

## II-211 - ANÁLISE DA ADIÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO EM ESGOTOS SANITÁRIOS TRATADOS UTILIZANDO ZONA DE RAÍZES EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS NO AQUÍFERO CARSTE

**Bruno Guilherme Vodonis<sup>(1)</sup>**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Aluno do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica/PUCPR 2010-2011 – Departamento de Engenharia Ambiental – PUCPR Curitiba, Paraná, Brasil.

**Patrícia Raquel da Silva Sottoriva<sup>(2)</sup>**

Doutora em Biotecnologia Industrial – USP-Lorena; Mestre em Química Analítica – UFPR; Professora do Programa de Pós-graduação em Gestão Ambiental – Universidade Positivo, Curitiba, Paraná, Brasil.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Imaculada Conceição, 1155 – Bairro Prado Velho – Curitiba – Paraná – CEP: 80215-901 – Brasil – Telefone/fax: +55 41 3271-1599 – email: bruno\_vodonis@hotmail.com

### RESUMO

O Aquífero Carste é manancial de abastecimento para a Região Metropolitana de Curitiba, localizado em 7 municípios, entre eles Almirante Tamandaré. Nessa região o esgoto é problema para a qualidade do aquífero, tendo 32,8% dos domicílios com fossa, e 60,7% despejando o esgoto *in natura* no solo e cursos d'água. Uma solução para o problema de esgoto é o Sistema de Tratamento por Zona de Raízes (ZR). O objetivo do trabalho foi estudar a adição do oxigênio dissolvido no esgoto sanitário tratado utilizando processo ZR em uma propriedade da área rural situada na região do Aquífero Carste. O desenvolvimento do trabalho iniciou-se pelo levantamento de dados do local por meio de revisão bibliográfica. O reconhecimento da área e o início das atividades em campo ocorreram e vinte e seis visitas a campo. Para o dimensionamento da ZR utilizou-se o método de Reed bem como equações de vazão, tempo de detenção, volume, entre outras. Para a escolha das plantas da ZR consultou-se a bibliografia. Para as coletas utilizou o equipamento *boiler* em dois pontos de amostragem (entrada e saída do sistema), totalizando na pesquisa cinco coletas. Para análise das amostras seguiram as metodologias do *Standart Methods*. Para a construção da ZR foram escolhidos materiais baseados em outros trabalhos de pesquisa. Como resultado obteve-se o tipo de ZR escolhido que é o de fluxo horizontal subsuperficial. No dimensionamento obteve-se como comprimento, largura e profundidade, 5,85 m, 1,16 m, e 0,35 m respectivamente. A ZR mostrou-se eficiente na remoção da concentração de diversos parâmetros do nitrogênio amoniacal, tendo uma eficiência média de 62,60%, e para o fósforo a eficiência média foi de 50%. A ZR mostrou-se eficiente na remoção de DBO<sub>5</sub> e a DQO, sendo 70,53% e 52,95%, respectivamente, na remoção média. Neste trabalho destaca-se a adição do oxigênio dissolvido, que apresentou eficiência média de reposição de 85,30%. O sistema de ZR mostrou-se eficiente na adição de oxigênio dissolvido, apesar das particularidades negativas como o início do seu funcionamento na estação do inverno e o pouco tempo para aclimação das plantas na ZR.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esgoto Sanitário, Tratamento de Esgoto, Zona de Raízes.

### INTRODUÇÃO

Aquífero é uma unidade geológica capaz de armazenar uma quantidade de água e transportar essa água sob gradiente hidráulico natural (GUERRA; CUNHA, 2001 *apud* BERTOLINO, 2010). O Aquífero Carste é um aquífero que produz cavernas na sua área de influência pelas quais circulam correntes de água subterrâneas e onde há predominância dessas águas sobre as águas do escoamento superficial (FEITOSA E MANOEL FILHO, 2000 *apud* BERTOLINO, 2010).

Almirante Tamandaré está localizado em regiões cársticas e na RMC, ao norte de Curitiba. Sua área é igual a 191,114 Km<sup>2</sup> (IPARDES, 2010). Possui como municípios limítrofes: Curitiba, Colombo, Rio Branco do Sul, Itaperuçu e Campo Magro. O município possui em 80% do seu território o Aquífero Carste.

Segundo a Secretaria Municipal de Urbanismo e Planejamento de Almirante Tamandaré *apud* Gasparin e Bollmann (2009), 35% da população total do município vivem em regiões cársticas, o equivalente a 34.134 pessoas.

Na área rural de Almirante Tamandaré tem-se como formas potenciais de contaminação do Aquífero Carste pela população: lançamento de esgoto doméstico no solo e nos corpos hídricos *in natura*, lançamento de resíduos e de produtos da atividade agrícola (MINEROPAR, 2005 *apud* GASPARIN e BOLLMANN, 2009). Com relação ao lançamento de esgoto doméstico, segundo dados de Almirante Tamandaré (2000) e da Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2006), 0,3% dos domicílios particulares e permanentes da área rural do município possuíam rede de coleta de esgoto sanitário, 32,8% possuíam fossa séptica e 60,7% despejavam seus esgotos sanitários em fossa rudimentar, rio, vala, entre outros.

Tendo em vista o baixo atendimento por coleta de esgoto, bem como por fossa séptica, foi proposto um sistema de tratamento de esgoto por meio de Zona de Raízes (ZR). Para a realização da pesquisa, então, foi implantada um sistema de ZR numa propriedade da área rural do município de Almirante Tamandaré.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia da pesquisa será apresentada em etapas. A primeira trata dos estudos bibliográficos e em campo, a segunda da definição do tipo do sistema de tratamento por Zona de Raízes a ser utilizado e as plantas de composição do sistema, a terceira trata do dimensionamento do sistema tratamento, a quarta trata dos materiais de construção do sistema, e por fim, a quinta trata do monitoramento do sistema.

### PRIMEIRA ETAPA: ESTUDOS BIBLIOGRÁFICOS E DE CAMPO

O levantamento de dados do local estudado realizou-se por meio de revisão bibliográfica, leitura de artigos científicos, dissertações, teses, livros, manuais, entre outros materiais.

Foram realizadas vinte e seis visitas técnicas na propriedade da área rural do município de Almirante Tamandaré. Essas visitas serviram para conhecimento do local a ser implantado o sistema de ZR, para construção do sistema e para monitoramento do funcionamento do sistema. Para isso foi utilizado um veículo motorizado da marca *Volkswagen*, mais especificamente uma Kombi.

### SEGUNDA ETAPA: DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE ZONA DE RAÍZES E A ESPÉCIE DE PLANTA

A escolha da ZR a ser utilizada, no caso natural ou artificial, se deu por meio de visita técnica (1ª visita - 13/10/2010) ao local, onde constatou-se que não há locais com presença de ZR natural no local de implantação do sistema.. Então optou-se pela construção de uma ZR.

Considerando o solo da região e a profundidade do lençol freático, o tipo de ZR escolhido a ser construído é o de fluxo horizontal subsuperficial. Esse sistema possui profundidade baixa, variando entre 0,1 m a 1 m (REED, 1992). O lençol freático é alto na maior parte do tempo, sendo então o sistema horizontal ideal por não ser tão profundo. Sendo subsuperficial, o fluxo na ZR se torna lento preenchido com brita ou areia como meio suporte onde as raízes são plantadas (SANTOS, 2009).

A planta formadora da ZR é a *Typha domingensis*, espécie nativa de Almirante Tamandaré. Por ser nativa, os indivíduos se adaptam ao ambiente natural e ao clima, principalmente às estações de outono e inverno onde as temperaturas apresentam-se baixas e onde ocorrem geadas. Além disso, a espécie escolhida apresenta excelente interação entre substrato e efluente (OLIVEIRA *et al*, 2005).

Por ser o clima local subtropical, que possui as estações do ano definidas, o desenvolvimento de macrófitas, no caso da espécie *Typha domingensis*, pode ocorrer de forma intensa nas estações primavera e no verão, mas pode ser prejudicada a partir do outono e no inverno quando há uma queda da temperatura e uma diminuição na taxa de produtividade de biomassa (ESTEVES, 1998).

Com relação ao plantio e ao número de indivíduos da espécie *Typha domingensis*, considerando que os indivíduos da espécie são retiradas do ambiente natural e replantadas na ZR, será feita escavação manual,

separando-se rizomas que contenham no mínimo de 2 nódulos não danificados, e o replantio no maciço filtrante da ZR que seja na inclinação de 45° e a densidade seja de 4 rizomas por metro quadrado (BRIX, 1997; PHILIPPI E SEZERINO, 2004 *apud* SEZERINO, 2006), ou seja, um total de 27,2 rizomas.

### TERCEIRA ETAPA: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ZONA DE RAÍZES

Para a construção do sistema de ZR foi escolhido a metodologia desenvolvida por Reed (1992). A Tabela 1 mostra os parâmetros e seus respectivos padrões para dimensionamento do sistema de ZR segundo a metodologia de Reed (1992).

**Tabela 1 Parâmetros e seus respectivos padrões para dimensionamento do sistema de ZR.**

Parâmetros	Tipos de Zona de Raízes (ZR)	
	Fluxo Superficial	Fluxo Subsuperficial
Tempo de Detenção (Dia)	5 – 14	2 – 7
Altura da coluna d' água (m)	0,1 – 0,5	0,1 – 1,0
Área requerida (ha.m <sup>3</sup> . dia <sup>-1</sup> )	0,002 – 0,014	0,001 – 0,007
Relação Comprimento – Largura	2:1 – 10:1	0,25:1 – 5:1
Carga Hidráulica (mm/dia)	7 – 60	2 – 30

Fonte: Adaptado de REED, 1992 *apud* SOUZA *et al*

Os parâmetros base para o dimensionamento da ZR são: vazão e tempo de detenção. Com esses parâmetros pôde-se calcular o volume, a área, o comprimento, largura e profundidade da ZR. Iniciou-se o dimensionamento da ZR calculando a vazão de entrada do processo utilizando a Equação (1) (VON SPERLING, 2005).

$$Q = c.P.q/1000 \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

Q: Vazão (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>);

c: Coeficiente de retorno (Adimensional);

P: População de projeto;

q: Vazão per capta (l.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>).

O tempo de detenção permite que se encontre o volume necessário para compor o sistema de ZR. As Equações (2) e (3) mostram como calcular o volume (MARQUES, 1999).

$$td = Vv/Q \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

td: Tempo de detenção (dias);

Vv: Volume de vazios (m<sup>3</sup>);

Q: Vazão (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>).

$$Vv = n.V \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

Vv: Volume de vazios (m<sup>3</sup>);

n: porosidade do leito, como fração decimal;

V: Volume (m<sup>3</sup>).

A área foi calculada a partir do valor de vazão de entrada, utilizando a metodologia de Reed (1992). A profundidade do sistema pôde ser calculada por meio da Equação (4).

$$V = C.L.P \quad \text{equação (4)}$$

Onde:

V: Volume (m<sup>3</sup>);

C: Comprimento (m);

L: Largura (m);  
P: Profundidade (m).

O dimensionamento do sistema de ZR foi feito para uma população de projeto de 4 pessoas, ou seja, considerando um possível crescimento da população do local (atualmente 3 pessoas) e garantindo assim uma vazão de pico com um superdimensionamento do sistema, procurando evitar obstruções com uma possível carga de sólidos maior no esgoto sanitário.

Considerando a Equação (1), segundo Von Sperling (2005) o coeficiente de retorno pode variar entre 40% e 100%. O coeficiente de retorno (c) escolhido é equivalente a 85%, considerando que há a contribuição com parte considerável da água consumida para o sistema de esgotamento sanitário e também considerando a existência de uma possível infiltração de água de chuva na fossa séptica e em toda a rede coletora. A população de projeto (P) é equivalente a 4 pessoas e o consumo per capita de água (q) equivale a 200 l.hab<sup>1</sup>.dia<sup>-1</sup> (DALARMI, 1995 *apud* ROSA FILHO; LISBOA; SCHOENAU). Esse valor é alto para os padrões de consumo per capita de água em áreas rurais, que segundo Von Sperling (2005) varia entre 90 e 140 l.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>. Mas foi determinado 200 l.hab<sup>1</sup>.dia<sup>-1</sup>, pois, o índice pluviométrico no local é alto, o lençol freático é pouco profundo, estando o sistema de tratamento exposto a essas eventualidades do ambiente natural, tendo então um superdimensionamento do sistema para prevenir possíveis extravasamentos de fluidos no sistema de tratamento. O valor da vazão encontrado é 0,68 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.

O tempo de detenção (Equação 2) para o Sistema de ZR foi determinado seguindo a metodologia de Reed (1992), onde na ZR de fluxo horizontal e subsuperficial os valores variam entre 2 e 7 dias. O valor escolhido para o tempo de detenção foi 2 dias, pois, como a vazão calculada é de pico garante-se que com essa vazão o tempo de detenção mínimo seja de 2 dias, mantendo-se um tempo de detenção maior para vazões que estão abaixo da vazão de pico.

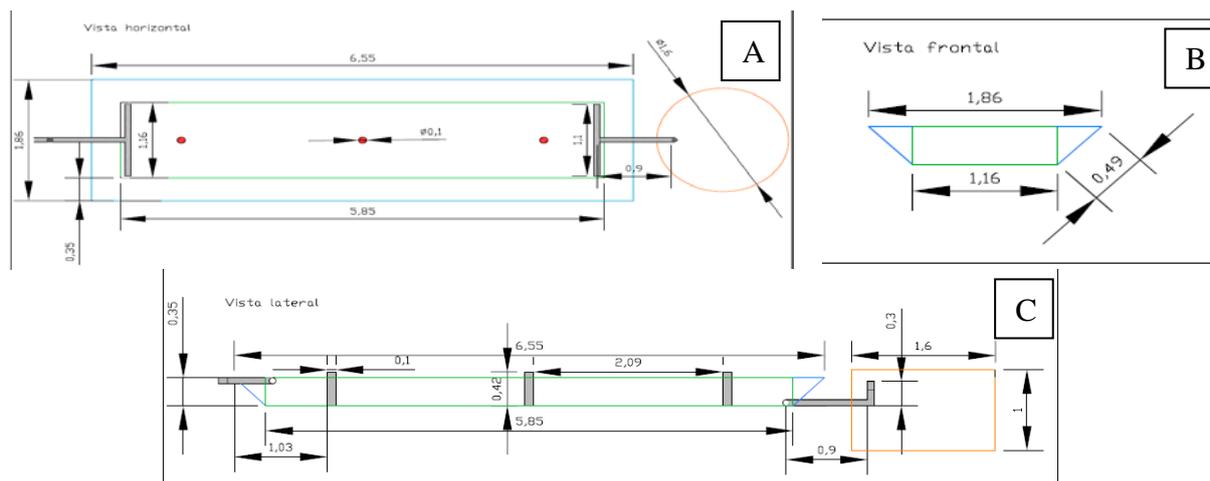
Utilizando as Equações (2) e (3), considerando o tempo de detenção de 2 dias e a vazão de 0,68 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>, obtém-se um volume de vazios equivalente a 1,36 m<sup>3</sup>. Sendo a porosidade do leito (60%) preenchido com Pedra Brita n° 1 (BAUER, 1994), tem-se que o volume total ocupado pelo sistema é 2,27 m<sup>3</sup>.

Por ser o sistema de ZR de fluxo horizontal e subsuperficial a metodologia coloca um intervalo de área de 0,001 a 0,007 hectares a cada metro cúbico de esgoto que entra no processo de tratamento por dia. Foi escolhido para o desenvolvimento do sistema o menor valor permitido pela metodologia, no caso, 0,001 ha.m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>, pois, a intenção é construir um sistema que ocupe uma área mínima. A área ocupada pela ZR é 6,8 m<sup>2</sup>. O dimensionamento do sistema por ZR apresenta, então, o menor valor de área possível para a vazão máxima calculada.

Para o comprimento e a largura do sistema de ZR utilizou-se a relação 5:1 colocada por Reed (1992) para fluxo horizontal e subsuperficial. Os valores do comprimento e da largura do sistema são 5,85 m e 1,17 m respectivamente.

Sabendo que o volume, o comprimento e a largura possuem valores de 2,27 m<sup>3</sup>, 5,85 m e 1,16 m respectivamente, tem-se pela Equação (4) a profundidade igual a 0,35 m. Para a estabilização do sistema de ZR, foi projetado um talude com 45° (condição de equilíbrio), o que aumentou o comprimento e a largura do sistema para 6,55 m e 1,86 m respectivamente. A diferença de nível entre as tubulações de entrada e de saída no local de implantação da ZR é de 0,1 m.

As Figuras 1A, 1B e 1C mostram o desenho da ZR projetada e implantada na vista horizontal, frontal e lateral, respectivamente.



**Figura 1. Dimensões do projeto de ZR implantado em propriedade rural no município de Almirante Tamandaré/PR. 1A Vista horizontal; 1B Vista frontal e 1C Vista lateral**

#### QUARTA ETAPA: MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE ZONA DE RAÍZES

A Tabela 2 mostra os materiais que foram utilizados para a construção do sistema de ZR e suas respectivas quantidades considerando o dimensionamento baseados em Van Kaick (2002).

**Tabela 2 Materiais utilizados na construção do sistema de ZR.**

<b>Materiais</b>	<b>Dimensão e Quantidade</b>
Lona plástica (preta) – 0,2 mm	Largura: 4 m - Comprimento: 18 m
Areia (média)	1,6 m <sup>3</sup>
Brita (nº 1)	2 m <sup>3</sup>
Tubulação (linha marrom) - 75 mm	8 m
Bedin Cinza ou Branco	2 m <sup>2</sup>
Tês - 75 mm	3 unidades
CAP's - 75 mm	5 unidades
CAP's - 100 mm	3 unidades
Joelho 90° - 75 mm	1 unidades

Fonte: Autor, 2011

#### QUINTA ETAPA: MONITORAMENTO DO SISTEMA DE ZONA DE RAÍZES

A coleta ocorreu em 2 pontos no sistema de esgotamento sanitário do local. O 1º ponto se encontra antes da entrada no sistema de ZR, ou seja, foi amostrado o efluente da fossa séptica. E por fim foi amostrado o ponto de saída da ZR, onde foram avaliados os efluentes do sistema de tratamento.

Para a coleta foi utilizado o *boiler*, equipamento utilizado para coleta de amostras em poços. A análise foi realizada no Laboratório de Análises Ambientais da PUCPR seguindo instruções do *Standart Methods*.. Procedeu-se 5 coletas no local de estudo. Os parâmetros escolhidos para a análise de eficiência do tratamento por ZR e que serão avaliados nos 2 pontos de amostragem são: Temperatura, pH, DBO, DQO, OD, Nitrogênio Amoniacal, Fósforo e Coliformes fecais. Destaca-se para este trabalho a avaliação do OD.

## RESULTADOS

Os resultados serão mostrados em dois tópicos, sendo: 4.1 Características gerais da propriedade; 4.2 Monitoramento do sistema de tratamento.

### CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PROPRIEDADE

A propriedade de estudo localiza-se na área rural de Almirante Tamandaré, na posição geográfica S 25°18.285' e W 49°21.876'. Como características naturais da propriedade que podem influenciar no desenvolvimento da ZR são consideradas: a profundidade do lençol freático e o clima da região.

O tipo de solo na propriedade é o Cambissolo Háptico Tb distrófico, álico, tendo também a existência do Neossolo litólico distrófico típico (EMBRAPA; EMATER [...]). Na propriedade têm-se os solos com textura mais argilosa. O solo pode ser considerado como imperfeitamente drenado, onde, é apresentada uma camada de permeabilidade lenta e lençol freático com profundidade baixa.

O clima na região é o Cfb, segundo a classificação de Köppen, sendo subtropical, mesotérmico, com verões frescos e geadas severas frequentes, sem estação seca. A média anual de precipitação é de 1.500 mm e a temperatura média anual é inferior a 22°C (CAVIGLIONE *et al*, 2000).

Na propriedade há três residências. Duas fossas são responsáveis pelo tratamento do esgoto produzido nessas residências. Para o desenvolvimento da ZR será utilizado o esgoto de uma das fossas que recebe a contribuição de 3 pessoas.

### MONITORAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

A Tabela 3 mostra os dados das análises realizadas após cada coleta, tanto dados de entrada do sistema (P1), quanto dados da saída do sistema (P2), além de mostrar a eficiência obtida em cada coleta para cada parâmetro.

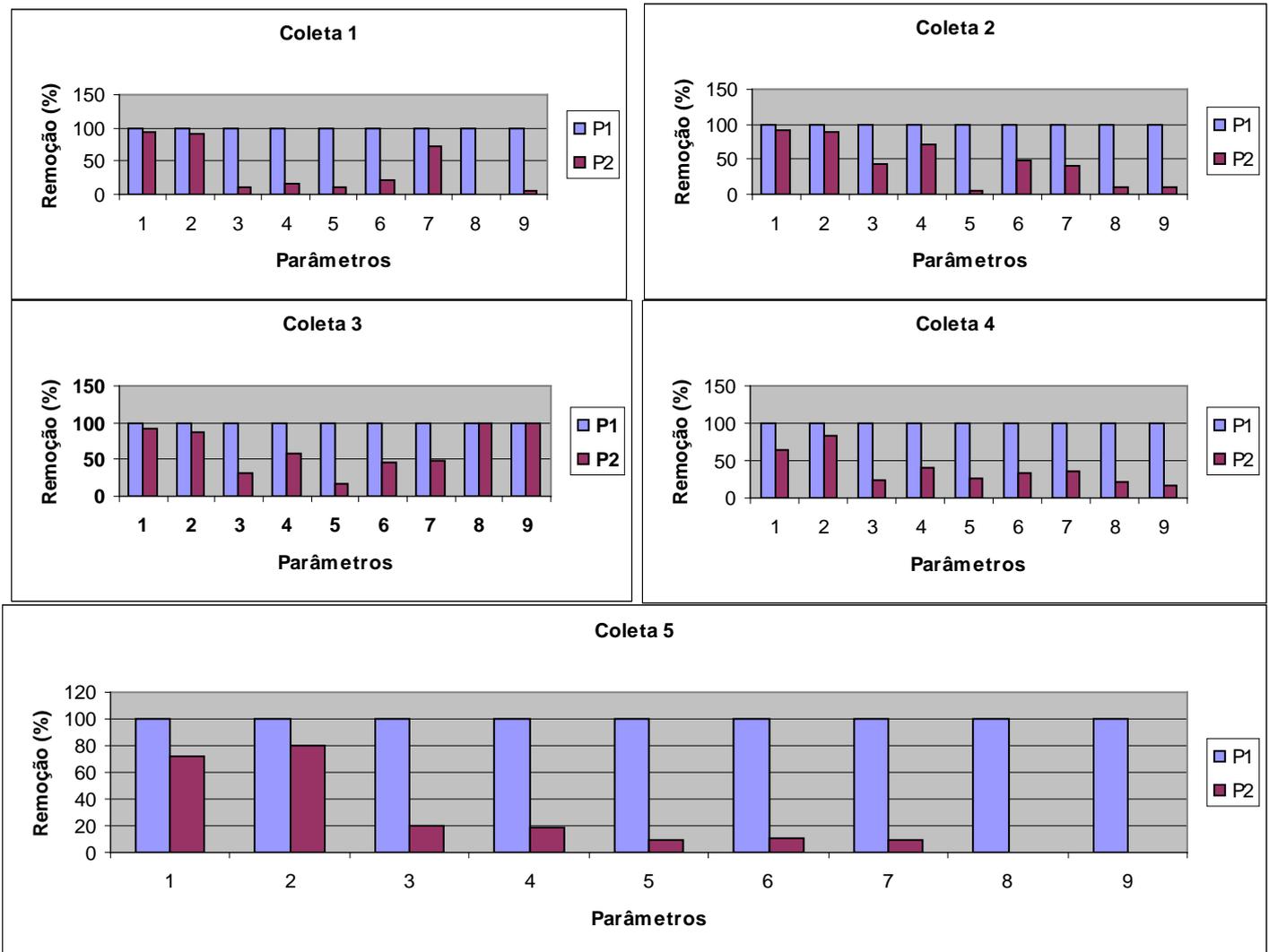
**Tabela 3 Dados das análises do esgoto bruto e tratado no sistema de Zona de Raízes**

Coleta	Amostragem	Parâmetros								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Coleta 1	P1	17	7,1	380	1051	0,15	98,72	10,2	14300000	1210000
	P2	16	6,5	36	179,26	1,36	22,12	7,42	105900	51200
	E (%)	-	-	90,53	82,94	88,97	77,59	27,5	99,26	95,77
Coleta 2	P1	15	7,6	660	721,92	0,14	131,63	22,5	26130000	500000
	P2	14	6,8	280	507,6	2,33	62,72	9,38	2419600	53000
	E (%)	-	-	57,88	29,69	93,99	52,35	58,4	90,74	89,4
Coleta 3	P1	14	7,9	780	630,55	0,19	138	49,7	1210000	100000
	P2	13	6,9	240	373,37	1,18	64,15	24,3	1210000	100000
	E (%)	-	-	69,23	40,79	83,9	53,51	51,11	0	0
Coleta 4	P1	14	8	960	1245,84	0,18	191,5	61	4570000	200000
	P2	9,1	6,7	240	518,35	0,7	63,16	22,5	970000	31000
	E (%)	-	-	75	58,39	74,29	67,02	63,11	78,77	84,5
Coleta 5	P1	14	8,3	600	1293,06	0,15	200,03	75	10120000	5560000
	P2	10	6,6	120	240,62	1,5	22,45	7,5	12033	5475
	E (%)	-	-	80	81,39	90	88,78	90	99,88	99,9
Eficiência média	E (%)	-	-	70,53	52,95	85,30	62,60	50	66,32	67,42

1 – Temperatura da amostra (°C); 2 – pH; 3 – DBO<sub>5</sub> (mg.L<sup>-1</sup>); 4 – DQO (mg.L<sup>-1</sup>); 5 – OD (mg.L<sup>-1</sup>); 6 – Nitrogênio Amoniacal (mg.L<sup>-1</sup>); 7 – Fósforo (mg.L<sup>-1</sup>); 8 – Coliformes Totais (NMP.100 ml<sup>-1</sup>); 9 – *Escherichia coli* (NMP.100 ml<sup>-1</sup>).

Fonte: Autor (2011)

A Figura 2 mostra os gráficos gerados a partir de cada coleta mostrando o desempenho do sistema de ZR ao longo das 5 coletas realizadas.



1 – Amônia (mg.L<sup>-1</sup>); 2 – Nitrogênio (mg.L<sup>-1</sup>); 3 – Fósforo (mg.L<sup>-1</sup>); 4 – Coliformes Totais (NMP.100 ml<sup>-1</sup>); 5 – Oxigênio Dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>); 6 – Turbidez (NTU); 7 – Fósforo (mg.L<sup>-1</sup>); 8 – Coliformes Totais (NMP.100 ml<sup>-1</sup>); 9 – *Escherichia coli* (NMP.100 ml<sup>-1</sup>).

**Figura 2 – Gráficos mostrando o desempenho nas 5 coletas do sistema de ZR**

O sistema de ZR mostrou-se eficiente apesar de o sistema se encontrar em fase de aclimação e também da existência de condições não apropriadas para o seu desenvolvimento. As condições não foram propícias, principalmente para as plantas, devido ao frio intenso, tendo o plantio ocorrido no outono com ocorrência de geadas o que prejudicou o desenvolvimento das plantas, que são as responsáveis pelo tratamento. A temperatura média mínima no período desde o plantio das macrófitas até a última coleta foi de 8,7°C e a precipitação média neste mesmo período foi de 2,5 mm (SIMEPAR, 2011). A temperatura mínima média no período foi baixa, afetando negativamente o desenvolvimento biológico do sistema. A precipitação média foi baixa, o que mostra que não houve interferência com diluição do efluente tratado no sistema de ZR.

Considerando o OD (parâmetro número 5 na Tabela 3 e no Gráfico da Figura 2), a eficiência média do sistema na reposição do OD foi de 85,30%. Uma boa eficiência se considerar que o OD na fossa séptica chega a quase zero miligramas por litro por ser essa de características anaeróbicas. A introdução de oxigênio do ar, por meio das raízes das plantas, segundo Ambros (1998) é de 5 g.m<sup>-2</sup> por dia, sendo este um valor médio anual (VAN KAICK, 2002). Por meio disso é que se tem o aumento significativo de OD no sistema. A 1ª e 2ª coletas são as que apresentam maior eficiência na adição de OD, chegando a 88,97% e 93,99%, respectivamente. Este fato pode ter ocorrido devido ao preenchimento dos poros aerados entre as britas e a areia com esgoto sanitário. Sabe-se que 60% do volume do sistema são poros aerados. O enchimento efetivo ocorreu apenas no dia 14 de

maio, ou seja, 9 dias antes da 1ª coleta, o que pode ter interferido no resultado com a presença de OD dos poros.

A diminuição do OD na 3ª coleta pode ter ocorrido devido ao aumento da DBO no sistema, que passou de 660 mg.L<sup>-1</sup> na 2ª coleta para 780 mg.L<sup>-1</sup> na 3ª coleta, aumentando então a degradação dessa matéria orgânica no sistema e consequentemente o consumo de OD. A Figura 3 mostra a relação entre concentração da DBO<sub>5</sub> de entrada e a concentração de OD na saída do sistema.

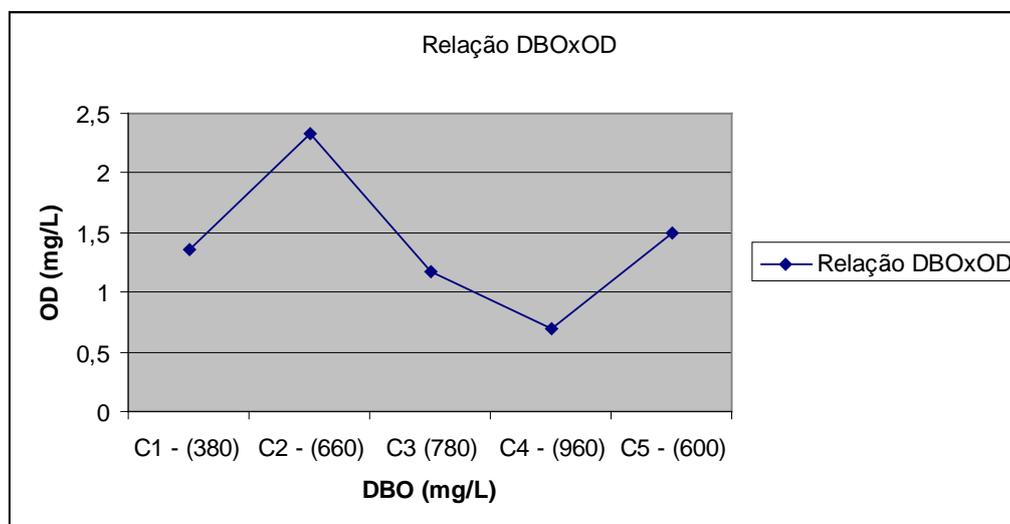


Figura 3 – Gráfico de relação entre DBO e OD  
Fonte: Autor (2011)

A Figura 1 mostra que na 1ª e 2ª coletas a concentração de OD aumentou, apesar de a concentração de DBO ter aumentado também. Entretanto, a partir da 3ª coleta o nível de OD reduziu à medida que a concentração de DBO aumentou. A 5ª coleta apresentou um resultado positivo, pois, a DBO reduziu, portanto, a eficiência na adição de OD aumentou e chegou a 90%. Neste caso, pode-se afirmar que a fossa séptica apresentou uma eficiência maior, o que propiciou um funcionamento mais adequado do sistema de ZR.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento de Zonas de Raízes é complexo, pois, exige a inserção de diversas variáveis, como clima, tipo de solo e ciclo hidrológico, que influenciarão diretamente na evolução do sistema. Na pesquisa relacionaram-se essas variáveis, procurando evitar problemas como extravasamento e obstrução do sistema por ZR, e planejando a melhor forma de evolução biológica do sistema. No caso do extravasamento e obstrução, além das dimensões calculadas com base na metodologia de Reed (1992), onde obteve-se comprimento, largura e profundidade de 5,85 m, 1,16 m, e 0,35 m respectivamente, calculou-se também uma faixa de segurança para estabilização das laterais do sistema de ZR, onde foi projetado um talude com 45°, o que aumentou o comprimento e a largura do sistema para 6,55 m e 1,86 m respectivamente.

Com esse dimensionamento, o sistema demonstrou-se propício ao tratamento do efluente da fossa séptica. O sistema de ZR mostrou-se eficiente na adição de Oxigênio Dissolvido (OD), com eficiência média de 85,30%, apesar das particularidades negativas com o início do seu funcionamento na estação do inverno e o pouco tempo para aclimação das plantas na ZR. Esse fato não propiciou o desenvolvimento das plantas aquáticas de forma adequada, tendo o replantio de todos os indivíduos após certo tempo de funcionamento do sistema o que ocasionou a formação de possíveis falhas no tratamento por ZR efetivamente. Possivelmente, o sistema de Zona de Raízes funcionou mais como um filtro biológico horizontal do que propriamente um sistema de Zona de Raízes, devido a quase inatividade das plantas.

Conhecendo a importância dessas variáveis, nota-se que o desenvolvimento desses sistemas de tratamento por ZR possuem especificidades próprias conforme a localidade geográfica, havendo então particularidades a serem descobertas por meio de estudos, principalmente no formato ideal da construção do sistema de tratamento de esgoto por Zona de Raízes e na escolha das plantas a serem utilizadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMIRANTE TAMANDARÉ – PREFEITURA MUNICIPAL; FGV – FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Diagnóstico do Plano Municipal de Almirante Tamandaré. Almirante Tamandaré, 2006, 268 p;
2. BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**: novos materiais para construção civil. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2 v. 1994;
3. BERTOLINO, A.. Emergências Ambientais Relacionadas aos Conflitos de Uso e Ocupação do Solo em Pequenas Propriedades Rurais na Região do Aquífero Carste em Almirante Tamandaré – PR. 2010. 119 p. Monografia (Especialização em Emergências Ambientais). Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Curitiba, 2010;
4. BRIX, H. (1997). Macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Wat. Sci. Tech.*, v.35, n.5, pp. 11-17;
5. CAVIGLIONE, J. H. *et al.* Cartas climáticas do Paraná. Londrina : IAPAR, 2000;
6. GASPARIN, D. C.; BOLLMANN, H. A. A importância do aquífero cárstico em Almirante Tamandaré, Paraná, como recurso estratégico na gestão urbana e regional. 2009. 197 f. Dissertação (Mestrado). PUCPR, Curitiba, 2009;
7. CUNHA, S. B. da. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 472 p. ISBN 85-286-0326-1;
8. DALARMI, O. Utilização futura dos recursos hídricos da Região Metropolitana de Curitiba. R. Técnica da SANEPAR, Curitiba, v. 4, n.4, p. 31-43, abr/maio/jun. 1995;
9. EMBRAPA; EMATER. Mapa de solos do Paraná. [...]. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>. Acesso em 18 agosto 2010;
10. ESTEVES, F. de A.. Fundamentos de Limnologia. 2. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.;
11. FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Ed.). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 2. ed. Fortaleza: CPRM, 2000. 391 p;
12. GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S., BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil 1999. 339 p.;
13. IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Caderno Municipais. 2010;
14. MARQUES, D. da M.. Terras Úmidas Construídas de Fluxo Subsuperficial. In: CAMPOS, José Roberto. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 409-436;
15. MINEROPAR - Minerais do Paraná S.A. O sistema carste. In: Workshop sobre o Aquífero Karst em Almirante Tamandaré. Almirante Tamandaré, 2005. 1 CD-ROM;
16. OLIVEIRA, K. R. F. de. *et al.* Pós-tratamento de RAFAs por banhados construídos utilizando a macrófita *typha domingensis* pers. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo. Anais... Campo Grande: ABES, 2005. Disponível: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-123.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2010;
17. PHILIPPI, L.S., SEZERINO, P.H. (2004). Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas. Ed. do Autor. Florianópolis/SC. 144p;
18. REED, S. Constructed Wetland design: the first generation. *Wat. Env. Res.*, V.64, n. 6, p. 776-781, 1992;
19. ROSA FILHO, E. F. da; LISBOA, A. A.; SCHOENAU, O.. Abastecimento de Água de Curitiba – Situação Atual e Proposta de Solução. Disponível em: <http://www.unesco.org/uy/phi/libros/estrategias/art01.html>; Acesso em: 04 fev. 2011;
20. SANTOS, R. M. F. dos. Pós-tratamento de esgoto: sistema sequencial de Leitões cultivados (*constructed wetlands*) vertical e horizontal. 2009. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2009;
21. SIMEPAR. Banco de dados do Sistema Meteorológico do Paraná. 2011;
22. SEZERINO, P.H.. Potencialidade dos Filtros Plantados com macrófitas (*constructed wetlands*) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental), 171p. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC, 2006;
23. 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. 2002. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2002;
24. VON SPERLING, M.. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais, 452 p., 2005.