

## TRATAMENTO DE ESGOTO POR ZONA DE RAÍZES: ANÁLISE E EFICIÊNCIA<sup>1</sup>

PAROLIN, Mauro<sup>2</sup>, CRISPIM, Jefferson de Queiroz<sup>3</sup>, KAICK, Tamara Simone Van<sup>4</sup>

**RESUMO:** Foi realizada a implantação e avaliação de 18 estações de tratamento de esgoto por zona de raízes (ETEZR), de fluxo sub-superficial vertical, instaladas em pequenas propriedades rurais do Brasil, municípios paranaenses de Campo Mourão (10), Rancho Alegre d'Oeste (7) e Corumbataí do Sul (1). As ETEZR são biofiltros associados a plantas macrófitas, utilizados para o tratamento de esgoto doméstico em pequena escala e de forma descentralizada. A pesquisa que faz parte do Edital MCT/CNPq/CT-Agronegócio/CT-Hidro nº 27/2008, e teve como objetivo instalar e analisar a eficiência destes filtros biológicos. Para tanto a avaliação foi expressa por parâmetros físico-químicos (pH; turbidez; Demanda Química de Oxigênio; Demanda Bioquímica de Oxigênio e fósforo). A eficiência média foi de: 83% para turbidez; 87,4% para DQO; 84,3% para DBO<sub>5</sub> e 77,5% para o fósforo. Nesse sentido as ETEZR constituem-se em uma importante tecnologia que merece ser mais estudada e avaliada para a melhoria da qualidade ambiental rural e urbana.

**Palavras-chave:** águas residuárias, saneamento básico, saneamento rural, biofiltros.

## SEWAGE TREATMENT FOR ROOT ZONE ANALYSIS AND EFFICIENCY

**ABSTRACT:** We conducted the implantation and evaluation of 18 wastewater treatment plants for the root zone (ETEZR), subsurface flow vertically installed on small farms in Brazil, Paraná municipalities of Campo Mourão (10), Rancho Alegre do Oeste (7) and Corumbataí do Sul. The ETEZR biofilters are associated with macrophytes plants used for the treatment of domestic sewage in small scale and decentralized. The research is part of the Notice MCT / CNPq / CT-Agribusiness / CT Hydro No. 27/2008, has to install and designed to analyze the efficiency of biological filters. For this evaluation was expressed by physical and chemical parameters (pH, turbidity, Chemical Oxygen Demand, Biochemical Oxygen Demand and phosphorus). The average efficiency was of the average efficiency of average efficiency: 83% for turbidity, 87.4% for COD, BOD<sub>5</sub> and 84.3% to 77.5% for phosphorus. In this sense the ETEZR constitute an important technology that deserves to be further studied and evaluated for the improvement of rural and urban environmental quality.

**Keywords:** wastewater, basic sanitation rural sanitation, bio filters.

<sup>1</sup> Trabalho financiado pelo CNPq processos 574393/2008-0 e 573504/2008-3.

<sup>2</sup> Doutor da Universidade Estadual do Paraná (Campus da Fecilcam); [mauroparolin@gmail.com](mailto:mauroparolin@gmail.com).

<sup>3</sup> Doutor da Universidade Estadual do Paraná (Campus da Fecilcam); [jeffersoncrispim@hotmail.com](mailto:jeffersoncrispim@hotmail.com).

<sup>4</sup> Doutora Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná; [tamara.van.kaick@gmail.com](mailto:tamara.van.kaick@gmail.com).

## INTRODUÇÃO

O esgoto doméstico não tratado ainda é considerado uma das maiores fontes de poluição dos corpos hídricos no Brasil (JORDÃO, 2009). No território brasileiro a coleta de esgoto por rede geral passou de 52,2% dos municípios em 2000 para 55,2% em 2008 (PNSB, 2008). Deve-se ainda ressaltar que a importância do tratamento de esgoto não corresponde apenas à melhoria da qualidade dos corpos hídricos, mas que investimentos em saneamento básico reduzem significativamente os gastos com serviços públicos de saúde, segundo dados da Fundação Nacional da Saúde (2006), a relação de investimento em saneamento significa que a cada R\$1,00 investido no setor tem-se cerca de R\$4,00 reais economizados com saúde. Para Phillippi e Sezerino (2004) a qualidade e o acesso aos serviços de saneamento estão diretamente relacionados à saúde pública. Ainda segundo os mesmos autores, a água encanada e tratada é considerada um grande benefício para as comunidades, mas se esse serviço não vier acompanhado de um sistema de tratamento de esgoto adequado poderá, em certos casos, não acabar com os problemas de saúde relacionados à veiculação hídrica, tal como verminoses, hepatite e diarreia.

A busca por estruturas de saneamento mais sustentáveis do ponto de vista da eficiência, e ao mesmo tempo de baixo custo, indicam como uma das opções o sistema por zona de raízes que utiliza plantas no tratamento de águas residuais (PHILIPPI JUNIOR e SEZERINO, 2004).

A estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes (ETEZR) é um sistema que utiliza um processo de filtragem física em brita e areia, constituindo um biofiltro que está associado a plantas, estas devem formar a zona de raízes (KAICK, 2002; PHILIPPI E SEZERINO, 2004). O sistema por zona de raízes, na sua concepção, busca aproveitar-se da capacidade da natureza de autodepuração, existem variações no seu padrão construtivo e formas de aplicação, os quais recebem outras denominações como Sistema de Banhados, *Wetlands* nos USA, Sistema Hidrobotânico, Biótopos Artificiais (SILVA, 2008; PHILIPPI E SEZERINO, 2004).

Silva (2008) informa que nas ETEZR a degradação das substâncias poluidoras contidas na água ocorre através da simbiose entre plantas, solo e/ou substrato artificial e microorganismos. Segundo o mesmo autor, a função principal das plantas consiste em fornecer oxigênio ao solo/substrato através de rizomas que possibilitam o desenvolvimento de uma população densa de microorganismos, que finalmente são responsáveis pela remoção dos poluentes da água. Toda a água tratada e polida pela Zona de Raízes pode ser devolvida à natureza sem prejuízos, evitando assim a sobrecarga de nutrientes aos corpos hídricos (PHILIPPI JUNIOR e SEZERINO, 2004), e sem a contaminação do solo por ovos e cistos de verminoses no caso de ser lançado em valas de infiltração. Segundo Phillippi e Sezerino (2004); Silva (2008) os sistemas com plantas são eficientes porque o processo de degradação da matéria orgânica (mineralização, nitrificação, desnitrificação) é mais completo, devido à grande biomassa e sistema radicular com grande capacidade de absorção. A ETEZR consegue reduzir as cargas

orgânicas e nutrientes como Fósforo e Nitrogênio, que ao serem lançados em corpos hídricos podem ocasionar a eutrofização. Para Silva (2008) a estação possui capacidade de reduzir coliformes termotolerantes, e substâncias inorgânicas como fenóis e metais pesados. Sistemas com plantas podem ser configurados como elementos de paisagismo ambiental (Biótopos, por exemplo), em forma de jardins ou parques.

Esse sistema é utilizado com frequência na Europa e América do Norte, no Brasil os estudos foram iniciados na década de 1970, com algumas pesquisas voltadas para lagoas, sendo apenas na década de 1990 que o desenvolvimento científico para este tema começou a aparecer com mais frequência. Os primeiros trabalhos sobre ETEZR realizados no Estado do Paraná foram executados por: Kaick e Sipinski (2000), com uma estação de tratamento piloto na região de Antonina; Kaick (2002), estudo de estações de tratamento implantadas no litoral do Paraná; Kaick e Macedo (2002), na região de Guaraqueçaba; ainda podendo ser citados os trabalhos de Kaick et al., (2005), Lemes et al., (2008), que utilizaram o sistema de fluxo sub-superficial, vertical que consistem em módulos escavados no terreno, preenchidos com material de recheio (em geral brita e areia) com impermeabilização de fundo.

Para este estudo foram avaliadas 18 ETEZR de fluxo sub-superficial, que foram construídas nos municípios brasileiros de Campo Mourão (10), Rancho Alegre do Oeste (7) e Corumbataí do Sul (1). As ETEZR foram implantadas em pequenas propriedades rurais com cerca de 20 hectares, e fazem parte de um programa que visa à melhoria da qualidade de vida de pequenos proprietários e comunidades rurais, em relação ao saneamento (Linha de Fomento CT – Ação Transversal/Edital MCT/CNPq/CT – Agronegócio/CT-Hidro nº27/2008 – Conservação dos recursos hídricos e o aumento da produção de água em unidades rurais de base familiar). A avaliação foi realizada ao longo de 22 meses de acompanhamento das ETEZR instaladas nas propriedades rurais, a fim de identificar o potencial de eficiência das mesmas. Os resultados obtidos foram satisfatórios e além de ser economicamente viável, a ETEZR pode ser utilizada como ferramenta para demonstrar a importância da preservação da qualidade da água.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a construção das ETEZR adaptou-se a metodologia de Kaick (2002) (Figuras 1, 2 e 3) para o sistema de *wetland*, construída de fluxo sub-superficial vertical: a) escavou-se no solo uma área de 4m<sup>2</sup> por 1m de profundidade (Figura 2A); b) a área escavada é revestida por duas camadas de lonas plásticas de 200 micras de espessura para evitar qualquer tipo de contaminação e infiltrações (Figura 2B); c) um quadro equivalente ao tamanho da ETEZR, composto por tubos de Policloreto de Vinila - PVC de 100mm e furados na porção superior (Figura 2C), é colocado sobre a lona no fundo da ETEZR e coberto com brita (Figura 2D); d) posteriormente a estrutura é preenchida 50% com areia grossa (0,50 a 1mm) e 50% com brita nº 2 (até 19mm) (Figura 2E-F); e)

em todas os sistemas, a fossa séptica de concreto foi substituída por duas bombonas plásticas de 220 litros (Figura 3A-D); f) a caixa de gordura foi construída com uma bombona plástica de 60 litros (Figura 3F), o mesmo processo foi utilizado para o caso do esgoto proveniente da lavanderia, nesse caso acrescentou-se carvão vegetal para a adsorção do fósforo em uma bombona plástica de 60 litros (Figura 3E); i) para a formação de zona de raízes optou-se pelo plantio das espécies *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle e *Canna indica* Lily (Figura 2 G-J). A Primeira, por ter grande potencial repelente, conhecida por citronela e, a segunda por ser uma planta com potencial ornamental, conhecida pelo nome vulgar de cana índica ou bananinha de jardim, esta última possui em sua estrutura anatômica aerênquimas desenvolvidos no caule e nas raízes. Nestes aerênquimas o oxigênio é captado pelas folhas e levado pelo caule até as raízes onde se fixam bactérias que recebem este oxigênio. Quanto maior o volume de raízes, como espécies que possuem raízes fasciculadas ou em cabeleira, maior o número de colônias de bactérias com capacidade de degradação da matéria orgânica.

Na base das ETEZR são instaladas drenos com canos de PVC de 100 milímetros responsáveis por conduzir o efluente já tratado para fora da estação (Figura 1), que é disposto em valas de drenagem ou sumidouros construídos no solo.

O esgoto das propriedades é considerado doméstico, pois inclui os efluentes da cozinha (com pré-tratamento – caixa de gordura); banheiro (vaso sanitário/chuveiro e pia) e lavanderia (pré-tratamento – carvão). Em relação à vazão, seguiu-se a indicação da FUNASA (2006), com consumo médio de 120 litros/dia/habitante.

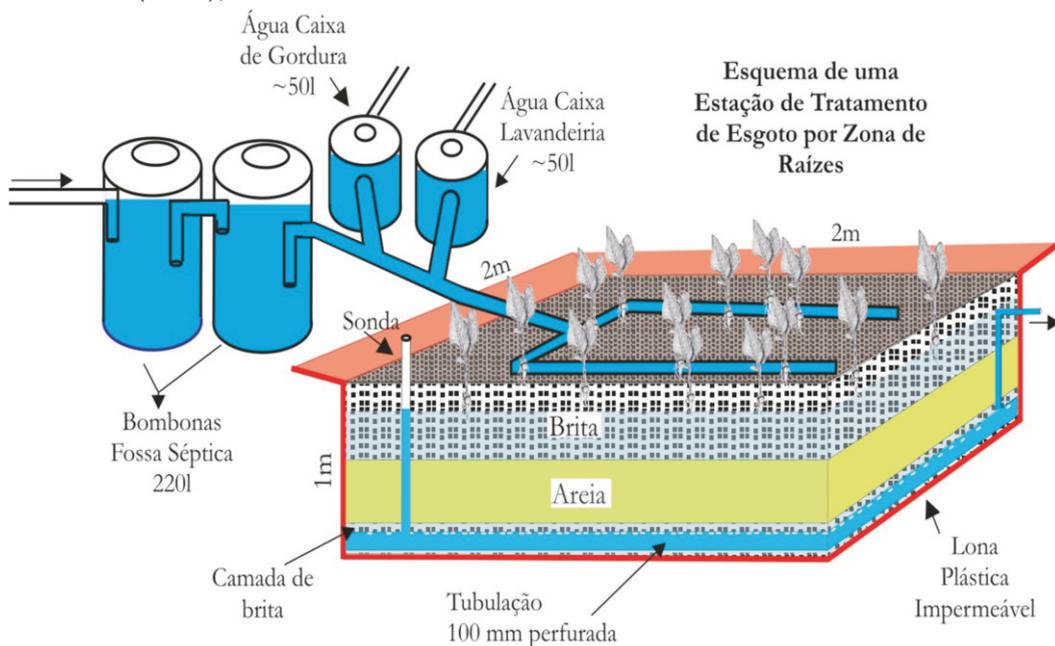


Figura 1 – Perfil da estrutura final de uma ETEZR por zona de raízes.

Fonte: Elaborado pelos autores.



Figura 2 – Algumas das etapas de montagem de uma ETEZR: A) escavação de uma área de 4m<sup>2</sup> por 1m de profundidade; B) impermeabilização com lona plástica e colocação da estrutura coletora; C) canos de PVC perfurados para coleta de efluente no fundo da estação; D) encobrimento dos canos perfurados com brita; E) cobertura de areia ~50cm; F) cobertura com brita ~50cm; G-I) plantio e desenvolvimento de *Canna indica*; J) estação de tratamento após 6 meses. Fonte: acervo dos autores



Figura 3 – Algumas etapas de montagem de uma ETEZR: A) bombonas plásticas que foram utilizadas para fossa séptica, caixa de lavanderia e caixa de gordura; B) bombonas utilizadas para fossa séptica; C-D) fossa séptica instalada; D) detalhe da caixa de lavanderia instalada com carvão vegetal; E) detalhe da caixa de gordura em funcionamento; E) detalhe do cano de escoamento subsuperficial antes de ser coberto por brita; H) detalhe de uma das residências antes do final da montagem da ETZR, mostrando todas as bombonas instaladas.

Fonte: acervo dos autores

Os parâmetros físico-químicos do esgoto consistiram na avaliação do efluente bruto e tratado, das 18 ETEZR, sendo: a) 7 análises por ETEZR (252) de pH, (aparelho digital *in loco*); b) 7 análises por ETEZR (252) de turbidez (aparelho digital *in loco*); c) 11 análises (198) de Demanda Química de Oxigênio (DQO); d) 11 análises (396) de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>); e) 11 análises de Fósforo (396). As análises de DQO, DBO e Fósforo seguiram o proposto por *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1977). Foi realizada a análise dos valores da relação DQO/DBO<sub>5</sub> e da correlação entre DQO, DBO<sub>5</sub> e fósforo em relação ao número de pessoas por domicílio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram construídas 18 ETEZR sendo 10 no município de Campo Mourão, 07 no município de Rancho Alegre do Oeste e 01 no município de Corumbataí do Sul mostrados nas figuras 2 e 3. A diferenciação do número de estações construídas por município dá-se em função dos recursos do Edital MCT/CNPq/CT-Agronegócio/CT-Hidro nº 27/2008 disponibilizados para cada município.

Resultados parâmetros físico-químicos avaliados:

- a) pH: o pH é uma variável importante utilizada no controle da operação de estações de tratamento de esgotos e na caracterização de corpos d' água. A legislação estabelece a faixa de pH entre 5 e 9 para lançamento direto nos corpos hídricos (Resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA). Nesse sentido todos os valores de pH permaneceram dentro dos limites aceitáveis (Tabela 1).
- b) Turbidez: as ETEZR reduziram em média 83% da turbidez do esgoto (Tabela 1 e figura 4). Em pelo menos dois casos a redução foi maior ou igual a 30 NTU's (Unidade Nefelométrica de Turbidez) em Campo Mourão. A maior eficiência percentual na redução da turbidez foi constatada no município de Corumbataí do Sul com média de 88%, seguido do município de Campo Mourão com 85%.
- c) DQO: os valores médios de DQO do esgoto bruto (Tabela 1 e figura 4) variaram entre 750,3 mg/l máximo e 225,4mg/l mínimo (Rancho Alegre do Oeste), as médias foram de 486,7 para as ETEZR instaladas em Campo Mourão, 544,4 mg/l para as de Rancho Alegre do Oeste e de 339,2 mg/l para Corumbataí do Sul. Os valores de DQO obtidos no esgoto tratado (Tabela 1) tiveram um gradiente de 74,1 mg/l com máximo de 96,8 mg/l (Rancho Alegre do Oeste) e mínimo de 32,7 mg/l (Campo Mourão). A eficiência média total das ETEZR para o DQO foi de 87,4%. Entretanto foi registrada eficiência superior a 90% em pelo menos quatro ETEZR sendo duas no município de Campo Mourão e duas no município de Rancho Alegre do Oeste. Tal eficiência é próxima à obtida por Kaick et al., (2008) que registraram uma média de 88% em ETEZR

instaladas nos municípios do litoral paranaense, Foz do Iguaçu (PR) e Campos do Jordão (SP). É importante fazer menção que a legislação brasileira não fixa valores baseados no teste da DQO (NUVOLARI, 2003). As correlações entre os valores médios de DQO do esgoto bruto e tratado (Figura 5) tomando por base o número de pessoas por domicílio foram não lineares:  $r^2 = 0,266$  (esgoto bruto) e  $r^2 = 0,379$  (esgoto tratado). Resultado similar ao da correlação entre eficiência da ETEZR tomando por base o número de pessoas por domicílio ( $r^2 = 0,006$ ). Nesse sentido é possível dizer que a eficiência da ETEZR em relação ao parâmetro DQO independe do número de pessoas por domicílio.

Tabela 1 – Localização nº de pessoas por família, média de resultados por ETEZR de análises de pH, turbidez, DBO<sub>5</sub>, DQO, relação DQO/DBO<sub>5</sub> e fósforo e percentual de eficiência das ETEZR. Abreviaturas: L - Local, CS – Corumbataí do Sul; E/F - nº da ETEZR/nº de pessoas na família; Br- efluente bruto; T- efluente tratado; R% - percentual de eficiência da ETEZR.

L	E/F	pH		Turbidez			DQO			DBO <sub>5</sub>			DQO/ DBO <sub>5</sub>		Fósforo		
		Br	T	Br	T	R %	Br	T	R %	Br	T	R %	Br	T	Br	T	R %
C	1/4	6,9	6,7	30	5	83	480,2	60,5	87,4	285,2	33,2	88,4	1,7	1,8	14,8	4,8	67,6
	2/4	6,7	6,1	34	4	88	665,3	80,6	87,9	330,3	48,2	85,4	2,0	1,7	15,2	4,1	73,0
M	3/4	7,2	6,5	28	5	82	458,2	75,2	83,6	251,2	41,6	83,4	1,8	1,8	16,2	3,8	76,5
	4/3	7,8	6,7	24	4	83	349,7	45,4	87,0	180,3	27,5	84,7	1,9	1,7	11,3	3,2	71,7
P	5/2	7,9	6,6	26	3	88	552,9	65,2	88,2	258,6	36,5	85,9	2,1	1,8	10,2	1,3	87,3
	6/1	8,1	6,7	22	3	86	365,7	32,7	95,2	190,2	18,4	90,3	1,9	1,8	8,5	1,1	87,1
O	7/3	7,6	6,8	28	4	86	654,2	75,2	88,5	390,3	45,2	88,4	1,7	1,7	12,8	3,2	75,0
	8/3	6,9	6,7	29	3	90	348,3	48,6	86,0	164,5	28,2	82,9	2,1	1,7	12,5	2,8	77,6
Â	9/3	7,9	7,1	25	4	84	333,7	45,2	86,5	195,0	30,4	84,4	1,7	1,5	11,6	2,2	81,0
	10/3	7,8	6,7	24	5	79	658,3	46,8	92,9	395,2	30,2	92,4	1,7	1,5	13,5	2,8	79,3
<b>Média</b>		<b>7,5</b>	<b>6,7</b>	<b>27</b>	<b>4</b>	<b>85</b>	<b>486,7</b>	<b>57,2</b>	<b>88,2</b>	<b>264,1</b>	<b>33,9</b>	<b>87,1</b>	<b>1,8</b>	<b>1,7</b>	<b>12,7</b>	<b>2,9</b>	<b>76,9</b>
R.	11/1	7,1	6,4	25	3	88	225,4	45,3	79,9	95,5	26,2	72,6	2,4	1,7	8,8	1,8	79,5
	12/3	6,8	6,5	24	5	79	332,2	54,3	83,7	195,7	32,3	83,5	1,7	1,7	11,3	2,2	80,5
A.	13/3	7,3	6,6	28	4	86	650,3	92,6	85,8	320,8	52,4	83,7	2,0	1,8	12,0	3,8	68,3
	14/3	7,3	6,8	24	4	83	666,5	42,8	93,6	280,6	25,3	91,0	2,4	1,7	13,5	2,6	80,7
E	15/3	6,8	6,6	26	3	88	465,3	73,8	84,1	235,4	40,2	82,9	2,0	1,8	11,5	2,8	75,7
	16/5	6,7	6,4	22	5	77	720,5	96,8	86,6	303,4	55,3	81,8	2,4	1,8	16,8	4,5	73,2
S	17/3	7,4	6,7	25	5	80	750,3	72,9	90,3	328,6	43,8	86,7	2,3	1,7	11,8	2,7	77,1
	<b>Média</b>	<b>7,1</b>	<b>6,6</b>	<b>25</b>	<b>4</b>	<b>83</b>	<b>544,4</b>	<b>68,4</b>	<b>87,4</b>	<b>251,4</b>	<b>39,4</b>	<b>84,3</b>	<b>2,2</b>	<b>1,7</b>	<b>12,2</b>	<b>2,9</b>	<b>76,2</b>
CS	18/3	6,9	6,9	26	3	88	339,2	40,6	88,0	140,2	22,4	84,0	2,4	1,8	12,0	2,1	82,5
<b>Média Geral</b>		<b>7,1</b>	<b>6,6</b>	<b>25</b>	<b>4</b>	<b>83</b>	<b>544,4</b>	<b>68,4</b>	<b>87,4</b>	<b>251,4</b>	<b>39,4</b>	<b>84,3</b>	<b>2,2</b>	<b>1,7</b>	<b>12,5</b>	<b>2,8</b>	<b>77,5</b>

d) DBO<sub>5</sub>: os valores médios de DBO<sub>5</sub> do esgoto bruto apresentados na Tabela 1, variaram de 395,2 mg/l (máximo) e 95,5 mg/l (mínimo), com média total de 251,4 mg/l. A eficiência média das ETEZR em relação ao DBO<sub>5</sub> foi de 84,3% percentual

também alcançado nas ETEZR de Rancho Alegre do Oeste e Corumbataí do Sul, no entanto, o melhor desempenho foi registrado nas ETEZR de Campo Mourão (87,1%). Os valores médios totais de DBO<sub>5</sub> para o efluente tratado não ultrapassaram 39,4 mg/l (Figura 4). A eficiência das ETEZR corroboram os valores obtidos Kaick et al., (2008) que detectaram média de 88% de redução entre esgoto bruto e tratado em relação ao DBO<sub>5</sub>. Ainda em relação à eficiência de ETEZR faz-se importante destacar que os valores médios obtidos para o esgoto tratado ficaram bem abaixo do valor mínimo de 120 mg/l estabelecido pela resolução nº430/2011 do CONAMA para lançamento direto de efluentes oriundos de sistema de tratamento de esgotos sanitários (Figura 4). As correlações entre os valores médios de DBO<sub>5</sub> do esgoto bruto e tratado (Figura 5) tomando por base o número de pessoas por domicílio, foram não lineares:  $r^2 = 0,274$  (esgoto bruto) e  $r^2 = 0,379$  (esgoto tratado). Resultado similar ao da correlação entre eficiência da estação tomando por base o número de pessoas por domicílio ( $r^2 = 0,022$ ). Assim como aconteceu com os valores de DQO os valores de DBO<sub>5</sub> também mostram que eficiência da ETEZR em relação a esse parâmetro independe do número de pessoas por domicílio.

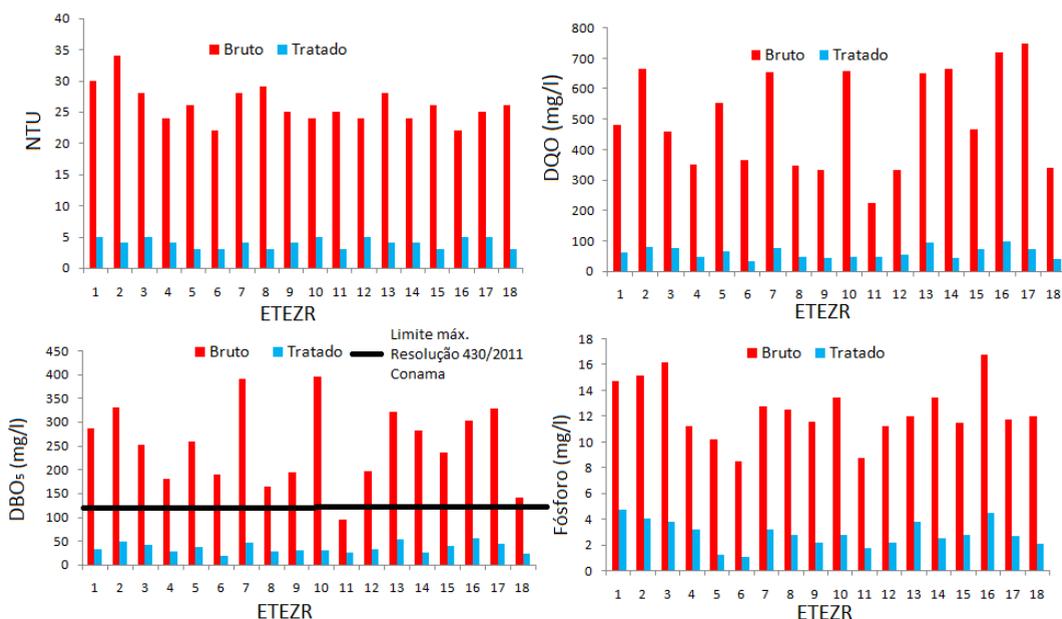


Figura 4 – Comparação dos resultados entre o esgoto bruto e tratado de NTU, DQO, DBO<sub>5</sub> e Fósforo nas 18 ETEZR avaliadas. Limite máximo de DBO<sub>5</sub> (120mg/l) para lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgoto sanitário conforme Resolução 430/2011 (CONAMA).

Fonte: os autores

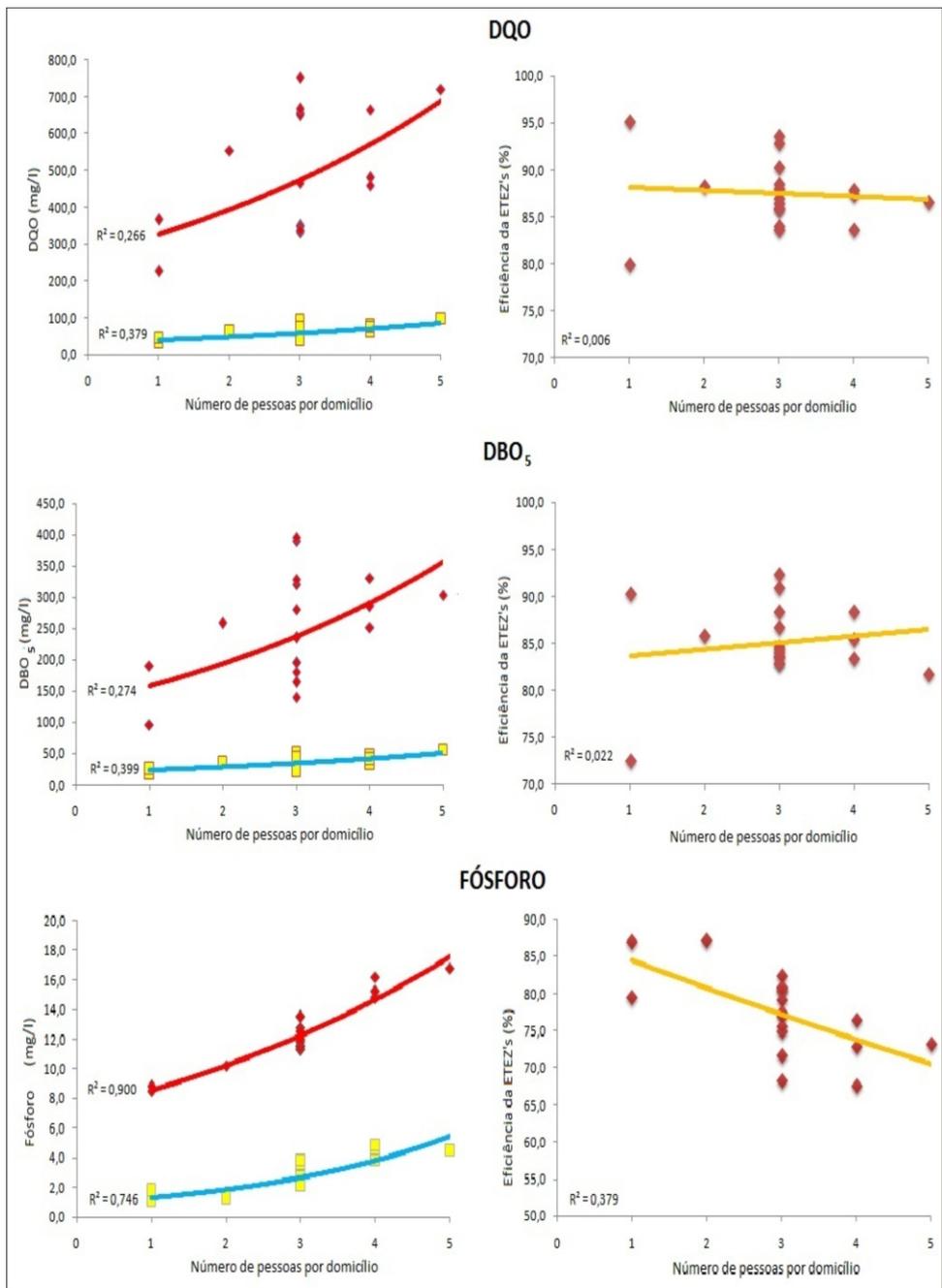


Figura 5 – Correlação entre os valores médios de DQO, DBO<sub>5</sub> e fósforo obtidos nas ETEZR, tomando-se por base o número de pessoas por domicílio e correlação destes parâmetros relacionados à eficiência das ETEZR em relação número de pessoas por domicílio.

Fonte: os autores

e) Relação DQO/DBO<sub>5</sub>: a relação entre DQO/DBO<sub>5</sub> para o esgoto bruto foi de 2,2 e para o tratado 1,7. A maior relação para o esgoto bruto foi do município de Corumbataí do Sul (2,4), seguido de Rancho Alegre do Oeste (2,2) e Campo Mourão (1,7). Tais valores estão de acordo com os propostos por Von Sperling (1996), que indica relação variando entre 1,7 a 2,4 para esgotos domésticos brutos. As relações entre o DQO/DBO<sub>5</sub> para o esgoto tratado mostraram médias de 1,7. Em duas ETEZR de Campo Mourão a relação foi de 1,5 apresentados na Tabela 1.

f) Fósforo: em média o esgoto doméstico contém entre 6 a 20 mg/l de fósforo (NUVOLARI, 2006). Tais valores estão consonantes aos detectados nas ETEZR estudadas e mostradas na Tabela 1 e figura 4. Para o esgoto bruto a média geral foi de 12,5 mg/l, para o esgoto tratado a média geral foi de 2,8. Merece destaque o fato de que as médias dos valores de fósforo do esgoto tratado de 2 ETEZR de Campo Mourão apresentaram valores médios superiores 4 mg/l. A eficiência média das ETEZR em relação ao fósforo foi de 77,5%, entretanto, em duas estações (Campo Mourão) a eficiência atingiu 87%. As correlações entre os valores médios de fósforo do esgoto bruto e tratado (Figura 5), tomando por base o número de pessoas por domicílio, estabeleceram correlação positiva  $r^2 = 0,900$  (esgoto bruto) e  $r^2 = 0,746$  (esgoto tratado). Indicando que os valores de fósforo são dependentes do número de pessoas no domicílio. O que pode ser explicado pelo lançamento do efluente da lavanderia no sistema de tratamento, o que eleva o teor de fósforo no esgoto. É importante argumentar que a correlação entre eficiência da estação tomando por base o número de pessoas por domicílio apresentou-se como não linear ( $r^2 = 0,379$ ) assim como aconteceu com as correlações entre DQO e DBO<sub>5</sub>, a eficiência das ETEZR em relação ao fósforo é independente do número de pessoas por domicílio.

## CONCLUSÃO

Considerando o número de análises realizadas e tempo de acompanhamento das Estações instaladas, é possível afirmar que essa técnica constitui-se em uma excelente alternativa para o tratamento de esgotos domésticos domiciliares descentralizados. Com eficiência média de: 83% para turbidez; 87,4% para DQO; 84,3% para DBO<sub>5</sub> e 77,5% para o fósforo. Nesse sentido as ETEZR constituem-se em uma importante tecnologia que merece ser mais estudada e avaliada para a melhoria da qualidade ambiental rural e urbana.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: ao CNPQ pelo auxílio financeiro recebido (processos 574393/2008-0 (Rancho Alegre do Oeste) e 573504/2008-3 (Campo Mourão); à Prefeitura Municipal de Rancho Alegre do Oeste; e EMATER.

## REFERÊNCIAS

BRIX, H.; KOOTTATEP, T.; FRYD, O.; LAUGESSEN, C.H. The flower and the butterfly constructed wetland system at Kon Phi Phi – System desing and lessons learned during implantation and operation. **Ecological Engineering (in press)**

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA (2006). **Manual de Saneamento**. 4ª ed. ver. Brasília: Ministério da Saúde, 407p.

KAICK, T.S.V. **Estação de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná**. 2002. 128f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) Centro Federal de educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2002.

KAICK, T.S.V.; 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: VI SEMANA DE ESTUDOS DA ENGENHARIA AMBIENTAL, Irati, 2008. Disponível em: < [http://www.unicentro.br/graduacao/deamb/semana\\_estudos/semana\\_09.htm](http://www.unicentro.br/graduacao/deamb/semana_estudos/semana_09.htm) > . Acesso em: 10 fev. 2011.

KAICK, T.S.V.; SIPINSKI, M.A. Estação de tratamento de Esgoto (ETE) piloto na reserva Morro da Mina/SPVS, Antonina-Paraná. **Cadernos do Litoral**, v. 3, n. 3, p.20-22, 2000.

KAICK T.S.V.; MACEDO C.X.O.; PRESZNHUK, R.A.O. Paisagismo funcional - estação de tratamento de esgoto por zona de raízes sistema auto-sustentável e promotor de bem-estar e consciência ecológica. In: D. Hamú de la Penha; S. R. Barreto e S. A. Ribeiro. (Org.). **Mostra água para a vida, água para todos: boas práticas em saneamento**. Brasília: WWF, 2005, v.1, p.120-135.

LEMES J.L.V.B.; SCHIRMER, W.N.; CALDEIRA, M.V.W.; KAICK, T.S.V.; ABEL, O.; BÁRBARA, R.R. Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes, em comunidade rural. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 6, n.2, p.169-179, 2008.

NUVOLARI, A. O lançamento in natura e seus impactos. In: A. Nuvolari. **Esgoto Sanitário** – coleta transporte tratamento e reuso agrícola. São Paulo: Editora Blucher, p.

171-208, 2003.

PHILIPPI JUNIOR, L.S.; SEZERINO, P.H. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias**: utilização de filtros plantados com macrófitas. Florianópolis: Ed. do Autor, 2004.

SILVA, A.E. Tecnologia de Tratamento, Polimento e Reciclagem de Água por Zona de Raízes”. **Portal Tratamento de Água**. Disponível em: <[http://www.tratamentodeagua.ncom.br/R10/Biblioteca\\_Detalhe.aspx?codigo=361](http://www.tratamentodeagua.ncom.br/R10/Biblioteca_Detalhe.aspx?codigo=361)>. Acesso em: 6 set. 2010.

STANDARD, METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER.. 16th ed. Washington: APHA, 1985. **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**. 2ª ed. São Paulo: Cetesb, v.2. 1977.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: DESA – Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.