

## ZONA DE RAÍZES: EXPERIÊNCIA VIVENCIADA NUMA ESCOLA RURAL NO MUNICÍPIO DE CAMPOS NOVOS/SC

**Eduardo Bello Rodrigues \***

Universidade do Estado de Santa Catarina, Ibirama - SC, Brasil  
Departamento de Engenharia Sanitária  
edubello1@hotmail.com

**Monica Aparecida Aguiar dos Santos**

Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos - SC, Brasil  
Departamento de Engenharia Rural  
maasantos\_2007@yahoo.com.br

**Flávio Rubens Lapolli**

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, Brasil  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental  
frl@ens.ufsc.br

### Resumo

A falta de sistemas de tratamento para efluentes sanitários adequados às condições das comunidades rurais brasileiras ainda é uma realidade. Com vistas a atender esta demanda foi desenvolvido o presente trabalho, que descreve o processo de implantação e avalia os resultados de um sistema de tratamento para efluentes sanitários do tipo zona de raízes, em uma escola rural do município de Campos Novos/SC. O sistema foi implantado com a participação da comunidade local, segundo os princípios da pesquisa-ação. A eficiência do referido sistema em termos de remoção de DBO, DQO,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ , coliformes totais e coliformes termotolerantes foi, respectivamente: 72,1%, 77,4%, 80,7% e 80,7%, 99,93% e 97,54%. A partir dos resultados obtidos, constatou-se que o sistema responde de forma positiva às questões de sustentabilidade do saneamento rural além de oportunizar a participação da comunidade envolvida na solução de seus problemas ambientais.

**Palavras-chave:** Zona de raízes. Educação ambiental. Tratamento de efluentes sanitários.

### 1 Introdução

A inadequação dos sistemas de saneamento ambiental em áreas rurais traz diversos problemas para o meio ambiente, e por consequência à saúde das pessoas que vivem no campo.

Em escolas situadas na área rural, a falta de saneamento é um fator bastante preocupante, pois expõe crianças aos riscos de contágio de doenças, implicando também na qualidade do processo educacional, pois é a escola um espaço no qual se aprimora os processos de socialização e deveria, portanto, constituir-se exemplo do que a sociedade deseja e aprova (LEME, 2006).

Nesse sentido, dados da FUNASA demonstram que, de acordo com os resultados do censo escolar 2005 (BRASIL, 2011) existem, no Brasil, 89.160 escolas públicas rurais. Destas, 11.157 não

possuem sequer sanitários, sendo a maior concentração dessas escolas observadas nas regiões Norte (17,98%) e Nordeste (14,5%) (BRASIL, 2011).

Van Kaick et al. (2008) demonstram em seus trabalhos que os sistemas descentralizados através de zona de raízes se apresentam como uma solução para o tratamento do efluente sanitário em regiões menos populosas, como nas áreas rurais, e uma ferramenta preciosa de educação ambiental, no viés da tecnologia social.

As formas como as águas residuárias são depuradas nos sistemas de zona de raízes construídos abrangem uma complexa variedade de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem e são promovidos pelos elementos constituintes do meio (solo), microrganismos e plantas (PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

Diante do exposto estabeleceu-se como principal objetivo deste trabalho implantar e avaliar um sistema de tratamento de efluentes sanitários do tipo zona de raízes, com a participação da comunidade local, que se enquadrasse ao máximo em todas as dimensões da sustentabilidade, em uma escola rural no município de Campos Novos/SC.

## **2 Material e métodos**

O estudo foi desenvolvido na Escola Municipal André Rebouças, localizada no distrito de Barra do Leão, na zona rural do município de Campos Novos/SC. Apesar de o município possuir uma rede de coleta e sistema de tratamento para o esgoto urbano, na área rural, conforme observou-se a maior parte dos esgotos produzidos são dispostos nos rios.

A definição sobre a tecnologia de tratamento a ser implantada aconteceu na primeira reunião com a comunidade escolar local, que acolheu de forma unânime a proposta apresentada.

As etapas de implantação do projeto consistiram de atividades teóricas e práticas. As primeiras consistiram de participações nas aulas de ciências, em que foram apresentados e debatidos diversos temas relacionados ao saneamento e à preservação ambiental, utilizando-se situações alusivas ao sistema de tratamento de esgoto projetado para a escola. As atividades práticas consistiram na participação dos alunos desde a etapa de escolha do sistema, sua implantação, plantio das mudas até a realização de análises químicas dos efluentes utilizando-se para tal um “kit” desenvolvido especialmente para este público (figura 1).

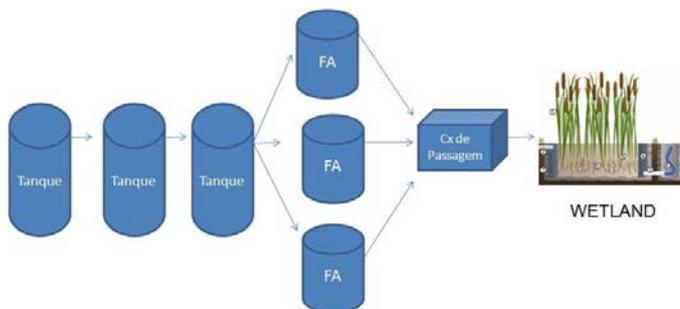
Figura 1: Plantio de mudas e análise do efluente com ECOKIT com a participação dos alunos da escola



Fonte: Autoria própria (2011)

Como pré-tratamento ao sistema de zona de raízes foram construídos três tanques sépticos seguidos de três filtros anaeróbios (figura 2). Os tanques sépticos foram construídos com tubulões de concreto armado, de 80 cm de diâmetro por 1,5 metros de altura cada. Os filtros anaeróbios também foram construídos com tubulões de 80 cm de diâmetro, porém com apenas 1,0 metro de altura. Como material filtrante foi utilizado brita nº 3 em camada cuja espessura foi de 40 cm. O fundo falso apresentava 30 cm e era sustentado por uma prancha de madeira arredondada com furos equidistantes intercalados de 2 cm de diâmetro. A concepção do referido sistema teve como referência as normas NBR 7229 (ABNT, 1993) e NBR 13969 (ABNT, 1997).

Figura 2: Esquema da disposição dos tanques, filtros anaeróbios e zona de raízes



Fonte: Autoria própria (2011)

Após passar pelos tanques e filtros, o resíduo foi reunido em uma caixa de passagem e encaminhado para o primeiro dos dois filtros plantados com macrófitas (zona de raízes), sendo o outro reservado para eventuais manutenções do filtro em carga (figura 3). Como material suporte às tubulações de alimentação e coleta do efluente foi utilizado brita nº 3; areia grossa como material filtrante e leito de sustentação com macrofitas da espécie *Thipha sp.*, vulgarmente conhecida como taboa. Os filtros plantados foram impermeabilizados por manta de polietileno com espessura de 800 micra. A Figura 1 apresenta o esquema da distribuição dos tanques, filtros anaeróbios e zona de raízes.

Figura 3: Sistema zona de raízes pronto



Fonte: Aatoria própria (2011)

Para o dimensionamento do sistema de zona de raízes de fluxo horizontal estimou-se como valor de entrada do sistema uma DBO afluente de aproximadamente 96 mg/L, considerando-se 40% de eficiência no pré-tratamento e 60% de eficiência no filtro anaeróbio. A partir de uma temperatura crítica de 10°C e assumindo  $K_{20} = 0,80 \text{ d}^{-1}$ ; uma porosidade de 0,35; uma profundidade média dos tanques de 0,60 m; uma vazão média de 4,75 m<sup>3</sup>/dia, estimada considerando-se uma média de 25 l/hab dia para os 190 alunos, divididos em dois turnos mais a contribuição de um ginásio de esportes adjacente à escola, e uma DBO final de 30 mg/L, definiu-se uma área de tanque de 154 m<sup>2</sup>, considerando-se um fator de segurança de 15% em relação a necessidade real de área.

O sistema foi dividido em dois sistemas de zona de raízes, medindo 7 m x 11 m, perfazendo uma área de 77 m<sup>2</sup> cada filtro plantado. O tempo de detenção hidráulico estimado para atender tanto a escola como o ginásio foi calculado em 9,72 dias.

Com relação às macrófitas, estas foram identificadas e coletadas em um ambiente natural próximo ao local onde foi implantado o sistema. Na escola, as melhores plantas coletadas foram selecionadas e plantadas, respeitando-se uma densidade de quatro plantas por metro quadrado de área de filtro.

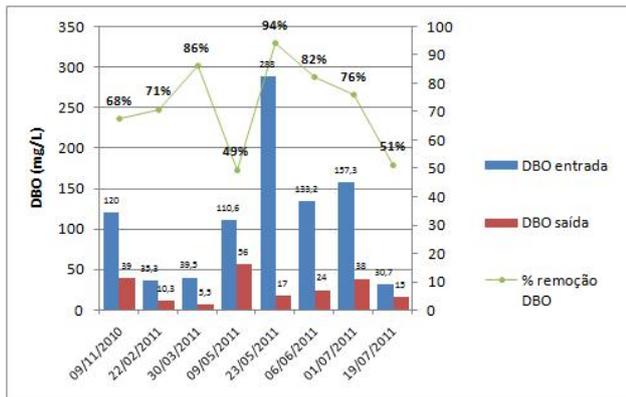
### 3. Resultados e discussão

O sistema zona de raízes foi operado experimentalmente de novembro de 2010 a julho de 2011, perfazendo um período de oito meses.

Com vistas a avaliar o sistema foram realizadas análises mensais dos materiais coletados nos pontos de entrada e saída do sistema de zona de raízes. Todas as análises foram feitas de acordo com os procedimentos constantes no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AWWA; APHA; WEF, 1998).

Os parâmetros avaliados foram: DBO,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ . A figura 2 mostra o desempenho do tratamento por zona de raízes na remoção de matéria orgânica em termos de DBO.

Figura 2 - Valores absolutos de entrada e saída e eficiência média de remoção da DBO



Fonte: Autoria própria (2011)

Conforme mostra a figura 2, o sistema apresentou um bom desempenho quanto à remoção da matéria orgânica, com média de 72,1% e uma média da concentração afluyente e efluente de 114,3 mg/L e 25,6 mg/L respectivamente.

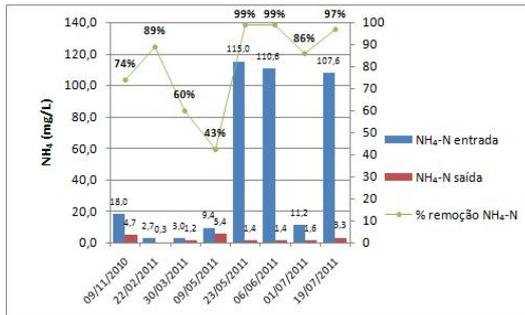
Li et al. (2008) estudaram o desempenho de três sistema de zona de raízes subsuperficial de fluxo horizontal na remoção de matéria orgânica dissolvida. Cada unidade diferia apenas no tipo de material filtrante (areia, escória e zeólita) e na espécie da macrófita, mantendo as mesmas dimensões e tempos de detenção hidráulica que foi de quatro dias. Atingiu-se uma eficiência média de 67 % para DBO dissolvida, sendo a média de concentração do afluyente e efluente de 93 mg/L e 30,73 mg/L, respectivamente. Os mesmos autores identificaram que o principal mecanismo de remoção da matéria orgânica dissolvida foi através das bactérias aeróbias e anaeróbias, sendo as raízes vegetadas o principal mecanismo de suporte e desenvolvimento dessas bactérias.

Desta forma acredita-se que o melhor desempenho observado deva-se principalmente ao maior tempo de detenção hidráulico, uma vez que a média da concentração afluyente e efluente apresentou valores bem próximos dos observados na literatura consultada.

Relativo ao aspecto legal, todas as amostras apresentaram valores abaixo do limite exigido pela Resolução Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 430 (BRASIL, 2011) e o Decreto Estadual nº 14.250 (SANTA CATARINA, 1981), que estipulam o valor máximo em DBO de 60mg/L para lançamento.

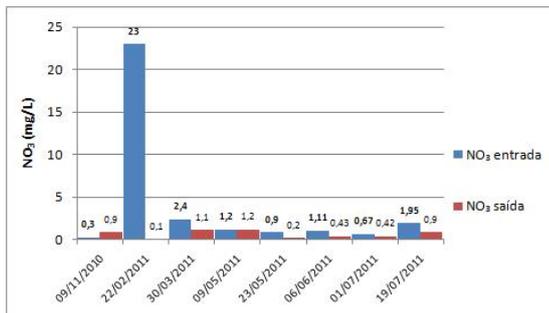
As figuras 3 e 4 mostram os resultados obtidos em relação ao nitrogênio amoniacal e nitrato durante o período avaliado.

Figura 3 - Variação dos valores de Nitrogênio amoniacal na entrada e saída do sistema por zona de raízes durante o período de avaliação.



Fonte: Autoria própria (2011)

Figura 4 - Variação dos valores de entrada e saída do wetland durante o período avaliado



Fonte: Autoria própria (2011)

Como o tempo de detenção no sistema foi bastante elevado (média de 13 dias) todos os mecanismos de remoção do nitrogênio contribuíram na redução deste nutriente. Para a NH<sub>4</sub>-N, a eficiência média de remoção foi de 80,7 % com concentrações médias do afluente e efluente de 47,1 mg/L e 2,4 mg/L respectivamente.

Olijnyk et al. (2007) apresentaram eficiências de 70 % de remoção de NH<sub>4</sub>-N para tempo de detenção médio de 10 dias em sistema de fluxo subsuperficial.

Com relação às concentrações de NH<sub>4</sub>-N no afluente ao sistema de zona de raízes, verificou-se que todos os valores estão dentro dos limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), que estabelece como referência o valor de 20 mg/l. Em boa parte das amostras verificou-se uma redução do nitrato e uma pequena variação entre as concentrações de entrada e saída, exceto para a coleta do dia 9/11/2010, em que a concentração do efluente teve um pequeno acréscimo e na coleta do dia 22/02/2011, em que a concentração afluente foi muito elevada em relação às demais. O primeiro resultado pode ser explicado pelo sistema estar em sua fase inicial de operação, iniciando o processo de estabilização e formação das colônias bacterianas, mais especificamente as bactérias *nitrosomonas* responsáveis pela desnitrificação. O segundo resultado, referente à coleta do dia 22/02/2011 pode ser explicado por ter sido feita apenas a cinco dias do retorno as aulas, após recesso de cinquenta e dois dias. O elevado tempo de detenção dos esgotos nas unidades de pré-tratamento provocou a oxidação de praticamente todos os compostos

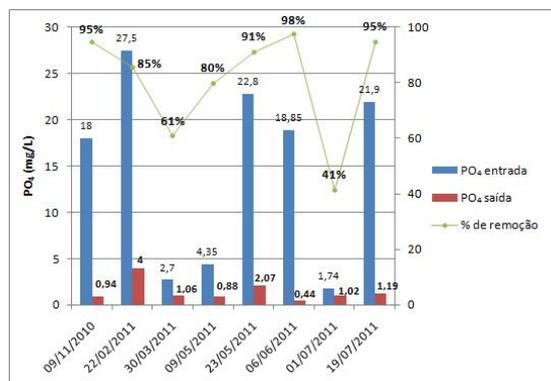
nitrogenados. Logo, a redução destes compostos no afluente causou a morte de algumas macrófitas e enfraquecimento de outras, o que ocasionou uma diminuição na remoção do nitrogênio no sistema zona de raízes até a revitalização e germinação de novas plantas, situação notada a partir do mês de maio.

Com relação à quantidade de fósforo que pode ser removida pela poda das plantas, incorporada na biomassa das macrófitas, isso constitui uma pequena fração relativa à quantidade de fósforo contida no esgoto, sendo que a forma mais expressiva é adsorção e sedimentação no material filtrante. Porém este processo é um tanto limitado, ou seja, uma vez que o material é saturado, será lavado e retornado para o meio.

A remoção de fósforo relativo ao fósforo inorgânico (ortofosfato) foi bastante eficiente em praticamente todas as amostras, com exceção da coleta do dia 1/07/2011, quando houve uma eficiência de 41 %.

A figura 5 mostra os resultados obtidos em relação a remoção de fósforo durante o período avaliado.

Figura 5 - Variação dos valores do fósforo, entrada e saída dos sistemas por zona de raízes no período avaliado



Fonte: Autoria própria (2011)

A quantidade de fósforo que pode ser removida a partir de sua incorporação na biomassa das macrófitas representa uma pequena fração da quantidade de fósforo presente no esgoto, sendo que a forma mais expressiva é adsorção e sedimentação no material filtrante.

A eficiência média de remoção de fósforo no sistema zona de raízes foi de 80,7 %, com concentração média afluente e efluente de 14,7 mg/L e 1,5 mg/L respectivamente.

Ghosh e Gopal (2010) estudaram quatro sistemas por zona de raízes de fluxo horizontal variando os tempos de detenção de 1 a 4 dias. As eficiências médias alcançadas foram de 11,6%, 21,1 %, 31,9 % e 46 % para TDH de 1, 2, 3 e 4 dias e cargas aplicadas (PO<sub>4</sub>-P/m<sup>2</sup> d<sup>1</sup>) de 1,08; 0,42; 0,28 e 0,27, respectivamente.

Observando os resultados encontrados na literatura acredita-se que a eficiência obtida no sistema em estudo se deveu em grande parte ao tempo de detenção que possibilitou a maior

adsorção e sedimentação do fósforo no material filtrante e provavelmente sua incorporação pelas macrófitas.

Utilizando como base os fundamentos metodológicos da pesquisa-ação, o projeto conciliou a avaliação de um sistema do tipo zona de raízes em condições ambientais reais, a resolução de um problema, tendo em vista que havia uma disposição dos esgotos da escola a céu aberto com riscos iminentes de contaminação desses alunos, e a capacitação e conscientização de todos os participantes.

Para avaliar a sustentabilidade de um sistema proposto é preciso compara-lo a um sistema existente, levando-se em conta os incrementos social, cultural, ambiental e econômico da nova situação.

Os processos participativos para implantação do sistema, considerando as discussões em cada etapa de execução possibilitaram uma maior credibilidade e confiabilidade ao projeto a ser executado perante toda a comunidade envolvida.

A dimensão econômica foi bastante evidente para todos os envolvidos no projeto devido à utilização de recursos locais de baixo custo e fácil aquisição. A própria participação dos alunos, de forma lúdica, no plantio das mudas, por exemplo, deixou evidente que se tratava de uma tecnologia simples, acessível e barata, pois não havia nenhum tipo de estrutura ou equipamento que não fosse comum para todos.

A dimensão cultural interferiu no sentido de que com a implantação da nova tecnologia ocorreram algumas mudanças nos hábitos escolares, desde a geração do efluente e uso consciente da água até o fato de que a comunidade escolar fará continuamente a operação, uso e manutenção do sistema.

O novo sistema propiciou uma mudança no processo de ensino, principalmente das aulas de ciências. Os educadores conheceram na prática a diferença entre uma água poluída e uma água de boa qualidade e os diversos parâmetros de avaliação e controle.

A dimensão ambiental pode-se dizer que exerceu maior influência na episteme dos alunos. Antes da implantação do sistema de tratamento, havia uma fossa negra na escola que continuamente transbordava e o esgoto “corria” pelo pátio. Essa situação trazia diversos inconvenientes para os funcionários porque, além do mau cheiro, apresentava sérios riscos de contaminação por doenças de veiculação hídrica. Ao lado da antiga fossa existe um sistema de captação de água através de poço artesiano, que abastece 90 % do distrito da Barra do Leão. Essa captação estava sujeita à contaminação iminente pela infiltração do esgoto. Após a implantação do sistema zona de raízes, o antigo sistema foi desativado e o esgoto direcionado para a nova unidade.

A implantação do sistema no ambiente escolar proporcionou a resolução de um problema ambiental grave atingindo satisfatoriamente os princípios da tecnologia social e sustentável pela sua fácil manutenção e operação, e também pela sua eficiência na remoção de poluentes, segundo os padrões legais.

#### 4 Conclusões

Sobre os resultados obtidos no desempenho dos sistemas por zona de raízes, pode-se concluir que:

- A eficiência de remoção de matéria orgânica medida através da DBO e DQO, foi bastante elevada, com média de 72,1 % e 77,4 % de eficiência, respectivamente;
- A eficiência média de remoção de  $\text{NH}_4\text{-N}$  de 80,7 % apresentou um resultado bastante satisfatório para um tratamento em nível terciário;
- A remoção de fósforo foi em torno de 80,7 %, com pouca variação no período de avaliação do sistema;
- A respeito da participação da comunidade local nas etapas de implantação e avaliação do sistema proposto;
- Por ter sido construído em uma escola, o sistema zona de raízes serviu como uma valiosa ferramenta de educação ambiental;
- O sistema atingiu satisfatoriamente os princípios da tecnologia social e sustentável devido à fácil manutenção e operação, sem a necessidade de uso de equipamentos sofisticados e ausência de consumo de energia elétrica, bem como pela boa eficiência de remoção de poluentes, segundo os padrões legais;
- O sistema serviu de impulso para a universalização do saneamento rural no Município de Campos Novos, assim como a criação de Leis para a obrigatoriedade da utilização de sistemas *wetlands* nos loteamentos a serem implantados no Município.

#### Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20nd ed. Washington: APHA, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-13969**: Tanques sépticos- Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR-7229**: projeto, construção operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.15p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde, FUNASA. **Saneamento Rural**. Brasília, D.F., 2011. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/site/programa-de-aceleracao-do-crescimento-pac/saneamento-rural/>>. Acesso em: 23 ago. 2011.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA 430**, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 1 set. 2011.

GHOSH, D.; GOPAL, B. Effect of hydraulic retention time on the treatment of secondary effluent in a subsurface flow constructed wetland. **Original Research Article Ecological Engineering**. v. 36, n 8, p. 1044-1051, ago. 2010.

LEME, T. N. **Os conhecimentos práticos dos professores:** (re) abrindo caminhos para a educação ambiental na escola. São Paulo: Annablume, 2006.

LI, J.; WEN, Y.; ZHOU, Q.; XINGJIE, Z.; LI, X.; YANG, S.; LIN, T. Influence of vegetation and substrate on the removal and transformation of dissolved organic matter in horizontal subsurface-flow constructed wetlands. **Original Research Article Bioresource Technology**. v. 99, n. 11, p. 4990-4996, jul. 2008.

OLIJNYK, D. P.; SEZERINO, P. H.; FENELON, F. R.; PANCERI, B.; PHILIPPI, L. S. Sistemas de tratamento de esgoto por zona de raízes: análise comparativa de sistemas instalados no Estado de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte: ABES, 2007.

PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H. **Aplicação de sistemas tipo Wetlands no tratamento de águas residuárias:** utilização de filtros plantados com macrófitas. Florianópolis: Ed. dAutoria própria, 2004. 144 p.

SANTA CATARINA. Decreto nº 14.250, de 5 de junho de 1981. Regulamenta dispositivos da Lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e à melhoria da qualidade ambiental. **Diário Oficial [de] Santa Catarina**, Santa Catarina, 9 de jun. 1981. Disponível em: <<http://sistemas.sc.gov.br/fatma/pesquisa/PesquisaDocumentos.asp>>. Acesso em: 1 set. 2011.

VAN KAICK, T. S.; MACEDO, C. X.; PRESZNHUK, R. A. Jardim ecológico - tratamento de esgoto por zona de raízes: análise e comparação da eficiência de uma tecnologia de saneamento apropriada e sustentável. In: SEMANA DOS ESTUDOS DA ENGENHARIA AMBIENTAL, 6., 2008, Irati, Paraná. **Anais eletrônicos...** Irati: UNICENTRO, 2008. 12 p. Disponível em: < <http://www.mundosustentavel.com.br/wp-content/uploads/2011/05/unicentro.pdf> >. Acesso em: 1 set. 2011.