

II-560 – PERSPECTIVAS TÉCNICAS E SOCIOAMBIENTAIS NA SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DESCENTRALIZADAS PARA O TRATAMENTO DE ESGOTOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO

Helisson H. Borsato de Andrade⁽¹⁾

Graduado em Tecnologia em Gerenciamento Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná; Mestrando em Engenharia Civil, linha de pesquisa Sustentabilidade e Recursos Hídricos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Aliny Lucia Borges Borba

Graduada em Engenharia de Produção Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná; Mestranda em Engenharia Civil, linha de pesquisa Sustentabilidade e Recursos Hídricos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Tamara Simone Van Kaick

Graduada em Bacharelado em Biologia e Licenciamento em Ciências pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná; Mestre em Inovação Tecnológica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná e Doutora em Meio Ambiente e Desenvolvimento pela Universidade Federal do Paraná; Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Thomaz Aurélio Pagioro

Graduado em Biologia pela Universidade Estadual de Maringá, Mestre e Doutor em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais Universidade Estadual de Maringá. Tem experiências na área de Ecologia, com ênfase em Limnologia Física Química e Biológica. Docente dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Celimar Azambuja Teixeira

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa, mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo e doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Endereço⁽¹⁾: Rua Felipe Camarão, 159 - Rebouças - CEP: 80215-040 – Curitiba, Brasil - Tel: (41) 3013 14 51 - e-mail: helissonborsato@gmail.com

RESUMO

O direito a saúde e bem estar é necessidade primordial de qualquer população, este muitas vezes negligenciado pela falta de adequação dos lançamentos sanitários doméstico. A ineficiência dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários é problemática já conhecida das populações mais periféricas das zonas urbanas ou mesmo rurais, onde não muitas vezes nem há coleta ou tratamento de esgotos. Uma solução possível para tais circunstâncias é a integração de sistemas de tratamentos de esgotos sob a perspectiva descentralizada, visto que as grandes estações não atingem estas comunidades, por serem demasiadamente onerosas ou por impossibilidade técnica. Este artigo apresenta um processo de tomada de decisão por meio de critérios técnicos e socioambientais da escolha do modelo de tratamento de esgotos a ser implementado em duas instituições públicas de ensino fundamental no município de Pinhais, Paraná. Para escolha dos sistemas, foram pré-selecionados três unidades, todos posterior ao tanque séptico, sendo elas: Filtro Anaeróbio, *Wetlands* construídas de fluxo sub-superficial vertical e horizontal. Diante dos dados levantados pode-se observar que o sistema de *wetlands* de fluxo sub-superficial vertical seria o mais recomendado para adequação dos efluentes sanitários nas instituições de ensino, dado sua simplicidade construtiva/operacional, eficiência na remoção de matéria orgânica e nutrientes e menor área se comparado com o *wetland* de fluxo horizontal. Fator também considerado na seleção foi o aspecto paisagístico que os sistemas de *wetlands* proporcionam, este auxilia o despertar do interesse dos usuários e dos professores a fim de utilizar o sistema de tratamento de esgoto como tema para as aulas, iniciando um processo de transversalidade do tema conservação de recursos hídricos e saneamento nas disciplinas curriculares, tendo o objeto de pesquisa e observação na própria escola.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Esgotos, Sistemas Descentralizados, *Wetlands* construídas, critérios socioambientais.

INTRODUÇÃO

O saneamento básico é uma das necessidades fundamentais para a manutenção da qualidade de vida de qualquer população. Todavia, o Brasil tem apresentado grandes disparidades neste direito a saúde e bem estar do cidadão, atendido através do tratamento e destinação correta de seus dejetos (principalmente esgotos sanitários e resíduos sólidos).

O cenário nacional para a questão do saneamento básico apresenta-se ainda aquém do satisfatório. Para o ano de 2009 cerca de 30% dos domicílios brasileiros, não possuíam qualquer tipo de tratamento e/ou controle dos esgotos sanitários, sejam fossas negras, sépticas ou valas de escoamento (IBGE, 2009), representando cerca de 15 milhões de domicílios não atendidos por este serviço básico, lançando seus dejetos diretamente no solo ou corpos hídricos.

Para Jordão e Pessoa (1995), os despejos de esgotos sanitários nos corpos hídricos sem prévio tratamento pode ocasionar sérios desequilíbrios nas comunidades aquáticas, resultado principalmente da depleção do oxigênio dissolvido, em virtude do processo de eutrofização. Fator de grande relevância que também deve ser considerado é o dano direto à saúde humana, pois este lançamento indiscriminado contamina os mananciais com vírus, bactérias e parasitos, causando problemas de saúde pública nas populações envolvidas.

Atualmente as políticas governamentais têm sido direcionadas principalmente para a construção de grandes Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), estes esforços, apesar de terem importância significativa, muitas vezes tornam os dados mais discrepantes, pois regiões rurais e/ou periféricas dificilmente serão atendidas por estas infraestruturas, devido a questões de ordem técnica e financeira, corroborando para a proliferação de doenças e contaminação dos sistemas naturais destas regiões.

Em regiões onde não há atendimento de coleta e tratamento de esgotos por parte de empresas de saneamento, adota-se como alternativa para a adequação dos efluentes sanitários gerados, a instalação de Tanques Sépticos em seguida por dispositivo complementar (Filtros Aerados, Filtros Anaeróbio, Disposição Controlada etc.) todos descritos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas através das NBR 7229 de 1993 e NBR 13969 de 1997. Para as regiões rurais são indicados soluções individuais para destinos de dejetos conforme indicados no Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde - FUNASA (2006) que são: privada com fossa seca; privada com fossa estanque; privada com fossa de fermentação e privada química para localidades onde não existe rede de água encanada. Para as regiões com rede de água encanada, mas que não dispõe de sistemas de esgotos sanitários, o mesmo Manual de Saneamento recomenda que o efluente do vaso sanitário seja conduzido para tanque séptico ou tanque Imhoff.

Além das técnicas já sistematizadas de adequação dos efluentes domésticos, descritas pelas ABNT e pelo Manual de Saneamento da FUNASA (2006), buscando a perspectiva do saneamento descentralizado, podemos incluir os *constructed wetlands* em seus diferentes arranjos, como mais uma possibilidade para adequação destes lançamentos, e redução dos impactos negativos devido à ineficiência ou o não tratamento de esgotos.

Este artigo apresenta um processo de tomada de decisão por meio de critérios técnicos e socioambientais da escolha do modelo de tratamento de esgotos a ser implementado em duas instituições públicas de ensino fundamental no município de Pinhais, Paraná. Considerando que além de atender a adequação do tratamento de esgoto, evitando inconformidades legais e degradação ambiental, a tecnologia selecionada deve servir a demandas sociais, pela característica mobilizadora que as instituições públicas de ensino devem assumir associada ao apelo paisagístico que a mesma possui atraindo a curiosidade dos usuários e da comunidade, e a possibilidade de utilizar o tema do tratamento de esgoto e conservação dos recursos hídricos como tema transversal às disciplinas do currículo escolar.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da Área de Estudo

A avaliação foi realizada tendo como foco os sistemas de tratamento de esgotos descentralizados a serem aplicados nas Escolas Municipais Felipe Zeni e Aroldo de Freitas, que atualmente não são atendidas por rede de coleta, as duas instituições estão localizadas no Município de Pinhais, pertencente à região metropolitana de Curitiba, no estado do Paraná.

O município encontra-se em uma região de clima subtropical, com temperaturas amenas na maior parte do ano, com Clima tipo Cfb – subtropical úmido (mesotérmico), segundo a classificação de *Köppen*, com média do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C, sem estação seca, verão brando e geadas frequentes (CHEPAK, 2008).

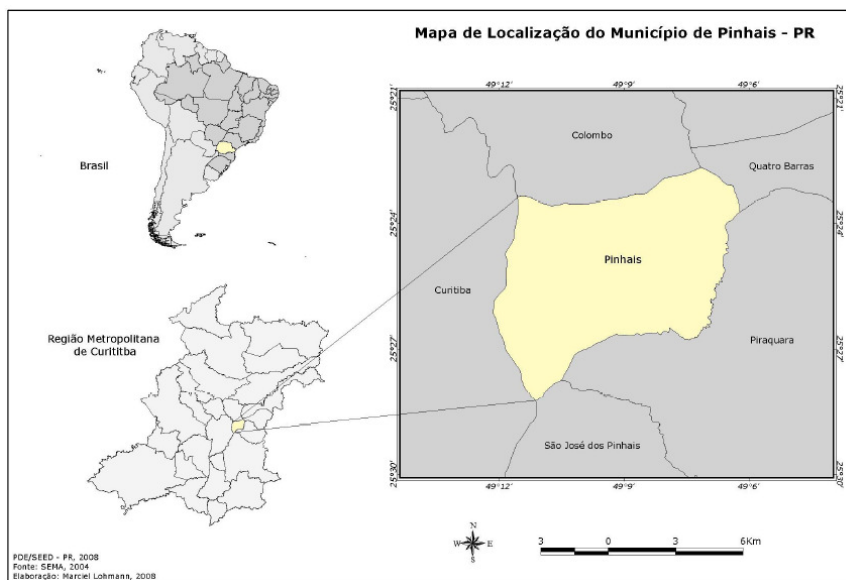


Figura 1 – Localização do Município de Pinhais

Fonte: Chepak (2008)

A Escola Municipal Felipe Zeni é composta por quinhentos e sessenta e seis (566) alunos, sendo no total vinte e duas (22) turmas, nove (9) pela manhã e doze (12) pela tarde. A Escola Municipal Aroldo de Freitas possui uma estrutura um pouco menor, sendo composta por quinhentos e quarenta (540) alunos, divididos em nove (9) turmas pela manhã e onze (11) pela tarde (FERMINO & YUEN, 2010) (Figura 2).

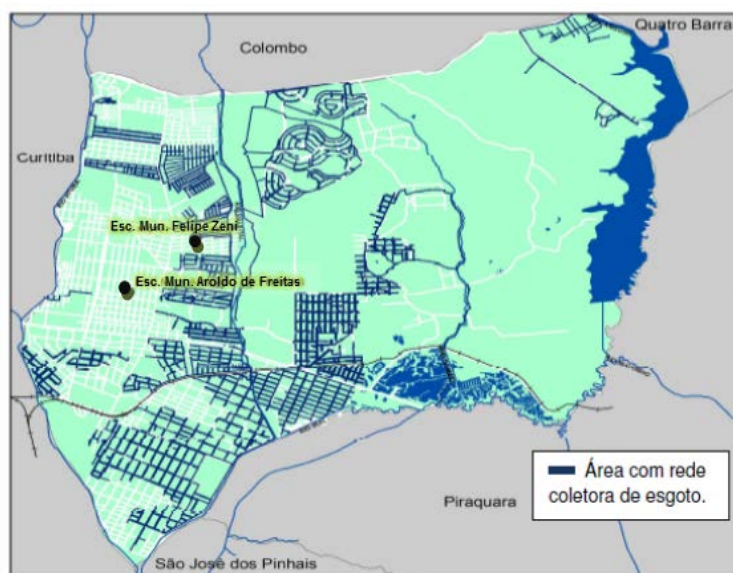


Figura 2 – Localização das Instituições de ensino no Município de Pinhais, Paraná.

Adaptado de Prefeitura Municipal de Pinhais (2010)

Dimensionamento dos Modelos

A partir da caracterização do efluente de uma das instituições de ensino, obtida através de ensaios físico-químicos, seguindo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998) realizados nos laboratórios do Departamento de Química e Biologia – DAQBI no *campus* Curitiba da UTFPR, deu-se o

dimensionamento dos sistemas a serem empregados nas duas situações, de acordo com a população a ser atendida em cada instituição. A escolha da Escola Municipal Aroldo de Freitas para caracterização dos efluentes produzidos deu-se por critérios técnicos, visto que a outra instituição (Esc. Mun. Felipe Zeni) tem o lançamento da cozinha e sanitários em redes distintas, dificultando a coleta e homogeneização da amostra depreciando a qualidade dos ensaios.

A título de verificação da tecnologia mais adequada à situação encontrada foram pré-selecionados três arranjos com potencial de aplicação no local, sendo eles: *wetlands* de fluxo vertical sub-superficial (zona de raízes), *wetlands* de fluxo horizontal sub-superficial e filtro anaeróbio de fluxo ascendente, todas aplicadas posterior ao tratamento preliminar em tanque séptico dimensionado segundo a ABNT NBR 7229 de 1993.

Para dimensionamento do *wetland* construído de fluxo vertical, utilizou-se dos parâmetros descritos por Platzer (2007) (Equações 1, 2 e 3) no qual calcula-se a demanda de oxigênio para degradação de matéria orgânica e oxidação de nitrogênio. Em seguida realiza-se o cálculo da entrada de oxigênio no sistema por convecção e difusão, para que haja um equilíbrio nas reações e torne o sistema eficiente.

$$\text{Demanda } O_{2 \text{ TOTAL}} = \text{Demanda } (O_{2 \text{ DQO}} + O_{2 \text{ NT}}) - \text{Recuperação } O_{2 \text{ DN}} \quad \text{equação (1)}$$

Posterior à quantificação da demanda total de oxigênio para depurar certo efluente, calcula-se a oferta total de O_2 através dos processos de convecção e difusão atmosférica:

$$\text{Oferta } O_{2 \text{ TOTAL}} = \text{Entrada } (O_{2 \text{ CONVECÇÃO}} + O_{2 \text{ DIFUSÃO}}) \quad \text{equação (2)}$$

Para que haja um funcionamento eficiente do sistema a entrada de O_2 pelos diferentes processos tem que ser superior ou igual à demanda para oxidação da matéria carbonácea e nitrogenada:

$$\text{Oferta } O_{2 \text{ TOTAL}} - \text{Demanda } (O_{2 \text{ TOTAL}} \geq 0) \quad \text{equação (3)}$$

O *wetland* de fluxo horizontal seguiu o recomenda por Cooper *et al* (1996) citado por Philippi e Sezerino (2004) (Equação 4) no qual obtém-se a área superficial da unidade através da inserção da concentração de matéria orgânica de entrada e a concentração matéria orgânica requerida ao final do tratamento.

$$A_h = \frac{Q \cdot (\ln Co - \ln Ce)}{K_{\text{DBO}}} \quad \text{equação (4)}$$

Onde:

A_h = Área superficial requerida;

Q = Vazão média;

Co = Concentração de matéria orgânica afluente;

Ce = Concentração de matéria orgânica efluente;

K_{DBO} = Coeficiente degradação da DBO;

Para o dimensionamento do filtro anaeróbio de fluxo ascendente seguiu-se o recomendado pela ABNT NBR 13969 de 1997 (Equação 5).

$$Vu = 1,6 \cdot N \cdot C \cdot T \quad \text{equação (5)}$$

Onde:

Vu = Volume útil;

N = Numero de contribuintes;

C = Contribuição de despejos, em litros x habitantes.

T = Tempo de detenção hidráulica em dias

Seleção dos Modelos

Os modelos dimensionados foram avaliados por meio dos seguintes critérios: (i) *técnicos*, eficiência de remoção de matéria orgânica em termos de DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), eficiência na remoção de nutrientes em termos de Nitrogênio Total e Fosfatos, complexidade/simplicidade operacional, complexidade/simplicidade construtiva e área necessária; e (ii)

socioambientais, eficiência na descontaminação do efluente, fácil replicação da tecnologia em domicílios da comunidade e potencial de sensibilização no tocante as questões ambientais e introdução como tema transversal nas disciplinas do currículo do ensino fundamental.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização dos efluentes produzidos foi obtida através de ensaios físico-químicos cujos resultados estão apresentados a seguir na Tabela 1, as amostras foram coletadas na caixa de inspeção antes da chegada ao tanque séptico, esta água residuária é composta por efluentes da cozinha e sanitários.

Tabela 1: Características físico-químicas do efluente sanitário produzido na Esc. Estadual Aroldo de Freitas, utilizado como parâmetro para dimensionamento dos sistemas.

PARÂMETRO	Valores Médios
DQO (mg/L)	629,98
Nitrito (mg/L)	3,15
Nitrato (mg/L)	10,31
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	24,20
Nitrogênio total(mg/L)	64,64
Fosfato PO_4^- (mg/L)	79,00
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	16,27
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	14,73
pH	6,97

Com base na caracterização acima, juntamente com as populações atendidas em cada instituição utilizando das metodologias de dimensionamento já descritas, foram dimensionadas as unidades de tratamento com potencialidade de aplicação nas instituições de ensino obtendo assim a área requerida para cada sistema.

No Quadro 2, estão contidas as informações técnicas, levantadas *in loco* e calculadas, bem como, população atendida, área estimada para cada sistema, informações de bibliografias levantadas em trabalhos científicos publicados sobre cada tipo de tratamento, como: eficiência percentual na remoção de DQO, DBO_5 , Nitrogênio Total e Fosfato, informações a complexidade de implantação, operação/manutenção e emissão de odor.

No tocante aos critérios técnicos observa-se que o modelo que demandaria a menor área para sua construção seria o filtro anaeróbio (16m^2 a 17m^2), no entanto o maior desempenho na remoção de nutriente e matéria orgânica é encontrado nos sistemas de *wetlands* em ambos os tipos de fluxo, com destaque para remoção de nitrogênio apresentada pelo sistema de fluxo horizontal, fato que pode ser atribuído às características construtivas do modelo.

Quanto à implantação, o filtro anaeróbio demandaria maior conhecimento e emprego de técnicas construtivas sensivelmente mais elaboradas quando comparadas ao modo simplificado de construção dos *wetlands*, podendo acarretar maiores custos de construção e dificultando sua replicação e outras situações na comunidade de entorno.

Todos os modelos avaliados praticamente não possuem a geração de lodo nem operação de sistemas mecânicos, fato que torna sua operação e manutenção simplificada, dispensando mão de obra especializada ou com elevada instrução para sua operação, deve-se ressaltar que nos sistemas de *wetlands* que por haverem plantas cultivadas no meio suporte necessitariam de uma atenção quanto às espécies cultivada, havendo por vezes a necessidade de remoção parcial ou poda dos indivíduos cultivados nos leitos.

Um inconveniente atribuído ao filtro anaeróbio é a emissão e odor desagradável, oriundo dos processos anaeróbios recorrentes em seu interior, fator que pode limitar sua aplicação devido à proximidade das instalações de ensino ao sistema de tratamento.

Sob a perspectiva socioambiental, todos os sistemas apresentam-se favoráveis por não utilizarem energia elétrica em seu funcionamento, possuírem relativa simplicidade construtiva e operacional, todavia as tecnologias que integram *wetlands* possuem maior eficiência na descontaminação do efluente, sobretudo na remoção de nutrientes.

Quadro2: Aspectos técnicos referentes a cada unidade de tratamento estudada.

		Filtro Anaeróbio ¹	Wetlands FV ²	Wetland FH ³
População	A	556		
	B	540		
Área Estimada (m²)	A	17	124	175
	B	16	114	160
Eficiência Teórica (%)	DQO	40 a 75*	77 a 93	85 a 98
	DBO₅	40 a 70*	77 a 98	61 a 97
	Nitrogênio Total	-	~88	~23
	Fosfato	20 a 50*	33 a 72	43 a 78
Implantação		Mediana Complexidade	Simples	Simples
Operação/Manutenção		Simples	Simples	Simples
Emissão de Odor		Sim	Não	Não

A= Escola Municipal Felipe Zeni

B= Escola Municipal Aroldo de Freitas

*Valores globais de tanque séptico + filtro anaeróbio.

Outro fator de impacto positivo nas tecnologias de *wetlands* é o caráter paisagístico propiciado pelos leitos cultivados, pode-se utilizar de macrófitas aquáticas que possuam inflorescências coloridas (a exemplo da *canna x generalis* L.H. Baile) propiciando maior integração do usuário com o sistema de tratamento (Figura 3).



**Figura 3 – Wetland de fluxo vertical (zona de raízes) implantada na Escola Municipal Padre Luigi Salvucci, Foz do Iguaçu, Paraná.
Fonte: Projeto Vida à Água (2010)**

¹ ABNT NBR 1393 (1997)

² Platzer, C. *et al.* (2007)

Kaick T. S. *et al.* (2008)

Almeida, A. R. *et al.* (2007)

³ Olygink *et al.* (2007)

Mota F. S. B. E. Sperling, M. V. (coord.) (2009)

CONCLUSÃO

Diante dos dados levantados pode-se observar que o sistema de *wetlands* de fluxo sub-superficial vertical seria o mais recomendado para adequação dos efluentes sanitários nas instituições de ensino, dado sua simplicidade construtiva/operacional, eficiência na remoção de matéria orgânica e nutrientes e menor área se comparado com o *wetland* de fluxo horizontal.

O diferencial do sistema *wetland* no tocante ao seu potencial de remoção de matéria orgânica e nutrientes, é relevante quando se leva em conta que o município de Pinhas encontra-se em região de um importante manancial que abastece o município de Curitiba e região metropolitana, e a proposição de sistemas individuais de tratamento de esgoto, reduz a carga de nutrientes e matéria orgânica aportada nos corpos hídricos, evitando a ocorrência de processo de eutrofização nos mananciais de abastecimentos públicos.

Também há o benefício socioambiental, pois certa facilidade de replicação e adaptação do sistema as condições locais são apresentadas, fazendo com que a implantação deste modelo nas instituições de ensino não sirva apenas a adequação dos lançamentos de efluentes locais, mas seja replicado pelos moradores da comunidade em suas residências onde não apresente rede coletora de esgotos, servido assim de modelo de difusão tecnológica, além de despertar os alunos para as questões ecológicas.

O aspecto paisagístico que os sistemas de *wetlands* proporcionam também auxilia o despertar do interesse dos usuários e dos professores a fim de utilizar o sistema de tratamento de esgoto como tema para as aulas, iniciando um processo de transversalidade do tema conservação de recursos hídricos e saneamento nas disciplinas curriculares, tendo o objeto de pesquisa e observação na própria escola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1993). Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos. NBR 7229. Rio de Janeiro: ABNT, 15p.
2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. NBR 13969. Rio de Janeiro: ABNT, 60p.
3. ALMEIDA, A. R. et al. Eficiência de Espécies Vegetais na Purificação de Esgoto Sanitário. Revista Pesq. Agro. Trop. Vol. 37. n1. Goiânia, 2007.
4. AWWA, APHA, IWA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20ª ed., Washington D.C. 1998.
5. CHEPAK, M. F. A. Atlas geográfico do município de Pinhais. 2008. 36 p. Atlas geográfico – PDE, SEED, UFPR, Curitiba/PR, 2008.
6. FERMINO, Débora Evelyn da R.; YUEN, Talita. Estudo de caso: Educação Ambiental voltada a Resíduos Sólidos Urbanos nas escolas municipais Felipe Zeni e Aroldo de Freitas. 2010. 73 f. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação)- Curso Superior de Tecnologia em Processos Ambientais. Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2010.
7. FUNASA. Manual de Saneamento. Brasília: Fundação Nacional de Saúde 3 ed. 2006. 408p.
8. IBGE. Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira. Brasil: 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/diretorios.php>. Acesso em: 05 maio. 2011.
9. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. Rio de Janeiro: (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), 3º ed, 1995, 681p.
10. KAICK, T. S. et al. Estação de Tratamento de Efluentes Domésticos por Zona de Raízes (ETEZR) numa Comunidade Rural. In: Anais VI Semana de Estudo em Engenharia Ambiental. UNICENTRO. 2008.
11. MOTA F. S. B. E. SPERLING, M. V. (coord.). Nutrientes de Esgoto Sanitário: utilização e remoção. ABES. Rio de Janeiro, 2009. 428p.
12. OLYGINK. et al Sistemas de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes: Análise Comparativa de Sistemas Instalados no Estado de Santa Catarina. In: Anais 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. 2007.
13. Prefeitura de Pinhais. Mapas Plano Diretor 2010. Disponível em: <<http://www.pinhais.pr.gov.br/aprefeitura/secretariaseorgaos/desenvolvimentosustentavel/FreeComponent64content767.shtml>>. Acesso em: 14 abril. 2011.

14. PHILLIPI, L. S. SEZERINO, P. H. Aplicação de Sistemas Tipo Wetlands no Tratamento de Águas Residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas. Florianópolis:2004, 144p.
15. PLATZER, C. *et al.* Dimensionamento de *Wetland* de Fluxo Vertical com Nitrificação – Adaptação de Modelo Europeu para as Condições Climáticas do Brasil. *In: Anais 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.* ABES. 2007.
16. Projeto Vida à Água (2010). Prêmio Expressão de Ecologia. Disponível em: <<http://www.expressao.com.br/ecologia/conteudos/cases2010/projetos/utfpr.html>>. Acesso em: 10 abril. 2011.