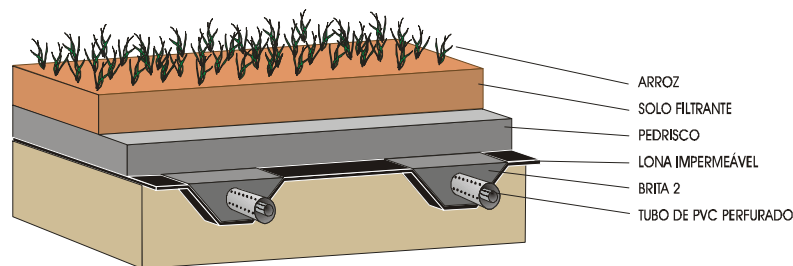


Figura 08: Desenho esquemático da estrutura de um solo filtrante. Este tipo de configuração é utilizada tanto para solos filtrantes de fluxo ascendente como para fluxo descendente.

O sistema de solo filtrante com fluxo ascendente é normalmente utilizado no tratamento secundário e terciário de esgoto urbano. As vantagens do funcionamento com fluxo ascendente são: diminui os custos do tratamento primário convencional associando-se esta tecnologia à fossas sépticas ou simplesmente caixas de decantação; evita o contato direto com o efluente a ser tratado, eliminando desta forma problemas de mau odores e proliferação de insetos.

Procurando se aumentar a eficiência do sistema DHS e diminuir ainda mais a eficiência necessária do tratamento primário, algumas modificações foram introduzidas para permitir uma remoção de partículas dos tubos de drenagem (Figuras 7 e 8). Neste tipo de projeto um tubo complementar de menor diâmetro e com perfurações menores é introduzido no tubo de drenagem convencional. Este tubo permite um sistema de dupla difusão e também a remoção do tubo central para limpeza e manutenção (SALATI, FILHO, 1996).

E) Sistemas de *Wetlands* Combinados

A utilização de um determinado tipo de *wetlands*, ou de uma combinação formando sistemas de *wetlands*, conforme mencionado anteriormente depende do problema a ser resolvido, da qualidade do efluente a ser tratado, da eficiência final desejada na remoção de poluentes e contaminantes, da área disponível, do interesse da utilização da biomassa produzida e do interesse paisagístico.

Tendo em vista que cada técnica de *wetland* tem maior eficiência para purificação de alguns parâmetros, alguns sistemas de purificação hídrica têm sido projetados utilizando uma combinação de técnicas (BRIX, 1993; SALATI, 1987).

Algumas plantas de purificação de água projetadas e construídas no Brasil demonstraram alta eficiência com a utilização destes sistemas combinados.

MANFRINATO (1989), em um projeto para purificação das águas do rio Piracicaba, utilizou um sistema composto de um canal de plantas aquáticas flutuantes seguidas por solos filtrantes (Sistema DHS - Despoluição Hídrica com Solos), conseguindo eficiências de 70% para DBO; 99% para coliformes totais e fecais; 70% para DQO; 90% para cor e 95% para turbidez.

3. Sistemas de *Wetlands* Construídos no Brasil

Os projetos desenvolvidos têm diferentes desenhos dependendo da sua finalidade. Em geral de acordo com o efluente a ser tratado, os projetos executados podem ser divididos em 4 grandes categorias (INSTITUTO DE ECOLOGIA APLICADA, 1997):

- Sistemas para purificação de grandes volumes de água, com a finalidade de recuperação de recursos hídricos ou pré-tratamento para Estação de Tratamento de Água (ETA).
- Sistemas para tratamento de esgoto urbano
- Sistemas para purificação de águas industriais.
- Sistemas para abastecimento de água industrial e urbana

Existem hoje no Brasil, implantadas várias estações de tratamento de efluente líquido utilizando sistemas de *wetlands* construídas que foram projetadas pelo Instituto de Ecologia Aplicada. Alguns exemplos são apresentados nas Tabelas 1 a 3.

Tabela 1 Principais projetos de Sistemas de Tratamento de Água para Abastecimento Público e Industrial realizados pelo Instituto de Ecologia Aplicada, utilizando Sistemas de Wetlands Construídas

Sistemas de Tratamento de Água para Abastecimento Público e Industrial Localização	Vazão	Solos Filtrantes	Canal com Plantas Aquáticas
Prefeitura Municipal de Piracicaba (Rio Piracicaba – SP) Estação Experimental	40 l.s ⁻¹	5.000 m ² fluxo descendente	4.320 m ²
IRCOSA - Indústria de Couros - Caruaru - PE Abastecimento industrial	12 l.s ⁻¹	1.500 m ² fluxo descendente	3.000 m ²
Prefeitura Municipal de Analândia (Córrego do Retiro – SP) Abastecimento público (6.480 habitantes)	15 l.s ⁻¹	2.016 m ² fluxo descendente	1.590 m ²
Parque Ecológico do Tietê (Rio Tietê, São Paulo – SP) Estação Experimental	0,6 l.s ⁻¹	135 m ² fluxo descendente e ascendente	325 m ²
SABESP – Carapicuíba (Rio Cotia – SP) Estação Experimental	1 l.s ⁻¹	26 m ² fluxo descendente	60 m ²
SABESP - Região do Baixo Cotia (Rio Cotia – SP Projeto)	1700 l.s ⁻¹	–	175.245 m ²
SANEPAR - Curitiba (Rio Palmital – PR) (Projeto)	1000 l.s ⁻¹	160.000 m ² fluxo descendente	530.000 m ²

Tabela 2 Principais projetos de Sistemas de Tratamento de Esgoto Doméstico, realizados pelo Instituto de Ecologia Aplicada, utilizando Sistemas de Wetlands Construídas.

Sistemas de Tratamento de Esgoto Doméstico Localização	Vazão	Tratamento Primário	Solo Filtrante	Canal com Plantas Aquáticas
Mineração Taboca, Vila de Pitinga - AM (4.000 habitantes)	10,2 l.s ⁻¹	Tanque de decantação	2.200 m ² fluxo ascendente	1.880 m ²
Cyanamid Química do Brasil, Iracemápolis - SP (50 habitantes)	0,08l.s ⁻¹	Gradeamento Tanque de decantação e Caixa de brita	20 m ² fluxo descendente	40 m ²
Condomínio Vila Romana, Piracicaba - SP (120 habitantes)	0,5 l.s ⁻¹	Tanque anaeróbico	94,5 m ² fluxo ascendente	74 m ²
ETE - Bairro de Emaús, Ubatuba - SP (300 habitantes)	0,52 l.s ⁻¹	Gradeamento Fossa séptica Caixa de brita	108,04 m ² fluxo ascendente	49,5 m ²
Albrás Alumínio Brasileiro S/A - Vila dos Cabanos, Barcarena-PA (13.000 habitantes)	67 l.s ⁻¹	Gradeamento Caixa de areia Biodigestor de fluxo ascendente Decantador Imhoff	3.300 m ² fluxo descendente	5.000 m ²
SEMAE - ETE Engenho Central I, Piracicaba – SP	1 l.s ⁻¹	Gradeamento Fossa séptica Caixa de brita	1.300 m ² fluxo ascendente 1.300 m ² fluxo descendente	–
SABESP, Barueri - SP Estação Experimental	0,1 l.s ⁻¹	Tratamento Convencional	26 m ² fluxo descendente	60 m ²
SABESP, Porangaba – SP Estação Experimental	0,1 l.s ⁻¹	Tanque de decantação	40 m ² fluxo ascendente e descendente	37,5 m ²
SEMAE – ETE Engenho Central II, Piracicaba - SP	6 l.s ⁻¹	Gradeamento Fossa séptica Caixa de brita	4.500 m ² upflow/ downflow 6.100 m ² downflow	12.200 m ²
Hotel Refúgio do Corsário, Ubatuba - SP (120 habitantes) (Projeto)	0,3 l.s ⁻¹	Fossa séptica Gradeamento Caixa de brita Caixa de areia	75 m ² fluxo ascendente/ descendente 60 m ² descendente	108 m ²

Tabela 3 Principais projetos de Sistemas de Tratamento de Efluentes Industriais, realizados pelo Instituto de Ecologia Aplicada, utilizando Sistemas de Wetlands Construídas

Sistemas de Tratamento de Efluentes Industriais Localização	Vazão	Tratamento Primário	Solo Filtrante	Canal com Plantas Aquáticas
Curtume Santo Antônio Ltda., São Sebastião do Paraíso - MG Estação Experimental	5 l.s ⁻¹	Canal de estabilização Caixa de brita	2.160 m ² fluxo descendente	520 m ²
Ripasa S.A. Celulose e Papel, Limeira - SP	10 l.s ⁻¹	Canal de estabilização	3.240 m ² fluxo descendente	–
Usina Costa Pinto S.A., Açúcar e Álcool, Piracicaba - SP	200 l.s ⁻¹	Canal de fermentação	10.000 m ² fluxo descendente	–

4. Eficiências para Alguns Parâmetros

Na relação a baixo estão as eficiências para os principais parâmetros em algumas estações de wetlands construídas. Dados detalhados dos demais parâmetros também existem porém no neste trabalho estão indicados aqueles mais importantes os mais relevantes.

Piracicaba – Estação para tratamento preliminar das águas do rio Piracicaba/SP - Saída do Sistema (40 L/s)

Eficiência: DBO e DQO: 70%, Coliformes Fecais e Totais : 99%, Cor: 90% Turbidez: 95%.

Estação de Tratamento de Esgoto

ETE- Albrás (Belém/PA) – 13.000 habitantes (67 L/s)

Sistema DHS e Canal de Macrófitas

Eficiência :Coliformes Totais: 99%; Coliformes Fecais : 99,9%; NT e PT: 70%; DBO: 80%, Turbidez: 90%

Estação de Tratamento de Esgoto

ETE-Cyanamid (Iracemápolis/SP) – 50 habitantes – 0,1 L/s Sistema DHS e Canal de Macrófitas

Eficiência: Cor: 75%, DBO: 80%, DQO: 73%, Turbidez: 97%, CF e CT 99,9 %

Estação de Tratamento de Esgoto

ETE – Pitinga/AM – 4.000 habitantes - 10,2 L/s

Sistema DHS

Eficiência: Cor: 70%, DBO: 80%, DQO: 70%, Turbidez: 95%, CF e CT: 99 %

ETE - Bairro de Emaús, Ubatuba /SP- Estação de Tratamento de Esgoto de 300 habitantes – 0,52 L/s

Tratamento Primário – Fossa séptica e gradeamento

Eficiência: Cor: 73%, DBO: 96,3%, DQO: 94,1%, Turbidez: 95%

ETE-Engenho – Piracicaba

Pop. Atendida: 1.100 hab

Vazão: 2,0 l/s

Tratamento primário, secundário e terciário

Eficiência: 80% para DBO

Estação de Tratamento Industrial –Usina Costa Pinto (Piracicaba/SP) 200 L/s – Sistema DHS

Tratamento Primário – Lagoa de sedimentação

Solo Filtrante : 10.000m²

Eficiência: DBO e DQO: 70 %

Parque Ecológico do Tietê.

Vazão: 0,5 l/s Área = 500 m²

Eficiência: DBO = 85% DQO = 85% Fósforo = 70% Nitrato = 90%

Patógenos = 99% Algas = 85%

ETA - ANALÂNDIA/SP – Canal de plantas flutuantes e Sistema DHS

6.480 habitantes – 15 l/s

Eficiência: Atinge os padrões de potabilidade

Várzea do Parelheiros

Vazão 4 m³/s – Área 50 ha

Projetado para atingir qualidade de água para abastecimento das estações convencionais de tratamento de água.

SANEPAR – CURIBA/PR

TRAMAENTO DO RIO RIO PALMITAL : 1 m³/s Área : 10 ha

Projetado para atingir qualidade de água para abastecimento das estações convencionais de tratamento de água.

5. BIBLIOGRAFIA

- ARMSTRONG, W., ARMSTRONG, J., BECKETT, P. M. & JUSTIN, S. H. F. W. Convective gas-flows in wetland plant aeration. In: *Plant Life Under Oxygen Deprivation*. M. B. Jackson, D. D. Davies, and J. Lambers, Eds. SPB Academic Publishing bv, The Hague, The Netherlands, 1991, 283.
- BISHOP, P. L. & EIGHMY, T. T. Aquatic wastewater treatment using *Elodea nuttallii*, *J. Water Pollut. Control Fed.* **61**:641, 1989.
- BRIX, H. & SCHIERUP, H. -H. Soil oxygenation in constructed reed beds: the role of macrophyte and soil-atmosphere interface oxygen transport. In: *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*. P. F. Cooper and B. C. Findlater, Eds. Advances in Water Pollution Control, Pergamon Press, Oxford, 1990, 53.
- BRIX, H. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants - the root-zone method. *Water Sci. Tech.* **19**:107, 1987.
- BRIX, H. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands System Design, Removal Processes and Treatment Performance. In: *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Ed. By Gerald A. Moshiri. Lewis Publishers, 1993.
- CULLY, D. D. & EPPS, E. A. Use of duckweed for waste treatment and animal feed, *J. Water Pollut. Control Fed.* **45**:337, 1973.
- DEBUSK, T. A., REDDY, K. R. T., HAYES, D. & SCHWEGLER, B. R. Jr. Performance of a pilot-scale water hyacinth-based secondary treatment system. *J. Water Pollut. Control Fed.* **61**:1217, 1989.
- DINGES, R. *Natural Systems for Water Pollution Control*. Van Nostrand Reinhold. New York, 1982.
- FINDLATER, B. C., HOBSON, J. A. & COOPER, P. F. Reed bed treatment systems: performance evaluation. In: *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, P.

- F. Cooper and B. C. Findlater, Eds. *Advances in Water Pollution Control*, Pergamon Press, Oxford, 1990. 193p.
- GIOVANNINI, S.G.T. & MARQUES, D. M. L. M. Conditioning Factors for Establishment of *Zizaniopsis bonariensis* in Constructed Wetlands. In: *International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, **6**. Eds Tauk-Tornisielo, S.M. and Salati, E.F. Proceeding. Águas de São Pedro, Brasil, p. 559- 568, 1998.
- GREINER, R. W. & JONG, J. The Use of Marsh Plants for the Treatment of Wastewater in Areas Designated for Recreation and Tourism, *RIJP Report*, **225**, Lelystad. The Netherlands, 1984.
- HILL, D. E. & SAWHNEY, B. L. Removal of phosphorus from wastewater by soil under aerobic and anaerobic conditions, *J. Environ. Qual.* **10**:401, 1981.
- HILLMAN, W. S. & CULLEY, D. D. JR. The uses of duckweed. *Am. Sci.* **66**:442, 1978.
- INSTITUTO DE ECOLOGIA APLICADA LTDA. *Relatórios Técnicos*, 1997.
- JEDICKE. A., FURCH, B., SAINT-PAUL, U. & SHLÜTER, U. B. Increase in the oxygen concentration in Amazon waters resulting from the root exudation of two notorious water plants. *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) and *Pistia stratiotes* (Araceae), *Amazonia*, **11**: 53, 1989.
- KADLEC, R.H. & KNIGHT, R.L. *Treatment Wetlands*. CRC Press, Boca Raton, Fl. 893pp. 1996.
- KICKUTH, R. Degradation and incorporation of nutrient from rural wastewaters by plant rhizosphere under limnic conditions. In: *Utilization of Manure by Land Spreading*, Comm. of the Europ. Communities, EUR 5672e, London, 1977, 335.

- MACNABB, C. D. The potential of submerged vascular plants for reclamation of wastewater. In: *Biological Control of Water Pollution*. J. Tourbier and R. W. Pearson, Eds. The University Press, Philadelphia, 1976, 120.
- MANFRINATO, E. S. “Avaliação do Método Edafo-fitopedológico para o Tratamento Preliminar de Águas”. Piracicaba-SP, 98 p. *Dissertação (Mestrado)*. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”. Universidade de São Paulo. 1989.
- NGO, V. Boosting pond performance with aquaculture. *Operations Forum*, **4**:20, 1987.
- PHILLIPI, L. S. & COSTA R. H. R. “Domestic Effluent Treatment Through Integrated System of Septic Tank and Root Zone. In: *International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, **6**. Eds Tauk-Tornisielo, S.M. and Salati, E.F. Proceeding. Águas de São Pedro, Brasil, p. 670- 679, 1998.
- REDDY, K. R., D’ANGELO, E. M. & DEBUSK, T. A. Oxygen transport through aquatic macrophytes: the role in wastewater treatment. *J. Environ. Qual.* **19**:261, 1989.
- REED, S. C., MIDDLEBROOKS, E. J. & CRITES, R. W. *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. McGraw-Hill, New York, 1988.
- ROQUETE PINTO, C. L.; PALADINO, L. T.; TEOBALDO, J. M; ANTUNES. Integrated Rural Sustainable Development with Aquatic Plants. In: *International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, **6**. Eds Tauk-Tornisielo, S.M. and Salati, E.F. Proceeding. Águas de São Pedro, Brasil, p. 660-669, 1998.
- SALATI, E. “Edaphic-Phytodepuration: A New Approach to Wastewater Treatment. In: *Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery*. Edited by K.R. Reddy and W.H. Smith. Magnolia Publishing Inc. Orlando, Flórida, 1987.
- SALATI, E. FILHO; MANFRINATO, E. S. & SALATI, E. Secondary and Terciary Treatment of Urban Sewage Utilizing the HDS System With Upflow Transport. In:

- International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, 5. Viena, Austria. Proceeding. Viena, Austria, IAWO, 1996. Volume I, p. VI/3-1-VI/3-6.
- SALATI, E.& RODRIGUES, N.S. De poluente a nutriente, a descoberta do aguapé. *Revista Brasileira da Tecnologia*, **13 (3)**: 37-42, 1982.
- SCHIERUP, H.-H., BRIX, H. & LORENZEN, B. . Wastewater treatment in constructed reed beds in Denmark - State of the art. In: *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, P. F. Cooper and B. C. Findlater, Eds. *Advances in Water Pollution Control*, Pergamon Press, Oxford, 1990. 495.
- SUTTON, D. L. & ORNES, W. H. Phosphorus removal from static sewage effluents using duckweed. *J. Environ. Qual.* **4**:367, 1975.
- TRIVEDY, R. K. & GUDEKAR, V. R. Water hyacinth for wastewater treatment: a review of the progress. In: *Current Pollution Researches in India*. R. K. Trivedy and P. K. Goel, Eds. 1985, 109.
- VALENTIM, M. A. A. & ROSTON, D. M. Project of Constructed Wetland for Treating Septic Tank Effluent. In: *International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, 6. Eds Tauk-Tornisielo, S.M. and Salati, E.F. Proceeding. Águas de São Pedro, Brasil, p. 126- 129, 1998.
- WEBER, A. S. & TCHOBANOGLOUS, G. Prediction of nitrification in water hyacinth treatment systems, *J. Water Pollut. Control Fed.* **58**:376, 1986.
- WETZEL, R. Constructed wetlands: Scientific foundations and critical. In: Moshiri, G.A ed. *Constructed Wetlands for water Improvement*. Pensacola, Florida, 1-8 p. 1993.
- WOLVERTON, B. C. Aquatic plant/microbial filters for treating septic tank effluent. In: *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Municipal, Industrial and Agricultural*. D. A. Hammer. Ed. Lewis Publishers, Chelsea. MI, 1989, 173.