

POTENCIAL PARA A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE WETLANDS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS: UMA CONTRIBUIÇÃO A SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL¹

Potential for the Use of Wetland Systems in Wastewater Treatment: A Contribution to Sustainability of Water Resources in Brazil

Aníbal da Fonseca Santiago², Maria Lúcia Calijuri³ e Patrícia das Graças Luís⁴

¹ Trabalho convidado.

² Graduando em Engenharia Ambiental, Dep. de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa – DEC/UFV, 36570-000 Viçosa-MG, <anibaldumpt@yahoo.com.br>; ³ D.S., Professora Titular – DEC/UFV, <calijuri@ufv.br>; ⁴ D.S. – DEC/UFV, <pgluis@alunos.ufv.br>.

Resumo: Há uma estreita relação entre qualidade de vida, sustentabilidade dos recursos hídricos e controle de cargas poluidoras. Uma gama de doenças está relacionada à qualidade da água utilizada; estima-se que até 10% do tempo útil de trabalho no mundo seja desperdiçado devido às condições da água utilizada. O grande déficit nos serviços de saneamento básico no Brasil, principalmente no que diz respeito ao esgotamento sanitário, é preocupante e leva a uma constatação: há a necessidade de se optar por sistemas simplificados de coleta e tratamento de esgoto. Os sistemas de *wetlands*, principalmente os construídos, estão entre os chamados sistemas naturais de tratamento de esgotos, tecnologias promissoras devido às suas características de simplicidade de construção, operação e manutenção, à estabilidade dos processos envolvidos e ao custo efetivo. Esses sistemas têm apresentado alta eficiência na melhoria da qualidade de águas residuárias, indicando um grande potencial para utilização. Contudo, no Brasil, o seu uso ainda é incipiente.

Palavras-chave: Recursos hídricos, *wetlands*, sistemas de *wetlands* construídos e cargas poluidoras.

Abstract: There is a narrow relationship among life quality, water resources sustainability and pollutant load control. A range of diseases is related to the quality of the used water. Up to 10% of the useful time of work worldwide is considered to be wasted due to the water conditions. The great deficit in sanitation services in Brazil, mainly in terms of sewage systems, is worrisome, confirming the need to choose simplified systems of sewage collection treatment. Wetland systems, mainly the constructed ones, are among the so-called “natural sewage treatment systems”, promising technologies due to their characteristics of simplicity of construction, operation and maintenance, stability of the involved processes and effective cost. Those systems have shown to be highly efficient in improving wastewater quality, indicating a great potential for use. However, they are still incipient in Brazil.

Key words: Water resources, wetlands, constructed wetland systems, pollutant loads.

1 INTRODUÇÃO

A água é o recurso ambiental mais importante disponível na Terra, impulsionando, participando e dinamizando todos

os ciclos ecológicos. É o solvente universal, o componente fundamental da dinâmica da natureza, dando sustentação à vida. Sem água a vida na Terra não seria possível. Os sistemas aquáticos têm uma



grande diversidade de espécies úteis ao homem e são também parte ativa dos ciclos biogeoquímicos e da diversidade biológica do Planeta (TUNDISI, 2003).

Essas considerações induzem claramente à necessidade de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos como a única forma de garantir a disponibilidade de água em quantidade suficiente e qualidade adequada para as gerações presente e futura. A sustentabilidade dos recursos hídricos está intimamente ligada ao controle das cargas poluidoras que a eles chegam.

Geralmente, a carga orgânica que chega aos corpos d'água através do lançamento de águas residuárias ultrapassa a sua capacidade de suporte e resiliência. Essa condição é visível nas bacias hidrográficas urbanas cujos rios, córregos e ribeirões estão extremamente degradados. O problema não é apenas estético, pois altos índices de incidências de doenças estão relacionados com a água. Amendola et al. (2003), citando dados da Agenda 21^{1/}, relataram que 80% das doenças e um terço do número de óbitos nos países em desenvolvimento são causados pela ingestão de água contaminada e que até 10% do tempo produtivo de trabalho dessas regiões é desperdiçado em consequência das condições da água utilizada.

No Brasil há um grande déficit nos serviços de saneamento básico, principalmente no que diz respeito ao esgotamento sanitário, que inclui a coleta e o tratamento de esgoto. Em média, 40% da população tem acesso à rede coletora de esgoto. Entre 1989 e 2000 o serviço de saneamento

nos municípios cresceu apenas 10%, e os avanços ocorridos nesse período foram localizados em municípios de maior porte, principalmente naqueles das regiões mais desenvolvidas.

Segundo Chernicharo (1997), Diante desse enorme déficit sanitário... constata-se a necessidade por sistemas simplificados de coleta e tratamento de esgotos". De acordo com Andrade Neto e Campos (1999), dadas às condições ambientais, culturais e econômicas do Brasil, as soluções funcionalmente simples são as que fazem uso dos processos "mais naturais".

2 WETLANDS

Os chamados sistemas naturais de tratamento de esgotos se enquadram bem nos requisitos baixo custo e facilidade de operação do sistema e se diferenciam dos sistemas convencionais em relação à fonte de energia utilizada. Os sistemas naturais requerem a mesma quantidade de energia de *input* para degradar uma certa quantidade de poluente, porém valem-se para isso de fontes de energia renováveis, como radiação solar, energia cinética do vento e energia da água de chuva, da água superficial e da água subterrânea (KADLEC e KNIGHT, 1996). Na Figura 1 está um esquema que compara os tipos de energias de *inputs* utilizados pelos sistemas naturais e convencionais de tratamento de águas residuárias.

Ironicamente, os sistemas naturais de tratamento de águas residuárias são mais usados em países desenvolvidos do que em países em desenvolvimento, que, *a priori*, possuem melhores condições climáticas para seu emprego. Esses sistemas são caracterizados por uma grande complexidade biológica, com conseqüente alta robustez e estabilidade operacional, qualidades estas bastante requeridas no

^{1/} Agenda 21. Protection of the quality and supply of hydric resources: application of integrated criteria in the development, handling and use of hydric resources. Rio de Janeiro, 1996. Disponível em: <<http://www.agenda21.org.br/full/hidricos-full.htm>>. Acesso em: março de 2002.

contexto das comunidades em desenvolvimento (SHIPIN et al., 2004).

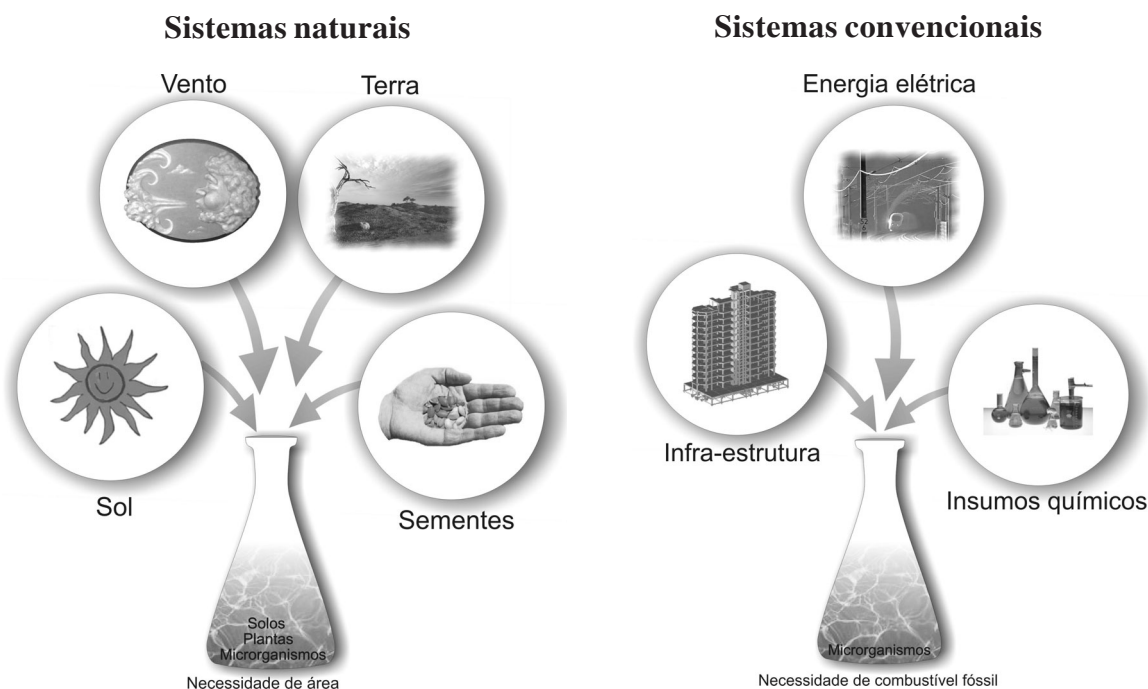
Segundo Haberl (1999), uma das tecnologias mais promissoras dentre os sistemas naturais de tratamento de esgotos são os sistemas de *wetlands*, utilizados devido às suas características de simplicidade de construção, operação e manutenção, à estabilidade dos processos envolvidos, ao custo efetivo, dentre outros.

2.1 O que são *wetlands*?

Uma definição única e simples de *wetland* não existe, pois esses ecossistemas variam muito devido às diferenças tanto regionais quanto locais do tipo de solo, topografia, clima, hidrologia, vegetação, presença de substâncias na água,

dentre outros fatores. Devido à capacidade de adaptação desses ecossistemas à maioria das condições climatológicas, eles são encontrados desde as tundras até os trópicos em todos os continentes, com exceção da Antártica (GOPAL, 1999; UNITED... - USEPA, 2003). Um outro fator que contribui para a dificuldade de uma definição única está no aspecto multidisciplinar dos estudos que envolvem as *wetlands*.

Wetlands são áreas de transição entre um sistema terrestre e um aquático. Sob o termo genérico *wetland*, estão agrupados diversos habitats úmidos como banhados, pântanos, brejos, zonas alagadiças, charcos, manguezais e áreas similares (ANJOS, 2003). Em comum, essas áreas apresentam como característica ou a



Fonte: Kadlec e Knight (1996), adaptado. (Source: Kadlec e Knight, 1996, adapt.).

Figura 1 - Comparação dos tipos de energias de *inputs* nos sistemas naturais e convencionais de tratamento de águas residuárias. (Comparison of the energy inputs to natural and conventional wastewater treatment technologies).

proximidade do lençol freático à superfície, ou mesmo na superfície, ou a área se encontra alagada.

De acordo com Cowardin (1979), em uma das definições mais aceitas hoje, as *wetlands* devem ter uma ou mais das três características: a) apresentar, pelo menos periodicamente, predominância de macrófitas; b) ter como substrato dominante um solo hidromórfico não-drenado; e, ou, c) ter um substrato inorgânico, por exemplo pedregulho, saturado ou encoberto pelo lençol freático durante algum tempo durante a época de germinação a cada ano.

2.2 Importância das *wetlands*

A importância das *wetlands* vem de longo tempo: os combustíveis fósseis foram, em tempos remotos, produzidos e preservados nos ambientes pantanosos comuns no Período Carbonífero (MITSCH e GOSELINK, 1993). A importância, até hoje, das culturas de arroz e papiro, plantas de áreas alagadas, para as civilizações africana, que se desenvolveu às margens do rio Nilo, e asiática, que se desenvolveu às margens dos rios Tigre e Eufrates, fornece uma idéia do valor das áreas alagadas ou inundáveis para esses povos (ANJOS, 2003). Coe (2000) mostra evidências de utilização das *wetlands* pela civilização Maia Clássica.

A expressão função de um ecossistema descreve um processo ou uma série de processos que nele ocorre como resultado da interação mútua entre plantas, animais e outros organismos do ecossistema entre si e entre o meio (NATIONAL... - NRC, 2004). Para Richardson (1996)^{2/}, citado por Anjos (2003), as principais

funções que as *wetlands* desempenham podem ser observadas no fluxo hidrológico, com descarga e recarga de aquíferos; na produtividade biológica, através das produções primária e secundária; na biogeoquímica do ambiente, através dos ciclos biogeoquímicos do carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre; no habitat e na preservação da fauna e flora, e até de comunidades humanas; no controle de enchentes e sedimentos; no uso do sistema como atenuantes de cargas poluidoras; no uso da área para aspectos estéticos e educacionais; e na pesquisa histórica, cultural e arqueológica.

Quanto especificamente à utilização das *wetlands* para tratamento de águas residuárias, pode-se afirmar que essa não é uma descoberta nova. Kadlec e Knight (1996) trazem informações que corroboram a idéia de que as *wetlands* naturais têm sido utilizadas para tratamento e disposição de águas residuárias provavelmente “há tanto tempo quanto as águas residuárias têm sido coletadas”. Os autores sugerem também que os primeiros pesquisadores enveredaram-se por esse ramo de estudos, baseando-se em observações da “aparente capacidade de tratamento das *wetlands* naturais”. As pesquisas iniciais datam dos anos 1950 na Europa e 1960 nos Estados Unidos (USEPA, 2000).

2.3 Sistemas de *wetlands* construídos para redução de cargas poluidoras

Os mecanismos de tratamento utilizados pelas *wetlands* naturais para melhoria da qualidade das águas, que por esses *habitats* passam, envolvem processos químicos, físicos e biológicos, onde solo, microrganismos, plantas e animais nativos atuam de forma integrada para transformação e armazenamento de matéria orgânica e nutrientes (HILL e PAYTON, 2000; USEPA, 2000).

^{2/} RICHARDSON, C. J. Wetlands. In: MAYS, L. W. (Ed.) WATER resources handbook. New York: McGraw-Hill, 1996. p. 13.1-13.39.

Os sistemas de *wetlands* construídos têm como objetivo simular as condições ideais de tratamento das *wetlands* naturais, com as vantagens de oferecem flexibilidade quanto à escolha do local de implantação, às condições de otimização da eficiência de remoção de matéria orgânica e de nutrientes, ao maior controle sobre as variáveis hidráulicas e à maior facilidade quanto ao manejo da vegetação (KADLEC e KNIGHT, 1996; KIVAISI, 2001; LIM et al., 2001; SOLANO et al., 2004).

A seguir estão relacionados os processos que ocorrem dentro dos sistemas de *wetlands* construídos, que, em maior ou menor intensidade, contribuem para a melhoria da qualidade da água tratada por esses sistemas (UNEP, 2004):

- Denitrificação, com conseqüente remoção do nitrato.
- Adsorção de íons amônio e de metais pelos argilominerais.
- Adsorção de íons metálicos, de pesticidas e de compostos à base de fósforo pela matéria orgânica e a complexação de íons metálicos pelos ácidos húmicos e outros polímeros orgânicos.
- Decomposição de matéria orgânica biodegradável, tanto aeróbica quanto anaerobicamente.
- Remoção de patógenos por microrganismos. Neste processo, a radiação ultravioleta desempenha um importante papel.
- Retirada de metais pesados e outras substâncias tóxicas por macrófitas.
- Decomposição de compostos orgânicos tóxicos através de processos anaeróbicos.

Quanto à eficiência desses sistemas, Kadlec (2003) apresentou um estudo no qual dados de eficiência de 21 projetos foram analisados. Os sistemas avaliados

apresentaram carga hidráulica entre 0,14 e 55 cm por dia, áreas entre 0,02 e 200 ha e latitudes entre 30 e 54° N. Os valores médios de eficiência encontrados foram 67% para sólidos suspensos totais, SST; 61% para demanda biológica de oxigênio, DBO; 61% para nitrogênio amoniacal, $\text{NH}_4\text{-N}$; 48% para fósforo total; e 99,8% para coliformes fecais. Relatos de eficiência dos sistemas de *wetlands* construídos quanto à remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos e nutrientes incluem os trabalhos de Wallace e Knight (2004), Kadlec (2004), Ansola et al. (2003) e Nzengy'a e Wishitemi (2001). Além dos poluentes listados, Polprasert e Koottatep (2004) e Neralla et al. (2000) relataram a eficiência na remoção de patógenos de mais de três unidades logarítmicas. A eficiência na remoção de metais pesados foi verificada por Brix (1994), Kadlec (1996), Obarska-Pempkowiak e Klimkowska (1999) e Pastor et al. (2003).

2.3.1 Tipos de sistemas de *wetlands* construídos

Os sistemas de *wetlands* construídos podem ser agrupados em duas grandes classes: *wetlands* de fluxo superficial (FS) e *wetlands* de fluxo subsuperficial (FSS) (KADLEC e KNIGHT, 1996). Alguns autores propõem uma divisão em três classes, separando os FSS em FSS de fluxo horizontal e FSS de fluxo vertical.

Os sistemas de fluxo superficial (FS) (Figura 2) apresentam um fluxo sobre a superfície, com uma altura de lâmina d'água tipicamente menor que 0,4 m, passando através da vegetação de macrófitas aquáticas emergentes. Essa condição melhora a hidráulica do sistema e aumenta a provisão de *habitat* para a vida selvagem (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Nos sistemas de *wetland* de fluxo subsuperficial (FSS) (Figura 3) não há uma coluna d'água sobre a superfície do

terreno. O fluxo de águas residuárias passa pelo substrato, onde entra em contato com uma mistura de bactérias facultativas associadas com o substrato e com as raízes das plantas. A altura do substrato é tipicamente menor que 0,6 m (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Devido às suas características de funcionamento, os sistemas de *wetland* FS e FSS apresentam eficiências distintas quanto à remoção dos poluentes mais comuns presentes nas águas residuárias. Nos primeiros, a extensão de remoção de matéria orgânica e dos sólidos suspensos é maior devido à alta eficiência hidráulica do sistema, caracterizada por baixas velocidades de fluxo e elevado tempo de detenção hidráulica. Já nos FSS, acontece a maior remoção dos nutrientes nitrogênio e fósforo e de metais pesados, devido à grande variedade de processos que ocorrem dentro do solo (USEPA, 2000).

Um estudo apresentado em 2004 pela *Water Environmental Research Foundation* (WERF) mostrou que os sistemas FSS são mais usados que os FS para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. O principal motivo verificado foi

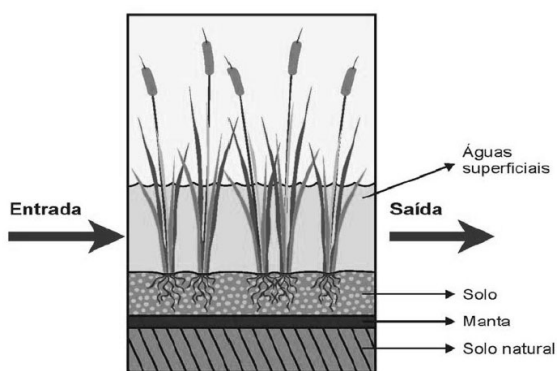
que os FSS, por não apresentarem uma superfície de água exposta, minimizam uma eventual exposição do público a patógenos. Nelson et al. (2003) também chamam a atenção para esse fato e assinalam ainda dois pontos importantes: os FS têm fama de potencial fonte de odor e podem apresentar proliferação de mosquitos.

Mesmo com os “pontos negativos”, são inegáveis o apelo estético e a oportunidade de suporte à vida silvestre que pode vir a se desenvolver nos sistemas de fluxo superficial, o que, de acordo com alguns autores, tem feito com que esse tipo de tratamento de águas residuárias conquiste a preferência das comunidades.

Quanto à comparação do custo de implantação de uma lagoa facultativa, os sistemas de *wetlands* construídos de fluxo superficial ficam entre 57 e 80% mais baratos (valores para tratamento do esgoto doméstico de uma residência (USEPA, 2002)).

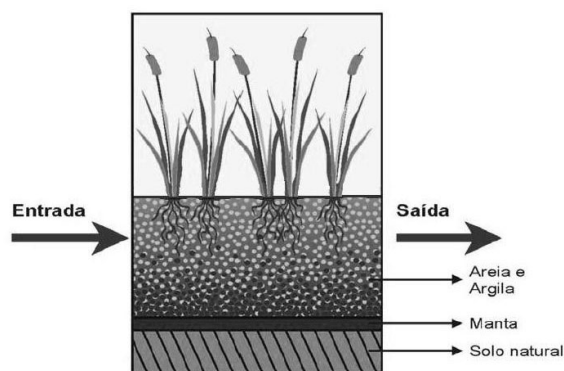
3 WETLANDS NO BRASIL

Os sistemas de *wetlands* naturais do Brasil somam aproximadamente



Fonte: Mitsch e Gosselink (1993). (Source: *Mitsch e Gosselink, 1993*).

Figura 2 - Sistema de *wetland* de fluxo superficial, FS. (*Surface flow wetland system, FWS*).



Fonte: Mitsch e Gosselink (1993). (Source: *Mitsch e Gosselink, 1993*).

Figura 3 - Sistema de *wetland* de fluxo sub-superficial, FSS. (*Sub-surface flow wetland system, VSB*).

1.000.000 km², considerando-se os temporários e os permanentes. Têm importante papel econômico, pois nessas áreas desenvolvem-se elevadas biomassas de peixes, répteis, pássaros e mamíferos. Além disto, têm importantes funções, como ciclagem de nutrientes (TUNDISI et al., 2002).

Figueroa (1996) fez uma avaliação econômica dessas áreas alagadas, utilizando a Represa do Lobo (Broa) como um estudo de caso. Ele avaliou esses ecossistemas em razão de funções ecológicas, como berçário de peixes, melhoria da qualidade da água e proteção de margens, o que ocasiona um grande valor econômico para esses ecossistemas, por vezes não reconhecido pelo mercado.

Os primeiros estudos sobre sistemas de *wetlands* construídos no Brasil resultaram de observações de sistemas naturais de áreas inundáveis da Amazônia (SALATI et al., 1999). A primeira tentativa de utilizar a capacidade depuradora desses sistemas foi feita por Salati et al. (1982)^{3/}, citados por Salati et al. (1999), num trabalho intitulado “De Poluente a Nutriente, a Descoberta do Aquapé”. Os experimentos iniciais lograram êxito e, desde então, novas tecnologias têm sido desenvolvidas por esses autores, sempre buscando o aumento de eficiência e redução de custo do sistema. Esses trabalhos têm sido desenvolvidos no Instituto de Ecologia Aplicada, e foi proposto um sistema conhecido como Depuração Hídrica com Solos (patente número PI n. 850.3030), que é um sistema de *wetland* construído que utiliza macrófitas aquáticas flutuantes e emersas.

Durante o período de maio de 1991 a abril de 1993, Leopoldo e Conte (1996) monitoraram o que eles chamaram de

processos fitopedológicos aplicados ao tratamento de águas residuárias domésticas, que na verdade eram sistemas *wetlands* construídos com o emprego de areia grossa de alta permeabilidade, como solos filtrantes e suporte para macrófitas aquáticas como taboas (*Thypha* spp.), junco (*Juncaceae sellovianus*) e lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). Esses autores relataram eficiências de remoção de matéria orgânica, em termos de DBO, de 89%, remoção de 92% de sólidos em suspensão e remoção de fosfato e nitrogênio amoniacal na ordem de 49 e 44%, respectivamente. Os parâmetros microbiológicos não foram analisados por esses autores.

Sousa et al. (2000), durante 26 semanas, estudaram sistemas *wetlands* construídos como pós-tratamento de águas residuárias domésticas pré-tratadas, tendo os resultados obtidos sido promissores para essa finalidade. Observaram eficiências médias de remoção de matéria orgânica (DQO) entre 76 e 84%, para cargas aplicadas variando de 6,58 a 14,2 g DQO m⁻² dia⁻¹. Na remoção de nutrientes, verificou-se a produção de efluentes com concentrações médias de 6,1 mg N-NH⁺ L⁻¹ e com relação ao nitrogênio total de 7,6 NTK mg L⁻¹, com remoção, respectivamente, de 86 e 87%; já para fósforo total os sistemas *wetlands*, operando com carga hidráulica de 2,3 cm por dia, produziram efluentes sem presença de fósforo (100% de remoção).

Salati et al. (2002) enfatizaram que sistemas de *wetlands* são de simples instalação e de baixos investimentos, e ainda mostraram, citando um estudo realizado por Manfrinato (1989)^{4/}, que esses

^{3/} SALATI, E. ; RODRIGUES, N. S. De poluente a nutriente, a descoberta do aquapé. *Revista Brasileira de Tecnologia*, v. 13, n. 3, 1982, p. 37-42.

^{4/} MANFRINATO, E. S. *Avaliação do método edafofito-depológico para o tratamento preliminar de águas*. 1989. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

sistemas podem apresentar grande eficiência, aproximadamente 76% na remoção de DBO_5 , 78% na remoção de nitrogênio amoniacal, 33% na remoção de fósforo e três unidades logarítmicas na remoção de coliformes termotolerantes, além de outros parâmetros.

Costa et al. (2003) também monitoraram sistemas *wetlands* construídos que tratavam águas residuárias domésticas, durante sete meses, de janeiro a julho de 2001, e evidenciaram a eficiência desses sistemas quanto à remoção de matéria orgânica (88% em termos de DBO_5) e de coliformes termotolerantes (3,4 unidades logarítmicas).

Anjos (2003) destacou dois projetos de sistemas *wetlands* construídos desenvolvidos na Bahia, um para pós-tratamento de águas residuárias pré-tratadas em UASB, provenientes do Hospital de Base Luis Eduardo Magalhães, no município de Itabuna (base de dimensionamento para 1.000 usuários); e outro para tratamento e reúso de águas residuárias domésticas do Complexo Ford Amazon, no município de Camaçari (base de dimensionamento para 500 pessoas).

Sousa et al. (2004), monitorando um mesmo sistema por três anos, mostraram que a partir do segundo ano houve significativo decaimento da remoção de fósforo, fenômeno que, provavelmente, resulta da saturação do meio por fósforo. A eficiência para os outros parâmetros continuou a mesma, e a eficiência na remoção de coliformes termotolerantes, desta vez relatada, foi de aproximadamente quatro unidades logarítmicas.

A *Water Environment Research Foudation* (WERF) fez uma tentativa de cadastrar sistemas de *wetlands* construídos do mundo todo, na busca de critérios de projeto, operação e manutenção desses sistemas. De acordo com o levantamento

feito por esse órgão, o único sistema de *wetland* construído cadastrado no Brasil é um sistema em Bauru-SP, que trata $18 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ de águas residuárias domésticas (WALLACE e KNIGHT, 2004), o que mostra o quanto é incipiente a aplicação dessa tecnologia no País.

4 PERSPECTIVAS FUTURAS

Tundisi et al. (2002) constataram que o uso de áreas alagadas para remoção de matéria orgânica, nutrientes e sólidos suspensos de águas residuárias de pequenas comunidades é estimulante.

Mesmo com o grande número de projetos em andamento e sistemas em operação, ainda restam dúvidas e conceitos errados em relação à aplicação, ao projeto e ao desempenho. Para a USEPA (2000), a habilidade desses sistemas em remover nitrogênio e fósforo tem sido frequentemente superestimada.

Assim sendo, explicar “como” operam esses sistemas é ainda uma necessidade de pesquisa (HILL e PAYTON, 2000; USEPA, 2002). Lara Borrero (1999) e Nogueira (2003) alertaram para a necessidade de estudo desses sistemas em países em desenvolvimento com clima tropical, clima este muito diferente daquele onde eles foram concebidos.

Segundo Lautenschlager (2001), como a complexidade ecossistêmica das *wetlands* é grande e ainda não há conhecimento adequado das respostas que esses sistemas podem apresentar, uma grande parcela de empirismo e incerteza ainda está embutida no dimensionamento desses sistemas, o que não é aceitável nos dias atuais, dado que as políticas públicas de engenharia sanitária e de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos devem estar calcadas em bases científicas tanto para controle das cargas poluidoras quanto para propor

tecnologias simples e viáveis de tratamento de esgoto.

Os sistemas reatores anaeróbicos UASB atingiram um grau de aceitação tal que, de modo geral, todas as análises de alternativas viáveis de tratamento de esgoto os incluem. De acordo com Kato et al. (1999), dentre os reatores anaeróbicos, o UASB tem sido “o de maior sucesso entre os reatores anaeróbicos até o momento”.

Porém, os UASB não conseguem produzir um efluente que se enquadre nos padrões estabelecidos pela legislação ambiental vigente, fato característico dos sistemas anaeróbicos, necessitando de uma etapa de pós-tratamento. Esse pós-tratamento tem as funções de completar a remoção da matéria orgânica e remover os poluentes que não são tratados pelos anaeróbicos, como é o caso dos patógenos e dos nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio. Uma possibilidade que tem sido muito estudada ultimamente é a utilização de sistemas de *wetlands* construídos como pós-tratamento de águas residuárias pré-tratadas em reatores UASB (KASEVA, 2004).

Além disso, um benefício indireto dos sistemas de *wetlands* construídos e que quando atuam na melhoria da qualidade de águas residuárias convertem potenciais ameaças em oportunidades. Os sistemas de *wetlands* construídos representam uma alternativa: eles transformam poluentes presentes nas águas residuárias, por exemplo os nutrientes, em biomassa, que pode ser utilizada como alguma forma de bioenergia para a comunidade local (UNEP, 2004).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMENDOLA, M.; SOUZA, A. L.; ROSTON, D. M. Numerical simulation of fecal coliform reduction at a constructed wetland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 533-538, 2003.

ANDRADE NETO, C. O., CAMPOS, J. R. Introdução. In: CAMPOS, J. R. (Coords.) **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 1-28. (Projeto PROSAB).

ANJOS, J. A. S. A. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: O caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA**. 2003. 328 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003.

ANSOLA, G.; MANUEL, J. G.; CORTIJO, R.; LUIS, E. Experimental and full-scale pilot plant constructed wetlands for municipal wastewater treatment. **Ecology Engineering**, v. 21, n. 1, p. 43-52, 2003.

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

CHERNICHARO, C.A. L. **Reatores Anaeróbicos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG. 1997. 246 p.

COWARDIN, L. M. et al. **Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States**. U. S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D.C. Jamestown, ND: Northern Prairie Wildlife Research Center Home Page, 1979. (Version 04/December/98). Disponível em: <<http://www.npwrc.usgs.gov/resource/1998/classwet/classwet.htm>>. Acesso em: 5 fev. 2005.

COE, M. D. *The Maya*, 7.ed. New York: Thames e Hudson, 2000. 256 p. Disponível em: <<http://www.thamesandhudson.com/en/1/0500280665.mxs?6792da78611c71f4cd8f3feb39a4d2a&0&0>>. Acesso em: 10 fev. 2005.

COSTA, L. L. et al. Eficiência de wetlands construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colifagos e bacteriófagos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra** v. 3, n. 1, 2003. [online]. Disponível em: <<http://www.ihendrix.br/biologia/revista/wetlands.htm>>. Acesso em: 18 mar. 2005. ISSN 1519-5228.



- FIGUEROA, F. E. V. **Avaliação econômica de ambientes naturais; o caso das áreas alagadas: uma proposta para a Represa do Lobo (Broa)**. 1996. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.
- GOPAL, B. Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: Potential and problems. **Water Science Technology**, v. 40, n. 3, p. 27-35, 1999.
- HABERL, R. Constructed wetlands: a chance to solve wastewater problems in developing countries. **Water Science Technology**, v. 40, n. 3, p. 11-17, 1999.
- HILL, D. T.; PAYTON, J. D. Effect of plant fill ratio on water temperature in constructed wetlands. **Bioresource Technology**, v. 71, n. 3, p. 283-289, 2000.
- KASEVA, M. E. Performance of a sub-surface flow constructed wetland in polishing pre-treated wastewater - a tropical case study. **Water Research**, v. 38, n. 6, p. 681-687, 2004.
- KADLEC, R. H. Wetland to pond treatment gradients. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WASTE STABILIZATION PONDS, 6., and INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS, 9. **Communications of common interest ...** Antony Cedex: Cemagref, 2004. p. 35-42.
- KADLEC, R. H. Pond and wetland treatment. **Water Science Technology**, v. 48, n. 5, p. 1-8, 2003.
- KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L. **Treatment wetlands**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996. 893 p.
- KATO, M. T. et al. Configuração de reatores anaeróbios. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 53-100. (Projeto PROSAB).
- KIVAISI, A. K. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. **Ecol. Eng.**, v. 16, n. 4, p. 545-560, 2001.
- LARA BORRERO, J. A. **Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales**. 1999. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ingeniería y Gestión Ambiental) – Instituto Catalán de Tecnología, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, 1999.
- LAUTENSCHLAGER, S. R. **Modelagem do desempenho de wetlands construídas**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- LIM, P. E.; WONG, T. F.; LIM, D. V. Oxygen demand, nitrogen and copper removal by free-water-surface and subsurface-flow constructed wetlands under tropical conditions. **Environmental Interaction**, v. 26, n. 5-6, p. 425-431, 2001.
- LEOPOLDO, P. R.; CONTE, M. L. Processo fito-pedológico aplicado no tratamento de efluentes domésticos. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 1996, México. **Memórias técnicas**. México: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1996. CD-ROM
- MITSCH, W.; GOSSELINK, J. G. **Wetlands**. 2.ed. Nova York: van Nostrand Reinhold, 1993. 722 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. COMMITTEE ON ASSESSING AND VALUING THE SERVICES OF AQUATIC AND RELATED TERRESTRIAL ECOSYSTEMS. **Valuing ecosystem services: toward better environmental decision-making**. Washington: National Academy Press, 2004. 313 p.
- NELSON, M. et al. Advantages of using subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment in space applications: ground-based mars base prototype. **Advance Space Research**, v. 31, n. 7, p. 1799-1804, 2003.
- NERALLA, S. Improvement of domestic wastewater quality by subsurface flow constructed wetlands. **Bioresource Technology**, v. 75, n. 1, p. 19-25, 2000.
- NOGUEIRA, S. F. **Balanço de nutrientes e avaliação de parâmetros biogeoquímicos em áreas alagadas construídas para o tratamento de esgoto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. 139 p.
- NZENGY'A, D. M.; WISHITEMI, B. E. L. The performance of constructed wetlands for wastewater treatment: a case study of Splash wetland in Nairobi Kenya. **Hydrology Proceedings**, v. 15, n. 17, p. 3239-3247, 2001.

- OBARSKA-PEMPKOWIAK, H.; KLIMKOWSKA K. Distribution of nutrients and heavy metals in a constructed wetland system. **Chemosphere**, v. 39, n. 2, p. 303-312, 1999.
- PASTOR, R. et al. Design optimization of constructed wetlands for wastewater treatment. **Resource Conservation Recycly**, v. 37, n. 3, p. 193-204, 2003.
- POLPRASERT, C.; KOOTTATEP, T. Integrated pond and constructed wetland systems for sustainable wastewater management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WASTE STABILIZATION PONDS, 6.; INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS, 9., 2004, Avignon. **Communications of common interest...** Antony Cedex: Cemagref, 2004. p. 25-32.
- SALATI, E.; LEMOS, H. M.; SALATI, E. Água e o desenvolvimento sustentável. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Eds.) **Águas doce do Brasil**: Capital ecológico, uso e conservação. 2.ed. São Paulo: Escrituras Editora e Distribuidora de Livros, 2002. p. 39-63.
- SALATI Jr., E.; SALATI, E.; SALATI, E. Wetland projects developed in Brazil. **Water Science Technology**, v. 40, n. 3, p. 19 - 25. 1999.
- SHIPIN, O. et al. Integrated natural treatment systems for developing communities: low-tech N-removal through the fluctuating microbial pathways. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WASTE STABILIZATION PONDS, 6.; INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS, 9., 2004, Antony Cedex. **Communications of common interest...** Antony Cedex: Cemagref. 2004. p. 75-84.
- SHUTES, R. B. E. Artificial wetlands and water quality improvement. **Environmental Interaction**, v. 26, n. 5-6, p. 441-447, 2001.
- SOLANO, M. L.; SORIANO, P.; CIRIA, M. P. Constructed wetlands as a sustainable solution for wastewater treatment in small villages. **Biosystems Engineering**, v. 87, n. 1, p. 109-118, 2004.
- SOUSA, J. T. et al. Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. **Engieering Sanitarian Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 285-290, 2004. (Nota técnica)
- SOUSA, J. T., et al. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas "Wetlands" construídos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 87-91, 2000.
- TUNDISI, J. G. **Água no século XXI**: Enfrentando a escassez. São Carlos: Rima, 2003. 248 p.
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; ROCHA, O. Limnologia de águas interiores. Impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Eds.) **Águas doce do Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 2.ed. São Paulo: Escrituras Editora e Distribuidora de Livros, 2002. p. 195-225.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. Integrated Watershed Management - Ecohydrology & Phytotechnology - Manual. Disponível em: <http://www.unep.or.jp/ietc/publications/freshwater/watershed_manual/>. Acesso em: 12 mar. 2005.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **America's Wetlands: Our vital link between land and water**. Washington, DC: Office of Wetlands, Oceans and Watersheds Wetlands Division, 2003.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Onsite Waste water Treatment Systems Manual**. Office of Water, Office of Research and Development. EPA/625/R-00/008. Ohio: Cincinnati, 2002. 367 p.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Constructed wetkands treatment of municipal wastewater**. Ohio: Cincinnati, National Risk management Research Laboratory, Office of research and Development. 2000.
- WALLACE, S.; KNIGHT, R. Water Environmental Research Fundation (WERF) small scale treatment wetlands database. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WASTE STABILIZATION PONDS, 6.; INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS, 9., Avignon, 2004. **Communications of common interest...** Antony Cedex: Cemagref, 2004. p. 229-235.