



**Fundação Brasileira para o
Desenvolvimento Sustentável**

CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA

ATRAVÉS DE

SISTEMAS DE *WETLANDS* CONSTRUÍDOS

ENEAS SALATI

Diretor Técnico da FBDS

FBDS-Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável

Rua Eng. Álvaro Niemeyer, 76 – São Conrado
22610-180 Rio de Janeiro – RJ

Tel: (21) 3322-4520 – Fax: (21) 3322-5903

e-mail: salati@fbds.org.br

www.fbds.org.br

Índice

1. Introdução
2. Técnicas de “wetlands” construídas
 - 2.1. “Wetlands” com plantas flutuantes
 - 2.2. “Wetlands” com plantas emergentes
 - 2.2.1. Sistemas com macrófitas emergentes com fluxo superficial
 - 2.2.2. Sistemas com macrófitas emergentes com fluxo horizontal sub-superficial
 - 2.2.3. Sistemas com macrófitas emergentes com fluxo vertical
 - 2.3. Sistemas com macrófitas fixas submersas
 - 2.4. Sistemas de “wetlands” com solos filtrantes (Sistema DHS)
 - 2.5. Sistemas de “wetlands” combinados
3. Alguns sistemas de “wetlands” construídas em funcionamento no Brasil
4. Alguns sistemas de “wetlands” construídas nos Estados Unidos e no Canadá
5. Necessidade de pesquisas complementares
6. Conclusões
7. Literatura Citada

Resumo

Os sistemas de “wetlands” construídas tem sido utilizados em diversos países para recuperação dos recursos hídricos. No Brasil, as principais utilizações e recomendações tem sido:

- a) para pré-tratamento de água para diversas finalidades;
- b) para o tratamento secundário e terciário de esgoto urbano;
- c) para o abastecimento de água industrial e urbana;
- d) para purificação de grandes volumes de água para enquadramento de rios na Classe 2, a partir de rios atualmente com qualidade Classe 3 ou 4.

Neste trabalho é feita uma análise geral das técnicas de “wetlands” construídos e apresentados os sistemas construídos no Brasil e em outros países. São ainda apontadas as áreas que necessitam de pesquisas complementares para aumentar a eficiência dos sistemas e minimizar os investimentos.

1. Introdução

O termo “wetland” é utilizado para caracterizar vários ecossistemas naturais que ficam parcial ou totalmente inundados durante o ano.

As características e as propriedades desses ecossistemas variam grandemente dependendo da geologia, da geomorfologia e dos solos da área considerada, bem como das condições climáticas. As características ecológicas desses ecossistemas refletem ainda, a história da evolução biológica que acabaram por caracterizar a flora e a fauna associadas.

É do conhecimento geral que estes sistemas têm importantes funções dentro dos ecossistemas aonde estão inseridos, entre as quais se destacam:

- a) a capacidade de regularização dos fluxos de água, amortecendo os picos de enchentes;
- b) a capacidade de modificar e controlar a qualidade das águas;
- c) sua importância na função de reprodução e alimentação da fauna aquática, incluindo os peixes;
- d) a proteção à biodiversidade como área de refúgio da fauna terrestre e
- e) o controle da erosão, evitando o assoreamento dos rios.

As “wetlands” naturais são facilmente reconhecidas como as várzeas dos rios, os igapós na Amazônia, os banhados, os pântanos, as formações lacustres de baixa profundidade em parte ou no todo, as grandes ou pequenas áreas com lençol freático muito alto porém nem sempre com afloramento superficial, os manguezais; entre outros.

Os primeiros estudos realizados no Brasil decorreram das observações feitas nas várzeas amazônicas. Os lagos que existem ao longo do Rio Solimões e do próprio Amazonas, recebem água durante as cheias e, posteriormente, durante o período de vazante, alguns chegam a diminuir muito as áreas inundadas podendo quase tornar-se simplesmente áreas cobertas com vegetação, ficando apenas um resíduo do lago original (SIOLI, 1984). As características das águas dos rios ficam modificadas ao saírem desses lagos. Os nutrientes existentes, especialmente no rio Solimões, são utilizados para a produção de biomassa que alimenta a fauna associada. Da mesma forma, as águas dos rios que inundam as várzeas do Amazonas, sofrem modificações durante o período em que as mesmas estão sendo drenadas.

A primeira tentativa de utilização desta capacidade de modificação da qualidade das águas, no sentido de uma purificação realizada no Brasil através de sistemas de “wetlands” construídas, foi feita por SALATI, E. et al, (1982), com a construção de um lago artificial nas proximidades de um córrego altamente poluído (Rio Piracicamirim) na ESALQ (Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”), em

Piracicaba - SP, (SALATI, E., 1984). As experiências iniciais foram satisfatórias e os trabalhos foram continuados a partir de 1985. Foram desenvolvidas novas tecnologias, procurando-se, especialmente, aumentar a eficiência do sistema, diminuindo os investimentos.

Os sistemas de “wetlands” construídos são pois ecossistemas artificiais com diferentes tecnologias, utilizando os princípios básicos de modificação da qualidade da água das “wetlands” naturais.

Do ponto de vista da comunidade científica internacional, este 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 499 trabalhos científicos foram apresentados nestas conferências internacionais sendo que as principais foram:

- Conference on Research and applications of Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery, 1986 - Orlando, Flórida.
- International Conference on the Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control, 1990 - Cambridge-UK.
- International Specialist Conference on Wetland Systems in Water Pollution Control, 1992 - Sydney-Austrália.
- 4TH International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 1994, Guangzhou - People's Republic of China.
- 5TH International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 1996 - Viena-Austria.
- 6TH International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 1998 – Águas de São Pedro - Brasil.
- 7TH International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 2000 – Florida - EUA.
- 8TH International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 2002 – Tanzânia - Africa.
- 9TH International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 2004 – Avignon - França.
- 10TH International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, 2006 – Lisboa – Portugal.

2. Técnicas de “Wetlands” Construídos

Um resumo dos sistemas de ‘wetlands’ construídos utilizando macrófitas, foi feito por BRIX, H. (1993). Em princípio esses sistemas podem ser classificados como:

a) Sistemas que utilizam macrófitas aquáticas flutuantes (Figura 1).

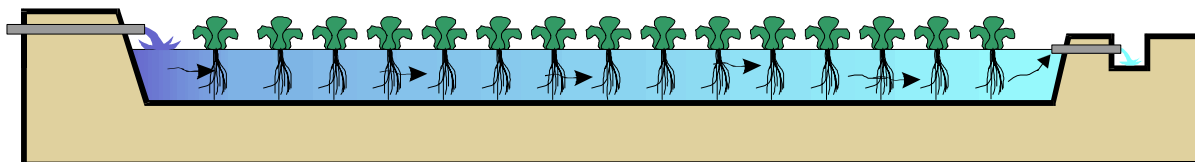


Figura 1: Desenho esquemático de um canal com plantas aquáticas flutuantes. São construídos normalmente canais longos e estreitos com aproximadamente 0,70 m de profundidade.

b) Plantas aquáticas emergentes. Neste caso existem 3 variações básicas de projeto indicados esquematicamente nas Figuras 2a , 2b e 2c.

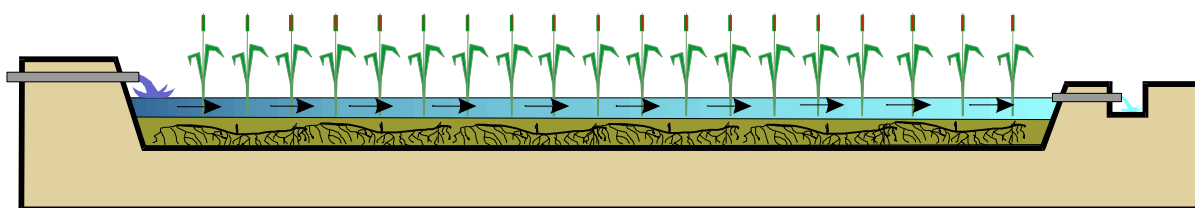


Figura 2a: Desenho esquemático de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo superficial. A água a ser tratada escorre pela superfície do solo cultivado com plantas emergentes. Geralmente são construídos canais longos, sendo a lâmina de água variável.

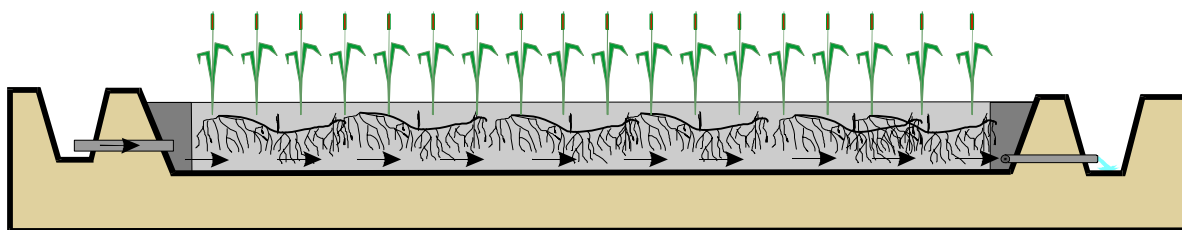


Figura 2b: Desenho esquemático de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo sub-superficial. A água a ser tratada é mantida com fluxo horizontal em substrato formado por pedras, sendo cultivadas plantas emergentes. Em geral são construídos canais longos, sendo a espessura da camada das pedras variável, porém da ordem de 0,50 cm.

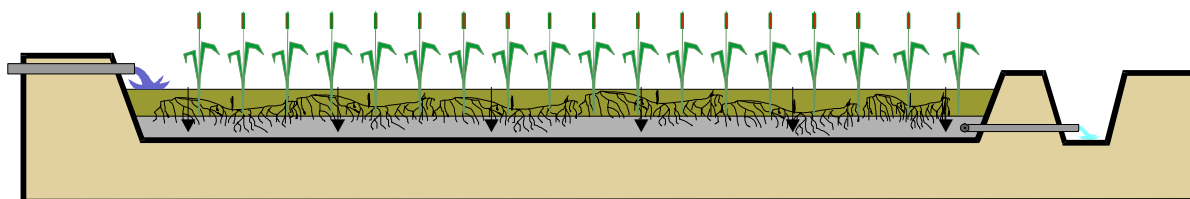


Figura 2c: Desenho esquemático de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo vertical. A água a ser tratada deve ter um fluxo vertical em uma camada de solos sobre brita, no qual são cultivadas plantas emergentes. O desenho é variável, porém predominam os sistemas de canal longo com pouca profundidade.

Além dos sistemas acima citados, um outro foi projetado por SALATI, E. (1987), utilizando solos filtrantes denominado Sistema DHS (Despoluição Hídrica com Solos). 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, E. FILHO et al, 1996). Estes sistemas estão indicados esquematicamente nas Figuras 3a e 3b.

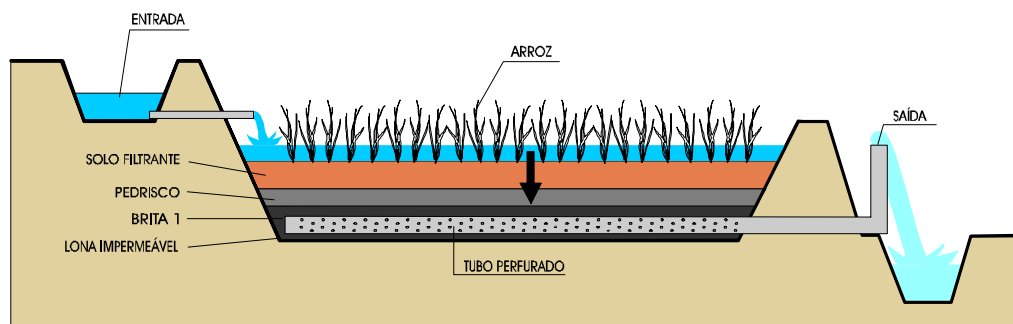


Figura 3a: Desenho esquemático de solos filtrantes com fluxo descendente. A água a ser tratada é lançada sobre solo cultivado com arroz ou outra macrófita emergente. O solo é colocado sobre um sistema de drenagem, especialmente projetado. Os projetos utilizam formas geométricas que mais se adaptem às condições do terreno e com o urbanismo desejado.

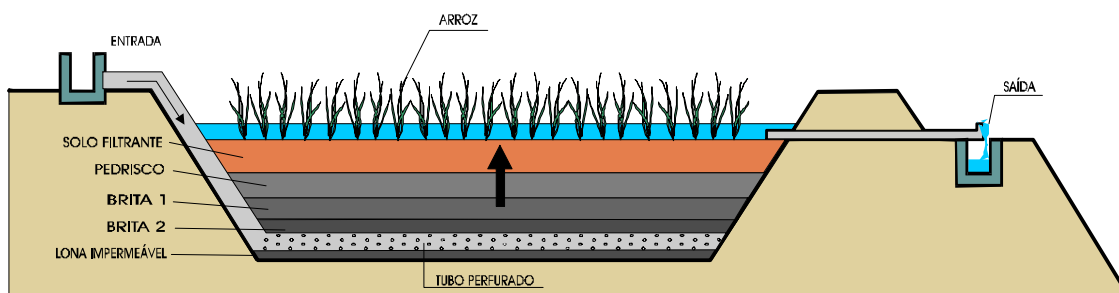


Figura 3b: Desenho esquemático de um canal de solo filtrante com fluxo ascendente. A água a ser tratada é introduzida sob o sistema de drenagem sobre o qual está colocada a camada de solo filtrante. Os projetos utilizam formas geométricas que mais se adaptem às condições do terreno e com o urbanismo desejado.

2.1. “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 (Figura 1). Esses canais podem conter apenas uma espécie de plantas ou uma combinação de espécies. A espécie mais estudada é a *Eichhornia crassipes* da família das pontederiáceas, pelas suas características de robustez associada a uma grande capacidade de crescimento vegetativo. Esta planta recebe diferentes nomes populares no Brasil, sendo conhecida como aguapé, baroneza, mururé, pavoá, rainha do lago, uapé e uapê.

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 restrições de uso 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 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 :

a) 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 frequentemente de tal maneira a se manter o máximo de produtividade primária e para a remoção dos nutrientes incorporados (TRIVEDI, R.K. and GUDEKAR, V.R., 1985). O nitrogênio também pode ser removido como consequência da dinitrificação microbiológica.

b) 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, E., 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, T.A., et al, 1984). Tempo de residência de apenas 01 dia tem sido utilizado com sucesso (MANFRINATO, E.S., 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, T.A., et al, 1989). 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, R., 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, B.C., 1989; SALATI, E., 1987). A eficiência do aguapé na redução de DBO e para produzir condições para nitrificação microbiológica 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 sub-tropicais. Os critérios para projetos têm sido publicados por REDDY, S.C. et al (1988); WEBER, A. S. and TCHOBANOGLIOUS G. (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, V., 1987; SUTTON, D. L. and ORNES, W. H., 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, D. D. and EPPS, E. A., 1973 ; HILLMAN, W. S. and CULLY, D. D., 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, V., 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.

2.2 “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 submersos. 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 tem sido a ***Phragmites australis***, a ***Typha latifolia*** e a ***Scirpus lacustris***. Todas essas espécies são morfologicamente adaptadas para se desenvolverem em sedimentos inundados em decorrência dos grandes volumes de espaços internos capazes de transportar oxigênio para o sistema radicular (ARMSTRONG, W. et al, 1991). Parte do oxigênio pode ainda sair do sistema radicular para a área em torno da rizosfera 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 (Figura 2a);
- b) Macrófitas emergentes com fluxo sub-superficial horizontal (Figura 2b);
- c) Macrófitas emergentes com fluxo vertical (Figura 2c).

2.2.1. Sistemas com Macrófitas Emergentes com Fluxo Superficial

O esquema geral utilizando esta técnica está na Figura 2a. É um dos mais antigos sistemas de “wetlands” construídos, com mais de 30 anos de operação na Holanda (GREINER, R. W. and DE JONG J., 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.

2.2.2. Sistemas com Macrófitas Emergentes com Fluxo Horizontal Sub-Superficial

Um projeto típico está representado na Figura 2b. 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, H., 1987; KICKUTH, R., 1977). Algumas centenas destes projetos foram construídos e estão em operação na Dinamarca, Alemanha, Inglaterra e nos Estados Unidos da América. As plantas tem 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, B. C. et al, 1990; SCHIERUP, H.-H. 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 observados são o fluxo superficial que pode se formar e, em alguns casos, uma obstrução no sistema diminuindo a condutividade hidráulica.

2.2.3. Sistema com Macrófitas Emergentes com Fluxo Vertical

Um sistema utilizando macrófitas emergentes com fluxo vertical pode ser utilizado quando se requer maior condutividade hidráulica e maior oxigenação no sistema radicular (BRIX, H.; and H. -H. 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, D. E. and B. L. SAWHNEY., 1981).

2.3. 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 águas 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.

Algumas destas plantas, especialmente a ***Elodea sp*** e a ***Egéria sp***, tem se tornado um sério problema ambiental com consequências econômicas na geração de energia elétrica. A situação mais crítica tem surgido na represa de Jupia, do complexo hidrelétrico da CESP. As águas do rio Tietê que saem das comportas ou das turbinas da hidrelétrica de Três Irmãos, apresentam-se com baixa turbidez, tendo porém concentrações razoáveis de nutrientes. Durante longos períodos o

canal formado à jusante da hidrelétrica de Três Irmãos (que está à montante da hidrelétrica de Jupia), propicia condições ótimas para o desenvolvimento destas macrófitas, especialmente da *Elodea* sp. Em períodos de maior vazão, com aumento da velocidade da água, uma enorme quantidade de biomassa é arrancada do fundo do canal, penetrando nas turbinas da hidrelétrica de Jupia. A proliferação destas macrófitas submersas com outras flutuantes tem trazido sérios problemas técnicos e econômicos para aquela hidrelétrica, e também potencialmente para outras hidrelétricas do Sistema Tietê - Paraná.

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 04.

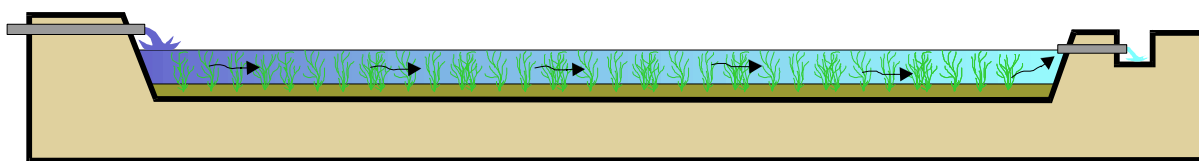


Figura 4: Desenho esquemático de um sistema com macrófitas fixas submersas. As macrófitas são cultivadas em um substrato com solo especial. A lâmina de água varia em torno de 1 m. A forma geométrica é normalmente de um canal longo.

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, P. L. and EIGHMY, T.T., 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” construídos estão 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, C. D., 1976; REED, S. C., MIDDLEBROOKS, E. J. and R. W. CRITES, 1988).

2.4. Sistemas De “Wetlands” com Solos Filtrantes (Sistema DHS)

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 (Figura 3a e Figura 5).

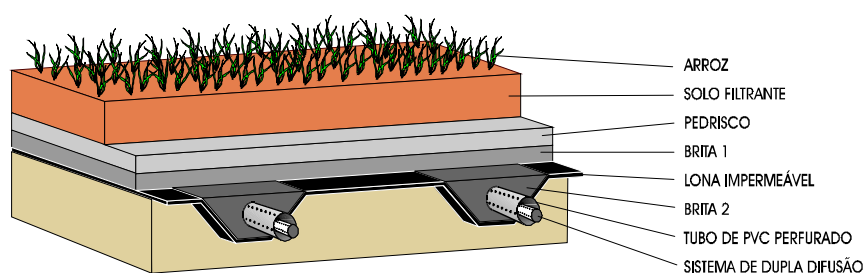


Figura 5: Desenho esquemático da estrutura de um solo filtrante. Este tipo de configuração é utilizada tanto para solos filtrantes de fluxo ascendente como para fluxo descendente. As dimensões e qualidade das camadas variam de acordo com as características do efluente a ser tratado.

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

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

b) Ação de filtragem 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 (Figura 3a) ou ascendente (Figura 3b e 5).

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 3b e 5). 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, E. FILHO, 1996).

2.5. Sistemas de “Wetlands” Combinados

A utilização de um determinado tipo de “wetland” ou de uma combinação formando sistemas de “wetlands” depende do problema a ser resolvido, da qualidade dos recursos hídricos, 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, H., 1993; SALATI, E., 1987).

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

MANFRINATO, E.S. (1989), em um projeto para purificação das águas do rio Piracicaba, utilizou um sistema composto de um canal de plantas aquáticas flutuantes seguido 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. Alguns Sistemas de “Wetlands” Construídos no Brasil

Os projetos desenvolvidos, tem 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:

- 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 implantadas no Brasil, várias estações de tratamento de efluente líquido utilizando SWC.

4 Alguns Sistemas de “Wetlands” Construídas nos Estados Unidos e no Canadá

Nas últimas décadas um grande número de sistemas de “wetlands” construídas tem sido implementado nos Estados Unidos, no Canadá, na Europa e na Ásia. Em especial, os sistemas na América do Norte são utilizados para polimento dos efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) e para o tratamento terciário com remoção de nutrientes. A sua utilização tem sido em especial para satisfazer a legislação no que diz respeito às concentrações dos compostos de fósforo e nitrogênio. São encontradas combinações de técnicas, mesclando canais com plantas flutuantes e plantas emergentes com fluxo superficial.

Na Tabela 01, estão indicadas as cidades onde estes sistemas encontram-se em funcionamento. Estão indicadas também a origem do efluente e o tipo de técnica de “wetlands” utilizada e nas colunas finais, as áreas ocupadas e também as vazões. Observa-se que existem sistemas muito pequenos (0,1 ha) até projetos de grande porte (500-1000 ha).

5. Necessidade de Pesquisas Complementares

No Brasil, os trabalhos científicos de pesquisa com sistemas de “wetlands” construídos, foram iniciados no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) / USP, no campus de Piracicaba, no período de 1981. Uma tese de mestrado foi defendida por MANFRINATO, E.S. (1989). Estes trabalhos se concentraram nas eficiências para redução de alguns parâmetros dos poluentes de córregos poluídos com esgoto urbano e industrial. A ênfase principal foi para a redução de coliformes, DBO, DQO, nutrientes e metais pesados. O primeiro grande projeto foi construído na Usina Costa Pinto - Piracicaba-SP, totalizando uma área de aproximadamente 1 ha. Trabalhos desse tipo utilizando diferentes técnicas se desenvolveram em outros países e os trabalhos publicados encontram-se nos anais dos congressos internacionais descritos no Capítulo 1.

Uma análise das publicações dos anais acima citados, indicam no entanto a necessidade de se aprofundar no conhecimento dos mecanismos que produzem as alterações nas composições das águas que estão sendo descontaminadas.

Tendo em vista que os processos ocorrem em diferentes situações, tais como: no corpo de água corrente; no solo; na rizosfera das plantas; na interface água-solo; na superfície das argilas ou das pedras, torna-se difícil, muitas vezes, o estudo dos mecanismos de transformação. Especial atenção tem sido recomendada para os seguintes temas:

- Transporte de oxigênio das folhas para o sistema radicular das macrófitas utilizadas;
- Processos aeróbicos e anaeróbicos de decomposição da matéria orgânica;
- Interações entre microorganismos dos sistemas despoluidores e patógenos dos efluentes diversos;
- Nos solos filtrantes, em particular, tem sido indicada a necessidade de estudos da dinâmica do processo a diferentes níveis da profundidade do solo, tanto para sistemas com fluxo ascendente como para descendente;
- Importância do transporte e difusão de oxigênio pelas plantas nos solos filtrantes a diferentes profundidades.
- Pesquisas de aprimoramento e taxas máximas de aplicação para diferentes sistemas de “wetlands”.

O aprofundamento dos conhecimentos científicos poderão permitir aperfeiçoamento nos projetos com a utilização de menores investimentos para os diversos sistemas utilizados.

6. Conclusões

A experiência brasileira e internacional tem demonstrado que:

- a) Os sistemas de “wetlands” construídos podem ser utilizados para purificação de água em diversas situações.
- b) É necessária uma caracterização científica dos componentes dos efluentes que se quer despoluir.
- c) O projeto e a técnica a serem utilizadas dependem das características do afluente, da área disponível e das características finais do efluente a ser produzido.
- d) As técnicas de “wetlands” podem ser utilizadas em sistemas isolados ou em combinação com outras técnicas de controle de plantas aquáticas.
- e) Embora sejam bem conhecidas as eficiências para diferentes parâmetros, falta ainda pesquisa básica para o estudo dos processos que ocorrem dentro dos sistemas de “wetlands”, especialmente na remoção de nutrientes.

7. Literatura Citada

- ARMSTRONG, W., ARMSTRONG, J. , BECKETT, P. M. and 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. and EIGHMY, T. T. Aquatic wastewater treatment using *Elodea nuttallii*, *J. Water Pollut. Control Fed.* 61:641, 1989.
- BRIX, H. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants - the root-zone method, *Water Sci. Tech.* 19:107, 1987.
- BRIX, H. and 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. 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. and EPPS, E. A. Use of duckweed for waste treatment and animal feed, *J. Water Pollute. Control Fed.* 45:337, 1973.
- DEBUSK, T. A., REDDY, K. R. T., HAYES, D. and SCHWEGLER, B. R. Jr. Performance of a pilot-scale water hyacinth-based secondary treatment system. *J. Water Pollute. 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. and 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. 193.
- GREINER, R. W. and JONG, J. de . *The Use of Marsh Plants for the Treatment of Wastewater in Areas Designated for Recreation and Tourism*, RIJP Report no. 225, Lelystad. The Netherlands, 1984.
- HILL, D. E. and SAWHNEY, B. L. Removal of phosphorus from wastewater by soil under aerobic and anaerobic conditions, *J. Environ. Qual.* 10:401, 1981.
- HILLMAN, W. S. and 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. and 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.
- JOHN, C. K. Treatment of agro-industrial wastes using water hyacinth, *Water Sci. Technol.* 17:781, 1984.
- 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 Europe. 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 Queiroz". Universidade de São Paulo. Tese defendida em 04 de maio de 1989.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Making Aquatic Weeds Useful: Some Perspectives for Developing Countries. Washington, DC., 1976.
- NGO, V. Boosting pond performance with aquaculture. *Operations Forum*, 4:20, 1987.
- REDDY, K. R., D'ANGELO, E. M. and 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. and CRITES, R. W. . *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. McGraw-Hill, New York, 1988.
- SALATI, E. and RODRIGUES, N.S. De poluente a nutriente, a descoberta do aguapé. *Revista Brasileira da Tecnologia*, 13 (3): 37-42, 1982.
- SALATI, E. Método fitopedológico de despoluição de águas. *Fundação Salim Farah Maluf*, 1984.
- 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 Tertiary Treatment of Urban Sewage Utilizing the HDS System With Upflow Transport". In: *International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, 5. Vienna, Austria. Proceeding. Vienna, Austria, IAWO, 1996. Volume I, p. VI/3-1-VI/3-6.

- SCHIERUP, H.-H., BRIX, H. and 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.
- SIOLI, H. The Limnology and landscape-ecology of a mighty river and its Basin, 1984.
- SUTTON, D. L. and ORNES, W. H. Phosphorus removal from static sewage effluents using duckweed. *J. Environ. Qual.* 4:367, 1975.
- TRIVEDY, R. K. and 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.
- WEBER, A. S. and TCHOBANOGLOUS, G. Prediction of nitrification in water hyacinth treatment systems, *J. Water Pollut. Control Fed.* 58:376, 1986.
- 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.