

## JARDIM ECOLÓGICO - TRATAMENTO DE ESGOTO POR ZONA DE RAÍZES: ANÁLISE E COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UMA TECNOLOGIA DE SANEAMENTO APROPRIADA E SUSTENTÁVEL

**Autores:** Tamara S. van Kaick (Bióloga, Especialista em Microbiologia (PUC), Mestre em Tecnologia (UTFPR) e Doutora em Meio Ambiente e Desenvolvimento (UFPR))

*e-mail: [ecodamata@terra.com.br](mailto:ecodamata@terra.com.br)*

Carolina X. de Macedo (Oceanógrafa, Master en Gestión y Conservación de la Biodiversidad en los Trópicos e Mestre em Sistemas Costeiros e Oceânicos (UFPR))

*e-mail: [carolina\\_ximenes@hotmail.com](mailto:carolina_ximenes@hotmail.com)*

Rosélis A. Presznhuk (Tecnóloga Química Ambiental, Mestre em Tecnologia (UTFPR))

*e-mail: [roselisaugusta@yahoo.com.br](mailto:roselisaugusta@yahoo.com.br)*

### Resumo

No Brasil o abastecimento de água atinge cerca de 80% da população enquanto que o esgotamento sanitário atinge 50%, e o tratamento de esgoto de fato somente atende 10% desta mesma população. Isto se deve ao alto custo das instalações de redes coletoras de esgoto e dos sistemas de tratamento do mesmo e a dificuldade em acompanhar na mesma proporção à oferta de tratamento de esgoto com o crescimento da população. Os sistemas de coleta e Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) centrais podem ser substituídos por sistemas menores e mais flexíveis desenvolvidos dentro dos princípios das Tecnologias Apropriadas (TAs) e da sustentabilidade que pode atender populações remotas e/ou carentes, principalmente as que estão inseridas na zona rural e regiões peri-urbanas. Na Europa, esta tecnologia das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) por zona de raízes vem sendo muito utilizada em regiões não atendidas por redes coletoras de esgoto, principalmente a zona rural, e é composta por filtros físico-biológicos plantados com macrófitas, onde ocorrem processos aeróbicos e anaeróbicos do tratamento. A ETE por Zona de Raízes desenvolvida no Brasil tornou-se um produto diferenciado daquele utilizado na Alemanha. Nas ETEs nacionais foram realizadas uma série de adaptações para atender as condições locais, apresentando baixo custo de implantação e manutenção, aproveitando os recursos locais – inclusive plantas nativas, materiais alternativos para filtro, como conchas, e evitando equipamentos elétricos para a aeração e condução do tratamento do efluente. Estas ETEs por zona de raízes que sofreram inovações e adaptações, têm atendido a legislação ambiental (CONAMA 357/2005) assim como as Estaduais do Paraná e São Paulo, referente aos valores máximos de Demanda Bioquímica de Oxigênio -DBO e Demanda Química de Oxigênio -DQO para lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos, apresentado respectivamente 88% e 86% de eficiência de remoção nestes parâmetros, pela análise realizada em 8 ETEs implantadas a ser apresentada neste artigo. A inovação desta técnica, que as pesquisas paranaenses viabilizaram, permite atender com tratamento adequado as comunidades da zona rural, principalmente àquelas localizadas em áreas alagadas e de linha de maré e também residências e escolas da zona urbana não atendida por rede coletora de esgoto. Um dos pontos fortes desta tecnologia é a sua flexibilidade para se adaptar a diferentes ambientes, a utilização de recursos locais, além de ser uma ferramenta para educação ambiental. Quando as tecnologias são desenvolvidas abordando aspectos econômicos, sociais e ambientais, e são aplicadas visando o bem comum e de forma participativa, estas podem tornar-se um instrumento eficaz para o desenvolvimento sustentável de um processo de gestão local, conforme está indicado na Agenda 21.

**Palavras-chave:** Saneamento, ETEs por Zona de Raízes, Tecnologia Apropriada, Wetlands contruídos , saneamento rural.

## Introdução

A falta de saneamento foi tema abordado na Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, também conhecida como Conferência Rio+10, realizada na África do Sul em 2002. O resultado mais significativo dessa Conferência foi à definição dos oito (8) Objetivos do Milênio, apresentando dezoito (18) metas específicas e quarenta e oito (48) indicadores para medir os resultados alcançados em torno destes objetivos. Dentre os oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio que foram estabelecidos, o objetivo número 7 - “Garantir a sustentabilidade do meio ambiente”, determina na sua meta número 10 o seguinte: “reduzir para a metade o número de pessoas que atualmente não tem acesso aos serviços de saneamento”, tendo como prazo para alcançar este resultado, o ano de 2015 (IWSC, 2004; ONU, 2005; PAS-LAC, 2005). Esta meta foi elaborada durante a Conferência Internacional de Água Doce, realizada em Bonn (Alemanha), em dezembro de 2001 que abordou o tema “Água: chave para o desenvolvimento sustentável”, onde foi discutido o problema da falta de acesso a água potável que sofrem os pobres (IWSC, 2004). O acesso à água tem relação direta com a produção de esgoto, pois na mesma proporção que se abastece uma comunidade com água, é produzido esgoto, e a falta de tratamento de esgoto traz consequências negativas para a sociedade (FUNASA, 1994).

Outro tema levantado durante a Conferência de Bonn, e que já vinha sendo trabalhado pela Organização Mundial de Saúde no Programa Água e Saneamento da América Latina e Caribe - PAS-LAC, foi de como proceder com as desigualdades da oferta de saneamento entre as zonas urbana e rural. Para as comunidades pobres que vivem em áreas peri-urbanas e cidades grandes, o acesso aos serviços de saneamento depende, basicamente, de uma empresa que opere estes sistemas de forma centralizada. Já na zona rural, o problema consiste no custo de implantação e manutenção, que devido às distâncias entre residências em áreas escassamente povoadas (características rurais), aumenta consideravelmente o valor do investimento para a implantação de sistemas coletivos ou centralizados de abastecimento de água e acontece o mesmo em relação aos investimentos para tratamento de esgoto, para os quais continua a ser indicada solução individual para cada residência, que é o tratamento de esgoto por meio de fossa séptica (FUNASA, 1994; ONU-BRASIL, 2005; PMSS, 2006), o que nem sempre é uma solução adequada podendo inclusive tornar-se um foco de contaminação causando mais danos à saúde da população. Para este caso específico, são necessárias soluções técnicas adequadas, tanto do ponto de vista econômico como social.

O PAS-LAC dá atenção especial à zona rural, por considerar que a problemática de saneamento é particularmente grave nestas áreas, discussão que já havia sido abordada na Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente de 1992, em Dublin, e na Conferência Internacional sobre Melhoramento da Sustentabilidade dos Projetos de Água e Saneamento na área Rural, realizada em Cuzco em 1999. Nestes dois eventos foi dada ênfase na importância da gestão dos serviços de saneamento que deveriam ser realizados nos níveis mais baixos, como, por exemplo, no nível comunitário ou de família, nas comunidades rurais. Este princípio é baseado no enfoque da demanda, demonstrado no Quadro 1, e considerado componente chave para a sustentabilidade destes sistemas (IWSC, 2004). As soluções discutidas durante a Conferência de Bonn para a zona rural, reconheceram o enfoque baseado na demanda, e que isto implica capacitação para a administração e monitoramento local, o que, de certa forma, influi nas estruturas de poder local pela descentralização dos serviços, e requer uma re-estruturação na forma convencional de investimentos, que estão voltados, principalmente, para sistemas centralizados e empresas de grande porte (WSP, 2004).

**Quadro 1: Princípios de sustentabilidade de sistemas de abastecimento de água, baseados no enfoque da demanda e gestão para a zona rural.**

A comunidade participa em todo o processo de implementação, conhecendo todas as vantagens e desvantagens da opção técnica e nível de serviço que ela exige e os investimentos e custos para a operação e manutenção.
O governo terá papel de facilitador, estabelecendo políticas e estratégias nacionais claras, promovendo um amplo processo de consulta e apoiando o fortalecimento e a aprendizagem.
O governo promove um ambiente propício para a participação de provedores de bens e serviços e assistência técnica às comunidades, levando em conta o setor privado e as organizações não governamentais - ONGs.
As instituições apóiam a implementação de serviços, providenciam a informação ampla sobre as opções técnicas, níveis de serviços, custos diretos e recorrentes para a comunidade, para que adotem procedimentos participativos com a finalidade de facilitar as decisões.

FONTE: IWSC (2004).

No Brasil, embora o problema de abastecimento de água tenha sido resolvido satisfatoriamente, atingindo cerca de 80% da população, os sistemas de esgoto cobrem menos de 50% dessa população (IBGE, 2000). Segundo o Censo de 2000, temos 2.958.831 domicílios cujo abastecimento de água é realizado de forma rudimentar e 3.705.308 domicílios sem banheiro ou sanitário. Em relação ao esgotamento sanitário, existem 10.594.752 domicílios que utilizam fossa rudimentar, 1.154.910 que utilizam a vala e 1.110.021 que utilizam rio, lago ou mar como forma de esgotamento. Sendo que praticamente a totalidade da população da zona rural do Brasil encontra-se nesta situação (PMSS, 2006).

No litoral paranaense ficou evidenciada a falta e/ou a falha nas estruturas individuais de tratamento de esgoto, por meio dos resultados obtidos no monitoramento realizado pelo Instituto Ambiental do Paraná - IAP nos últimos anos, constatando balneabilidade imprópria em determinadas praias (IAP, 2007), este é somente um exemplo do que ocorre em todo o litoral brasileiro. Apesar dos investimentos realizados no setor, percebe-se a dificuldade em beneficiar às comunidades rurais do litoral por meio de processos de tratamento de esgoto coletivo por causa do alto custo, mantendo-se a indicação do uso de sistemas individuais. Pesquisas realizadas por van Kaick *et al* (2005), demonstraram que as estruturas convencionais individuais, as fossas sépticas seguidas de sumidouro, implantadas na Ilha Rasa no município de Guaraqueçaba são ineficientes, tornando-se um foco de contaminação por entoparasitoses.

Este cenário é a realidade de grande parte da população da zona rural dos países em desenvolvimento. Para alterar este quadro tem-se desenvolvido tecnologias apropriadas para o tratamento de esgoto simples, com baixo consumo energético e custo de implantação e de fácil operação e manutenção. O enfoque não tem sido apenas para as questões técnicas, mas segundo Philippi (1997), tem sido freqüente nas conferências da Internacional Water Association – IWA, a discussão sobre as questões relacionadas à sustentabilidade da gestão da água e conceitos de descentralização.

Segundo Rattner (1992) a tecnologia apropriada vista por meio de um prisma social, pode ser referida como “tecnologia sadia”, a qual é necessária para que ocorra o desenvolvimento sustentável. Para este mesmo autor, este tipo de tecnologia é dependente do entendimento da cultura da população que será beneficiada, pois se os grupos locais não estiverem bem preparados para aceitar e/ou assimilar os impactos e as conseqüências das transformações ocorridas durante a implantação e operação da nova tecnologia, então, esta não será bem sucedida. Além do entendimento da cultura da população atendida, a UNESCO reconhece que o apoio e a legitimidade social das atividades científicas e tecnológicas dependem em grande parte da sua eficiência em satisfazer as necessidades básicas da população (UNESCO, 2004).

Pertencendo ao grupo das tecnologias da sustentabilidade, a tecnologia apropriada está colocada como uma intervenção transformadora do mundo da necessidade, pois colabora com o desenvolvimento local através da simplicidade e funcionalidade de seu processo (VAN KAICK, 2002). Segundo Bezerra e Bursztyn (2000) o desenvolvimento sustentável implica em incorporar o compromisso com a intervenção transformadora do mundo da necessidade, o que requer um acervo de conhecimentos e de habilidades de ação para a implementação de processos tecnicamente viáveis e eticamente desejáveis.

Na busca por soluções eficientes para o tratamento de esgoto, foram desenvolvidos em parceria com empresas privadas, prefeituras, universidades e apoio de ONGs no Paraná, diversos modelos de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) por zona de raízes.

Os primeiros estudos com sistema de zona de raízes ou também conhecido por Wetlands construídos de fluxo vertical, foram realizados na década de 70 na Alemanha, e eram denominados inicialmente como Max Planck Institut Process, e a concepção de tratamento é análoga aos filtros de areia, e o esgoto precisa passar antes pela fossa séptica para depois ser lançado por meio de tubulações perfuradas na área plantada do filtro, ou seja, na zona de raízes plantada em cima de um filtro físico composto por um material de suporte como cascalho ou pedra britada e areia grossa (PHILIPPI, 1997; VAN KAICK, 2002).

A presença das plantas nestes filtros, segundo Brix (1997), contribui na eficiência do tratamento de esgoto de 6 formas: i) estabilização da superfície do filtro; ii) promoção de boas condições para o processo físico de filtração; iii) prevenção contra a colmatação em filtros de fluxo vertical; iv) aeração da rizosfera (região de contato entre solo e raízes); v) retirada de nutrientes devido o requerimento nutricional das plantas; e vi) embelezamento paisagístico.

Segundo Weiss (1994), as plantas, independentemente do gênero a que pertençam, devem ter no mínimo características básicas como: aerênquimas bem desenvolvidos (Figura 1a) no caule e raízes que devem ser em forma de cabeleira (Figura 1b). O autor Seitz (1995) e documentos do IWA (2000) aconselham que as plantas, além de apresentarem as características descritas, devem ser de preferência nativas da região ou da área de instalação da ETE, por estarem adaptadas às condições climáticas do local da instalação das ETEs.

**Figura 01: Características básicas das plantas para serem utilizadas, a) aerênquima bem desenvolvido da planta *crinum* spp., e b) as raízes em forma de cabeleira.**



Autor: ARTEN, A. R.

A ETE por Zona de Raízes desenvolvida no Brasil tornou-se um produto diferenciado daquele utilizado na Alemanha. Nas ETEs nacionais foram realizadas uma série de adaptações para atender as condições locais, apresentando baixo custo de implantação e manutenção, devido ao aproveitamento dos recursos locais – inclusive plantas nativas, utilização de materiais alternativos e por não usar equipamentos elétricos para a aeração e condução do tratamento do efluente. Estas ETEs foram desenvolvidas objetivando atingir as seguintes metas:

- Evitar a contaminação do solo ao redor da residência por efluente doméstico não tratado, que pode conter agentes patogênicos, ovos e cistos de verminoses, e que influenciam negativamente à saúde da família (comunidades rurais /costeiras);
- Tratar o efluente por meio de uma tecnologia de baixo custo e fácil manutenção;
- Mudar a consciência em relação aos cuidados com a água e seus usos na residência, por meio da observação do crescimento, do desenvolvimento e do aspecto paisagístico e da qualidade do efluente tratado que sai da estação de tratamento de esgoto;
- Integrar o sistema de tratamento de esgoto com a paisagem local, utilizando plantas nativas em áreas de Proteção ambiental, e plantas com potencial paisagístico, em áreas da zona urbana;
- Incluir o sistema de tratamento de esgoto como um elemento estético integrado ao jardim da residência, justamente por não exalar odores possibilitando transformá-lo em um local de observação;
- Incrementar a fonte de renda nas comunidades pesqueiras com a adequação das condições de qualidade do corpo d'água para se enquadrar nas condições exigidas pela Legislação Ambiental para a prática da maricultura, tornando-a um reforço de ordem econômica segura;
- Trabalhar com um sistema de tratamento de esgoto que não necessite de equipamentos que utilizem energia, funcionando todo ele por gravidade e pela ação de oxigenação das plantas.

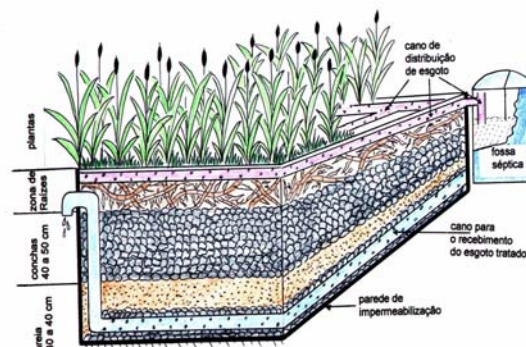
## Objetivo

Este trabalho tem como objetivo demonstrar as adaptações realizadas nas Estações de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes realizadas no Brasil, e o resultado obtido em cada experimento e a comparação da eficiência do tratamento do efluente, utilizando os parâmetros de DBO, DQO e Coliformes Totais e Termotolerantes.

## Materiais e métodos

As ETEs pesquisadas são compostas por três tipos de materiais acondicionados em uma área impermeabilizada que irá constituir o filtro propriamente dito. É seguida a lógica do biofiltro (pedra brita e areia), tendo porém mais um filtro auxiliar composto por plantas (Figura 2). O 1º filtro é a zona de raízes formada por espécies vegetais que apresentam aerênquimas, possibilitando o processo aeróbico do tratamento; o 2º contém pedra brita ou material similar e o 3º areia grossa, ocorrendo nestes dois últimos o processo anaeróbico do tratamento. O efluente bruto é lançado por gravidade através de uma tubulação que vem diretamente da fossa séptica para a zona de raízes, enquanto o efluente tratado é captado por tubulações que ficam abaixo da camada de areia.

Figura 02: Desenho esquemático da ETE por zona de raízes



A ETE 1 foi construída para atender a demanda da Escola Municipal Padre Luigi Salvucci no município de Foz do Iguaçu - PR, a escola atende 1.500 alunos em dois turnos e um terceiro turno com 850 pessoas, com um total de 2.350 pessoas, foi estimado um consumo diário de 47.000 litros de água, considerando um consumo de 20 litros/aluno. A ETE tem uma dimensão de 6m x 8m x 1m, o material utilizado para impermeabilizar foi à lona plástica e a camada de zona de raízes é composta por 2 espécies de plantas exóticas (*Cana indica*, Papiro do Nilo – *Cyperus papyrus*) e 3 nativas ( Helicônias, Mini-Papiro e Junco), sendo que a *Cana-indica* predominou e tomou conta de toda a área da ETE, depois de três meses do plantio.

A ETE 2 foi construída para uma residência no município de Campos do Jordão – SP, que apresenta um consumo diário de 2000 litros de água, a dimensão desta estação é de 5,5m x 3m x 1m, a camada de zona de raízes foi com a planta exótica *Zantedeschia aethiopica* (Copo-de-Leite).

A ETE 3 foi construída para uma residência a beira mar, em uma área de proteção ambiental no município de Guaraqueçaba – PR, que apresenta um consumo diário de 500 litros. A ETE possui uma área de 2,30mX2,30mX1m e o isolamento foi construído em concreto armado com laje no piso, para suportar a ação da maré. A zona de raízes foi constituída por plantas da espécie nativa *Cladium mariscus*, e o filtro de brita foi substituído por conchas de ostras.

A ETE 4 foi construída para uma residência na Reserva Natural Morro da Mina, no município de Morretes – PR, que apresenta um consumo diário de 240 litros. O isolamento foi realizado com lona plástica e a planta utilizada foi a espécie nativa *Typha domingensis*, para compor a zona de raízes.

A ETE 5 foi construída para um alojamento de guarda-parques na Reserva Natural Serra do Itaqui, no município de Guaraqueçaba – PR, apresenta um consumo diário de 300 litros. A estação é de alvenaria com uma área de 1mX 1mX 1m e a planta utilizada para compor a zona de raízes foi a espécie nativa *Crinum salsum*.

A ETE 6 foi construída para uma residência na Reserva Natural Rio Cachoeira (RNRC), no município de Antonina – PR. A estação foi impermeabilizada com uma caixa d'água de 1000 litros com as dimensões de 1,30mX 0,90mX 0,80m, para uma demanda de 4 pessoas e a planta foi a espécie nativa *Typha domingensis*. Nesta ETE foi tratado todo o esgoto proveniente do banheiro, ou seja, chuveiro, pia do banheiro e vaso sanitário.

A ETE 7 foi construída para uma residência na Reserva Natural Rio Cachoeira (RNRC), no município de Antonina – PR. A estação foi impermeabilizada com uma caixa d'água de 1000 litros com as dimensões de 1,30mX 0,90mX 0,80m, para uma demanda de 5 pessoas e a planta utilizada foi a espécie nativa *Typha domingensis*. Nesta ETE foi tratado o efluente proveniente do vaso sanitário, passando antes por uma fossa séptica e lançado da ETE por um ramal da tubulação de dispersão de esgoto, e no outro ramal eram distribuídas as águas provenientes do chuveiro, que não passavam por fossa séptica ou caixa de gordura.

A ETE 8 foi construída para uma residência na Reserva Natural Rio Cachoeira (RNRC), no município de Antonina – PR. A estação foi impermeabilizada com uma caixa d'água de 1000 litros com as dimensões de 1,30mX 0,90mX 0,80m, para uma demanda de até 8 pessoas e a planta foi a espécie nativa *Typha domingensis*, e só foi tratado o efluente proveniente do vaso sanitário.

Foram realizadas as análises das amostras do efluente bruto e tratado para os parâmetros físico-químicos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) na 8 ETEs, e dos parâmetros biológicos de Coliformes termotolerantes e totais em 7 ETEs. O cálculo da eficiência de remoção em porcentagem, foi realizada por meio das médias obtidas nos resultados de cada amostra realizada nas ETEs, e a eficiência geral da ETE foi calculada pelas médias totais destes resultados.

## Resultados

As ETEs por zona de raízes demonstraram uma eficiência média de redução do esgoto bruto para o tratado de 88% para DBO (mg/L) e 86% para DQO (mg/L) (Tabela 01). Esta tecnologia se

mostrou viável para ser implantada em área da zona rural, principalmente naquelas que se encontram próximas à área alagadas, beira mar e em solos hidromórficos, e em Unidades de Conservação e áreas de mananciais de regiões metropolitanas não atendidas por sistemas de coleta e tratamento de esgoto, porque atendem os limites indicados para os parâmetros de DBO sugeridos pelo Instituto Ambiental do Paraná - IAP, e pela legislação ambiental de São Paulo, para lançamento de efluentes.

**Tabela 01: Eficiência média dos parâmetros físico-químicos das ETEs.**

Parâmetros	Eficiência média em %
DBO (mg/L)	<b>88</b>
DQO (mg/L)	<b>86</b>

Os resultados dos parâmetros físico-químicos (DBO e DQO) das 8 ETEs por zona de raízes estudadas encontram-se nas tabelas 02 e 03, e pode-se observar que as estações obtiveram uma eficiência média acima dos 85% (Tabela 01), reduzindo a carga de matéria orgânica nos limites estabelecidos de 60mgO<sub>2</sub>/L para DBO e de 120mgO<sub>2</sub>/L para DQO, para lançamento de efluentes em corpos d'água, indicados pelo IAP.

**Tabela 02: Resultado dos parâmetros físico-químicos das ETEs analisadas.**

Parâmetros	ETE 1			ETE 2	ETE 3			ETE 4		
	Efluente			Efluente Tratado	Efluente			Efluente		
	Bruto	Tratado	%		Bruto	Tratado	%	Bruto	Tratado	%
DBO (mg/L)	<b>195</b>	<b>45</b>	<b>77</b>	<b>20</b>	<b>362</b>	<b>58</b>	<b>84</b>	<b>615</b>	<b>70</b>	<b>89</b>
DQO (mg/L)	<b>527</b>	<b>122</b>	<b>77</b>	<b>52</b>	<b>590</b>	<b>108</b>	<b>82</b>	<b>1498</b>	<b>209</b>	<b>86</b>

**Tabela 03: Resultado dos parâmetros físico-químicos das ETEs analisadas..**

Parâmetros	ETE 5			ETE 6			ETE 7			ETE 8		
	Efluente			Efluente			Efluente			Efluente		
	Bruto	Tratado	%	Bruto	Tratado	%	Bruto	Tratado	%	Bruto	Tratado	%
DBO (mg/L)	<b>294</b>	<b>42</b>	<b>86</b>	<b>1657</b>	<b>35</b>	<b>98</b>	<b>1929</b>	<b>59</b>	<b>97</b>	<b>330</b>	<b>36,85</b>	<b>89</b>
DQO (mg/L)	<b>686</b>	<b>209</b>	<b>70</b>	<b>6234</b>	<b>118</b>	<b>98</b>	<b>2350</b>	<b>103</b>	<b>95</b>	<b>2113</b>	<b>140</b>	<b>93</b>

Nas ETEs instaladas na Alemanha as áreas utilizadas para o tratamento de efluente na zona de raízes, segundo Bahlo (1996) e Ambros (1998), chegam a ser de 3 a 5m<sup>2</sup>. As pesquisas realizadas no Brasil demonstraram que é possível reduzir estas áreas para 1m<sup>2</sup> por pessoa chegando em alguns casos a até aproximadamente 0.67m<sup>2</sup> por pessoa, mantendo a eficiência. Estas reduções das áreas não afetaram a eficiência das ETEs, já que os resultados demonstram que das 8 ETEs estudadas que possuem área de filtro para tratamento de 1m<sup>2</sup> a 0,67 m<sup>2</sup> por pessoa, alcançaram em sua maioria limites menores que os 60mg/L de DBO exigidos pela legislação, reduzindo em média 88% de matéria orgânica do efluente (Tabela 03).

As pesquisas realizadas por Lehman (1990) e Bahlo (1996), demonstraram que as ETEs por meio de zona de raízes podem evaporar de 800 –1000 litros de água por m<sup>2</sup> por ano. No verão europeu a evaporação da água que entra na ETE pode ser de até 30% por meio das plantas. O autor Ambros (1998), identificou em suas pesquisas uma média anual de evaporação de água pelas

plantas que chega a 1000 litros por ano, o que corresponde a 25% da evaporação da água que entra na ETE. Em climas tropicais, onde a insolação ao longo do ano pode ser maior do que em regiões européias e sem as condições climáticas do inverno europeu, a probabilidade da evaporação da água da ETE pela planta pode ser de aproximadamente 40%.

Na camada do filtro composto pelas plantas (zona de raízes) é onde ocorre a fixação das bactérias que recebem oxigênio. O oxigênio retirado da atmosfera é conduzido por meio dos aerênquimas da folhas, do caule que chegam até as raízes das plantas. Em troca, as bactérias decompõem a matéria orgânica, transformando-a em nutrientes que são consumidos pelas plantas e bactérias. Nos sistemas convencionais anaeróbios de tratamento de efluente, o processo de decomposição da matéria orgânica libera gases que produzem mau cheiro. No caso desta ETE, os gases produzidos pelo processo anaeróbio que fica na camada logo abaixo das raízes, são filtrados quando atravessam a camada composta pela zona de raízes, que funcionam como um filtro, evitando a exalação de odores. Já a atuação das bactérias aeróbias na camada das raízes, não produz gases que exalam odores desagradáveis, o que diferencia a ETE por zona de raízes dos sistemas convencionais de tratamento de esgoto.

Para formar a zona de raízes destas estações, segundo Seitz (1995), os juncos do gênero *Phragmites* são os mais utilizados, mas segundo Ambros (1998), já existem 150 espécies de plantas conhecidas para serem utilizadas em ETEs por meio de zona de raízes. Destas 150 espécies o autor sugere as seguintes espécies com resultados comprovados:

- 1) *Phragmites australis*;
- 2) *Typha latifolia*;
- 3) *Acorus calamus*;
- 4) *Iris pseudacorus*;
- 5) *Schoenoplectus lacustris*;

A maioria das plantas utilizadas nas ETEs por zonas de raízes são plantas consideradas exóticas para a flora brasileira, com exceção da *Typha* spp que são consideradas cosmopolitas. No Brasil foram testadas algumas destas plantas acima mencionadas como a *Phragmites communis*, utilizada por Corbeline (1995) em leitos de secagem de lodo. Leopoldo *et al.* (2000), utilizaram a planta *Juncus sellovianus* e *Echinocloa cruz pavones* em uma estação de tratamento de efluente implantada na colônia de trabalhadores rurais da Fazenda Experimental Lageado.

Neste artigo foram analisados os resultados obtidos em seis ETEs por zona de raízes onde foram utilizadas três espécies de plantas nativas, *Cladium mariscus* (ETE 3), *Typha domingensis* (ETE 4, 6, 7 e 8) e *Crinum salsum* (ETE 5) (Figura 03), as quais são nativas da APA de Guaraqueçaba e duas ETEs por zona de raízes com as plantas exóticas *Cana indica*, Papiro do Nilo, Helicônias, Mini-Papiro, Junco (ETE 1 - Figura 04a), e o copo-de-leite - *Zantedeschia aethiopica* (ETE 2- Figura 04b). As ETEs com plantas nativas obtiveram eficiência acima dos 80% nas reduções de DBO e DQO (Tabela 02 e 03), enquanto as plantas exóticas estão nos níveis exigidos pela legislação ambiental, porém com uma eficiência de 77% (Tabela 02). Parte do processo de conscientização dos usuários em relação ao tratamento do esgoto se faz utilizando a percepção destes em relação à planta tornando-a um dos indicadores de eficiência da estação pelo aspecto das mesmas, assim como a possibilidade de visualizar o efluente tratado (Figura 05), que causa um impacto positivo no usuário das ETEs.

Figura 03: a) ETE 1 com a planta nativa *Cladium mariscus*; b) ETE 7 com a planta *Typha domingensis*; e c) ETE 5 com a planta *Crinum salsum*.



Figura 04: ETE 1 com uma mistura de plantas exóticas *Cana indica*, Papyrus do Nilo, Helicônias, Mini-Papyrus, Junco, predominando a *Cana indica* (a) e copo-de-leite (b)

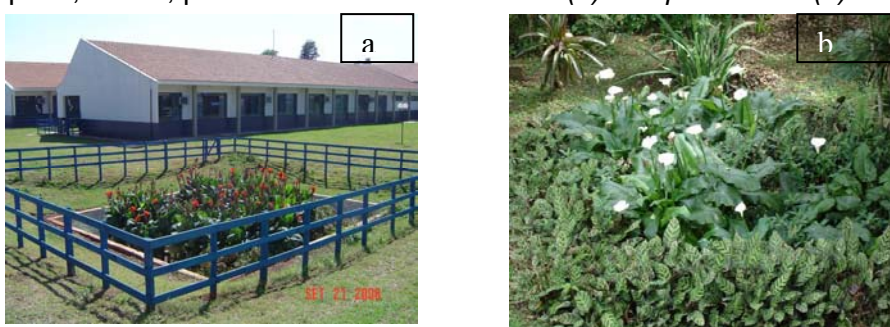


Figura 05: Comparação entre o efluente que entra e o que sai da ETE por zona de raízes, frasco esquerdo efluente bruto e direito efluente tratado.



As ETEs por zona de raízes são, portanto, sistemas vivos que interagem com o ambiente. Esta condição afeta um dos parâmetros biológicos, os Coliformes Totais, que apresentam uma interferência em sua eficiência causada pelas plantas da zona de raízes, e pela interação com ambiente, podendo-se explicar os resultados não muito significativos na redução de Coliformes totais, que não apresentarem uma grande remoção, apresentando 59% de eficiência para este parâmetro (Tabela 04 e 05), já em relação aos coliformes termotolerantes, os resultados são muito mais satisfatórios, ocorrendo uma eficiência de remoção que varia entre 70% a 99% (Tabela 04 e 05). Estes resultados podem ser explicados devido à presença das próprias plantas que, desenvolvendo um ambiente propício possuem uma dinâmica ambiental que necessariamente interage com diversas formas de Coliformes que correspondem aos Coliformes totais. Isto significa que bactérias provenientes das plantas presentes no sistema influenciam o resultado mantendo uma constância nos coliformes totais. Já os Coliformes termotolerantes, devido ao ambiente desfavorável de competição para os mesmos, e pela presença do filtro de areia, sofrem uma constante redução nestes sistemas de tratamento de esgoto.

Portanto, na análise dos parâmetros microbiológicos, coliformes totais, é possível detectar bactérias advindas do solo, da água, de plantas e do próprio efluente, sendo, portanto este tipo de

análise não é recomendável para estações que utilizem um sistema vivo, como as plantas. Em análises futuras é aconselhável utilizar como parâmetro para indicar a contaminação microbiológica, a análise de *Escherichia coli* a qual evidencia apenas a contaminação de origem fecal.

**Tabela 04: Resultado dos parâmetros biológicos das ETEs analisadas.**

Parâmetros	ETE 1			ETE 2	ETE 3			ETE 4		
	Efluente			Efluente Tratado	Efluente			Efluente		
	Bruto	Tratado	%		Bruto	Tratado	%	Bruto	Tratado	%
Coliforme Total	-	-	-	-	$5,1 \times 10^6$	$2,1 \times 10^6$	x 59	$2,1 \times 10^7$	$2,4 \times 10^5$	99
Coliforme Termotolerantes	-	-	-	170	$1,4 \times 10^7$	$1,3 \times 10^6$	x 90	$3,9 \times 10^5$	$6,8 \times 10^4$	82

**Tabela 05: Resultado dos parâmetros biológicos das ETEs analisadas..**

Parâmetros	ETE 5			ETE 6			ETE 7			ETE 8		
	Efluente			Efluente			Efluente			Efluente		
	Bruto	Tratado	%	Bruto	Tratado	%	Bruto	Tratado	%	Bruto	Tratado	%
Coliforme Total	$1,6 \times 10^{10}$	$5,0 \times 10^5$	99	7351	$9,5 \times 10^3$	99	7420	$118 \times 10^3$	99	171	$183 \times 10^3$	98
Coliforme Termotolerantes	$8,0 \times 10^{10}$	$1,4 \times 10^5$	99	2000	$9,5 \times 10^3$	99	2005	$64,3 \times 10^3$	99	0,7	$18 \times 10^3$	74

A construção de alguns dos modelos da ETE se deu em comunidades tradicionais, e o processo foi realizado de forma participativa, com o objetivo de repassar o conhecimento da tecnologia para os próprios usuários. Esta forma de inserir e repassar a tecnologia aliada à simplicidade e o tipo de tecnologia, insere a ETE por zona de raízes como tecnologia apropriada e social, principalmente porque atende os seguintes princípios: a) Aproveitamento dos recursos locais; b) Utilização social desses recursos para a população local; c) Desenvolvimento de tecnologias apropriadas ao contexto ecológico e social; d) Fortalecimento de uma estrutura institucional que possibilite a participação efetiva da população; e) Aumento das oportunidades econômicas e do nível de renda da população e formulação de programas de educação, visando à melhoria das condições ambientais.

## Conclusão

Os patamares do desenvolvimento sustentável começam a ser alcançados quando as questões básicas da sociedade começam a ser solucionadas. Dentre as questões básicas, uma das mais relevantes está relacionada ao saneamento básico. A análise dos processos de implantação de forma participativa e dos resultados das amostras do efluente tratado das ETEs por zona de raízes, permitiu identificar a mesma como sendo uma tecnologia apropriada, podem vir a contribuir para amenizar um dos gargalos do desenvolvimento sustentável - que é a falta de saneamento básico, e trazer uma melhor qualidade de vida para as populações carentes destes serviços. Esta possibilidade na melhoria da qualidade de vida por meio da oferta de saneamento adequado, viabiliza uma nova perspectiva para o desenvolvimento de outros setores, incrementando o potencial econômico e ambiental local.

As inovações realizadas nas ETEs por zona de raízes, que as pesquisas paranaenses viabilizaram, permite atender com tratamento adequado comunidades da zona rural, principalmente em áreas alagadas e de linha de maré e também residências e escolas da zona urbanas não atendidas por rede coletora de esgoto. Um dos pontos fortes desta tecnologia é a sua flexibilidade para se adaptar a diferentes ambientes, a utilização de recursos locais, além de ser uma ferramenta para educação ambiental.

Durante o desenvolvimento deste trabalho/pesquisa a conscientização, capacitação e o repasse da técnica para as comunidades foram priorizadas, resultando na construção participativa de cerca de 50 ETEs em Unidades de Conservação do litoral do Estado do Paraná e em áreas de mananciais da região metropolitana de Curitiba, assim como estações de maior porte nos municípios de Foz do Iguaçu e Campos do Jordão.

A troca de informação contínua entre os pesquisadores e a população local, beneficiados com a nova tecnologia, possibilitou um intercâmbio que foi considerado tão importante quanto o desenvolvimento da própria tecnologia, pois é nesta ação preliminar é que se vai determinar o sucesso ou fracasso da aplicação da nova tecnologia. É baseado nos resultados observados em relação à mudança de comportamento dos usuários das ETEs durante este intercâmbio, ficou comprovado que este sistema também pode ser um forte instrumento de educação ambiental.

O desenvolvimento de tecnologias acessíveis, simples e eficazes para o saneamento básico são ferramentas importantes que possibilitam o desenvolvimento sustentável associado com a conservação ambiental.

## Referências bibliográficas

- AMBROS; EHRHARDT; KERSCHBAUMER. Pflanzen-kläranlagen selbst gebaut. Stuttgart: L. S. Verlag, 1998. 148 p.
- BAHLO, K.; WACH, G. Naturnahe Abwasserreinigung. Freiburg: Ökobuch, 1996. 137 p.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução Nº 274 de 29 de novembro 2000 - Revisa os critérios de Balneabilidade em Águas Brasileiras. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em : <<http://www.mma.gov.br/port/conama>> Acesso em: 12 jul. 2003.
- FUNASA-FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Manual de Saneamento. Ministério da Saúde, 225 p. Brasília, 1994.
- IAP – INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Balneabilidade das praias do litoral do Paraná. Boletim nº 15 – 18/02 à 23/03/2007. Disponível em: [www.pr.gov.br/meioambiente/iap/pdf/bb\\_litoral.pdf](http://www.pr.gov.br/meioambiente/iap/pdf/bb_litoral.pdf). Acessado em: 02/04/2007.
- IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – Censo 2000. Disponível em: [www.ibge.Br/ibge/estatística/população/condicaodevida/indicadoresminimos/tabela3.shtm](http://www.ibge.Br/ibge/estatística/população/condicaodevida/indicadoresminimos/tabela3.shtm). Acessado em: 03/01/2002.
- IWSC-INTERNATIONAL WATER AND SANITATION CENTER. Banco Mundial. Monitoreo de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en Agua y Saneamiento. Una Revisión de experiencias y desafíos. 82 p. Lima, 2004.
- LEHMANN, M. Einfluss Klimatischer Faktoren auf die Reinigungsleistung von Abwässern in Pflanzenkläranlagen. Dipl.-Arb., Lehrst. Geographie, Univ. München., 1990
- ONU-ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – BRASIL. Sumário executivo: uma leitura das nações Unidas sobre os desafios e potenciais do Brasil. Brasília, 2005. Disponível em: [www.onu-brasil.org.br/doc/CCABrasil2005-por.pdf](http://www.onu-brasil.org.br/doc/CCABrasil2005-por.pdf). Acessado em 01/03/2007.
- PAS-LAC-PROGRAMA DE ÁGUA Y SANEAMIENTO REGIÓN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. Water and Sanitation Program World Bank. Sistemas de información en agua y saneamiento Experiencias y lecciones aprendidas de America Latina, 52 p. Peru, 2005.



02 a 05 de junho 2008  
Campus Irati



- PHILIPPI, L. S. Saneamento descentralizado como instrumento para o desenvolvimento sustentável, 84 p. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.
- PMSS-PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR DE SANEAMENTO. Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de saneamento Ambiental. Brasília, 2006. Disponível em: [www.pmss.gov.br/pmss](http://www.pmss.gov.br/pmss). Acessado em 06/02/2006.
- RATTNER, Henrique. Tecnologia e desenvolvimento sustentável. Universidade e Sociedade. São Paulo, Ano II, n. 4, dez., 1992.
- SEITZ, P. Naturnahe Abwasserreinigung mit Pflanzensystemen. Stadt und Grün, p. 494 – 497, jul. 1995.
- UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. A ciência para o século XX: Uma visão nova e uma base de ação. Declaração de Santo Domingo. Disponível em: <<http://www.unesco.org.br/publica/index.html>> Acesso em: 06 abr. 2004.
- VAN KAICK, T. S. Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná. Curitiba, 2002. 116 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Programa de Pós- Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.
- VAN KAICK, T. S., MACEDO, C. X. e PRESZNHUK, R. A. O. Parasitoses intestinais como indicadores da inadequação da infra-estrutura de saneamento – estudo de caso Ilha Rasa/Paraná. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais e Saúde – 5 CBPAS, 2005, Santos. Anais do V CBPAS, Santos: COPEC.
- WEISS, H. Optimierung der Nährstoffentfernung von Bewachsenen Bodenfiltern (Horizontalfilter) Empfehlung für Bemessung Bau und Betrieb. München, 1994. Diplomarbeit – Fachhochschule Ravensburg-Weingarten.
- WSP-WATER AND SANITATION PROGRAM. World Bank. Report 2002-2003, 55 p. Índia, 2004.