

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL

EDUARDO BELLO RODRIGUES

**TRATAMENTO DE ESGOTO POR ZONA DE RAÍZES:
EXPERIÊNCIAS VIVENCIADAS NUMA ESCOLA RURAL NO
MUNICÍPIO DE CAMPOS NOVOS/SC**

**FLORIANÓPOLIS – SC
FEVEREIRO 2012**

EDUARDO BELLO RODRIGUES

**TRATAMENTO DE ESGOTO POR ZONA DE RAÍZES:
EXPERIÊNCIAS VIVENCIADAS NUMA ESCOLA RURAL NO
MUNICÍPIO DE CAMPOS NOVOS/SC**

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de **MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL** na Área de Engenharia Ambiental.

**FLORIANÓPOLIS
FEVEREIRO 2012**

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

R696t Rodrigues, Eduardo Bello
Tratamento de esgoto por zona de raízes [dissertação] :
experiências vivenciadas numa escola rural no município de
Campos Novos/SC / Eduardo Bello Rodrigues ; orientador,
Flávio Rubens Lapolli. - Florianópolis, SC, 2012.
118 p.: il., grafs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia ambiental. 2. Esgotos. 3. Educação ambiental.
4. Águas residuais. I. Lapolli, Flávio Rubens. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título.

CDU 628.4

EDUARDO BELLO RODRIGUES

**TRATAMENTO DE ESGOTO POR ZONA DE RAÍZES:
EXPERIÊNCIAS VIVENCIADAS NUMA ESCOLA RURAL NO
MUNICÍPIO DE CAMPOS NOVOS/SC**

Esta dissertação foi julgada aprovada para a obtenção do Título de “Mestre em Engenharia Ambiental”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Florianópolis, 27 de fevereiro de 2012

Banca Examinadora:

Prof^a. Maria Ángeles Lobo Recio, Dra.^a

Prof^a. Mônica Aparecida Aguiar dos Santos, Dra.^a

Prof. Paulo Belli Filho, Dr.

Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado graças à ação conjunta de várias pessoas e entidades às quais devo meu profundo agradecimento:

Aos meus queridos pais, João Bosco Rozas Rodrigues e Coralucia Chaltein Bello Rodrigues, pelo apoio e otimismo nos momentos de crise.

À empresa ENERCAN, pelo apoio financeiro que viabilizou a construção das unidades desta pesquisa.

À UNOESC, em especial ao professor e amigo Dr. Dirceu Scaratti, pelo apoio e disponibilização do laboratório para realização das análises.

Ao SAMAE, e a todos os meus colegas, em especial ao Diretor e amigo Joel Francisco Fagundes, pelo grande apoio e disponibilização de materiais e funcionários imprescindíveis à realização deste trabalho.

À Prefeitura Municipal de Campos Novos, sob a gestão do Prefeito Vilibaldo Erich Schimd, por acreditar e incentivar as práticas sustentáveis.

À Secretaria de Obras da Prefeitura de Campos Novos, pela disponibilização de máquinas e materiais para a construção dos filtros.

À Secretaria de Educação da Prefeitura de Campos Novos, pelo incentivo e disponibilização da Escola para realizar a pesquisa.

À Diretora e a todas as professoras e funcionários da Escola André Rebouças, pela amizade, carinho e apoio durante os tantos meses de trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Flávio Rubens Lapolli, pela oportunidade de realizar este trabalho, pela orientação, apoio e amizade em todo meu período acadêmico.

A todos os colegas do PPGA pelo apoio e amizade.

À Prof^a. Dr^a. Mônica Aparecida Aguiar dos Santos, pela valiosa colaboração, apoio e incentivo na execução desta dissertação.

Agradeço a DEUS pela minha simples existência e peço que vibrações positivas iluminem essa nova jornada de minha vida.

RESUMO

Um dos maiores problemas ambientais observado na zona rural brasileira é a falta de sistemas de tratamento de efluentes sanitários adequados à realidade dessas comunidades. O sistema de tratamento através da zona de raízes possibilita adequar-se às condições locais devido ao seu baixo custo de implantação e manutenção, possibilidades de aproveitar os recursos locais, como plantas nativas e materiais alternativos, para a construção do filtro, além de evitar equipamentos elétricos para a aeração e condução do tratamento dos efluentes. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo principal implantar e avaliar um sistema de tratamento de efluentes sanitários do tipo zona de raízes, e utilizá-lo como instrumento de educação ambiental em uma escola rural do município de Campos Novos, SC. O sistema foi implantado segundo os princípios da pesquisa-ação, envolvendo os alunos da escola e a comunidade local, desde a sua construção até a sua operação e manutenção. A eficiência do sistema implantado em termos de remoção de DBO, DQO, NH_4^+ , PO_4^{-3} , coliformes totais e coliformes termotolerantes foi, respectivamente: 72,1%, 77,4%, 80,7% e 80,7%, 99,93% e 97,54%. A partir dos resultados obtidos, pode-se verificar que o sistema zona de raízes é bastante promissor na questão da sustentabilidade do saneamento rural e uma excelente oportunidade de participação dos envolvidos na solução de seus problemas ambientais.

Palavras-chave: Zona de raízes. Educação Ambiental. Tratamento de Efluentes Sanitários

ABSTRACT

One of the biggest environmental problems observed in rural Brazil is the lack of systems to wastewater treatment tailored to the reality of these communities. The treatment system through the root zone allows suit local conditions due to its low cost of deployment and maintenance, opportunities to leverage local resources such as native plants and alternative materials for the construction of the filter, and avoids electrical equipment for aeration and conduct of the effluent treatment. In this sense the present work aimed to evaluate and deploy a system for treating wastewater type root zone and use it as a tool for environmental education in a rural school on the city of Campos Novos, SC. The system was implemented according to the principles of action research, involving school children and the local community since its construction to operation and maintenance. The efficiency of the implemented system in terms of removal of BOD, COD, NH_4^+ , PO_4^{3-} , total coliforms and fecal coliforms were respectively 72.1%, 77.4%, 80.7% and 80.7%, 99.93% and 97.54%. From the results obtained can be verified that the system of the root zone is very promising on the issue of sustainability of rural sanitation and an excellent opportunity for participation of those involved in solving their environmental problems.

Keywords: Wetland. Environmental Education. Treatment of Wastewater

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

°C	- Graus Celsius
<i>Col. T</i>	- <i>Coliformes Totais</i>
DBO5	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
<i>E.Coli</i>	- <i>Escherichia Coli</i>
ECOKIT	- Kit de análises de efluentes em campo através de reagentes de baixa concentração, próprio para trabalhar a educação ambiental com crianças
FA	-Filtro Anaeróbio
FUNASA	-Fundação Nacional de Saúde
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
m ²	- Metros quadrados
m ³	- Metros cúbicos
mg	- Miligrama
mg/L	- Miligramas por litro
NH ₄ ⁺	- Amônia
NMP/100ml	- Número mais provável em 100 ml
pH	- Potencial hidrogeniônico
PO ₄ ³⁻	- Ortofosfato
Q	- Vazão
SNIS	- Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
STZR	- Sistema de tratamento tipo zona de raízes
SAA	- Sistema de Abastecimento de Água
SES	- Sistema de Esgotamento Sanitário

ÍNDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1:** ESQUEMA REPRESENTATIVO DA FORMAÇÃO DO BIOFILME NAS RAÍZES E A TRANSFERÊNCIA DE OXIGÊNIO PELAS MACRÓFITAS. FONTE: ADAPTADO DE (SALARO JUNIOR, 2008) 51
- FIGURA 2:** TRANSFORMAÇÃO DO NITROGÊNIO NOS SISTEMAS DE ZONA DE RAÍZES CONSTRUÍDOS. FONTE: ADAPTADO DE PHILIPPI E SEZERINO (2004) 53
- FIGURA 3:** ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UM FILTRO PLANTADO DE FLUXO HORIZONTAL. 1) MACRÓFITAS; 2) TUBULAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO PERFURADA; 3) TUBULAÇÃO DE COLETA PERFURADA; 4) BRITA NA ZONA DE ENTRADA E DE SAÍDA; 5) AREIA NO LEITO FILTRANTE; 6) RAÍZES E RIZOMAS; 7) IMPERMEABILIZAÇÃO DA LATERAL E DO FUNDO; 8) TUBULAÇÃO DE CONTROLE DE NÍVEL. FONTE: OLIJNYK (2008). 56
- FIGURA 4:** ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UM FILTRO PLANTADO DE FLUXO VERTICAL. 1) MACRÓFITAS; 2) TUBULAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO PERFURADA; 3) TUBULAÇÃO DE COLETA PERFURADA; 4) CAMADA DE BRITA NA SUPERFÍCIE E NO FUNDO; 5) AREIA NO LEITO FILTRANTE; 6) RAÍZES E RIZOMAS; 7) IMPERMEABILIZAÇÃO DA LATERAL E DO FUNDO. FONTE: OLIJNYK (2008) 57
- FIGURA 5:** ESTUDANTES REALIZANDO ANÁLISES DO EFLUENTE COM O ECOKIT 66
- FIGURA 6:** FLUXOGRAMA SÍNTESE DOS PROCESSOS E AÇÕES DE EXECUÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTOS POR ZONA DE RAÍZES..... 67

FIGURA 7:	DESCERRAMENTO DA PLACA, COM PREFEITO E SECRETÁRIOS	72
FIGURA 8:	AUTORIDADES E REPRESENTANTES DA SOCIEDADE CIVIL	72
FIGURA 9:	ESQUEMA DA DISPOSIÇÃO DOS TANQUES E FILTROS ANAERÓBIOS.	74
FIGURA 10:	RETIRADA DA MACRÓFITAS DO AMBIENTE NATURAL	78
FIGURA 11:	PREPARAÇÃO DAS MUDAS PARA O PLANTIO	78
FIGURA 12:	PREPARAÇÃO DAS CAVAS E PLANTIO DA MUDAS	79
FIGURA 13:	MUDAS APÓS NOVE MESES DE OPERAÇÃO ...	79
FIGURA 14:	VOLUME MÉDIO MENSAL DE ENTRADA E SAÍDA DE ESGOTOS, ASSIM COMO PRECIPITAÇÃO MÉDIA EM CADA MÊS AO LONGO DO PERÍODO DE AVALIAÇÃO	84
FIGURA 15:	VALORES ABSOLUTOS DE ENTRADA E SAÍDA E EFICIÊNCIA MÉDIA DE REMOÇÃO DA DBO	87
FIGURA 16:	VALORES ABSOLUTOS DE ENTRADA E SAÍDA E EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DA DQO	88
FIGURA 17:	VARIAÇÃO DOS VALORES DE NITROGÊNIO AMONÍACAL, ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMAS POR ZONA DE RAÍZES DURANTE O PERÍODO DE AVALIAÇÃO	90
FIGURA 18:	VARIAÇÃO DOS VALORES DE ENTRADA E SAÍDA DA ZONA DE RAÍZES DURANTE O PERÍODO AVALIADO	91
FIGURA 19:	VARIAÇÃO DOS VALORES DO FÓSFORO, ENTRADA E SAÍDA DO SISTEMAS POR ZONA DE RAÍZES NO PERÍODO AVALIADO	93
FIGURA 20:	VALORES ABSOLUTOS DE ENTRADA E SAÍDA E EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DE C.T.	95
FIGURA 21:	VALORES ABSOLUTOS DE ENTRADA E SAÍDA E EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE <i>E. COLI</i>.....	95

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 1:	COMPARAÇÃO ENTRE A PESQUISA CLÁSSICA E A PESQUISA-AÇÃO	39
QUADRO 2:	ETAPAS DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA	61
QUADRO 3:	RESUMO DAS ATIVIDADES REALIZADAS NA FASE EXPLORATÓRIA DA PESQUISA.....	62
QUADRO 4:	QUADRO RESUMO DOS ENCONTROS PARA AS DINÂMICAS PEDAGÓGICAS.....	65
QUADRO 5:	PLANILHA DE MÉTODO DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS REFERENTES ÀS HIPÓTESES INTERMEDIÁRIAS, QUANTO AO TIPO DE INFORMAÇÃO, FONTE DE EVIDÊNCIA E PROCEDIMENTO DE COLETA E ANÁLISE	69

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1:	POLUENTES E MECANISMOS DE DEPURAÇÃO	48
TABELA 2:	RESULTADO DO ENSAIO GRANULOMÉTRICO DA AREIA	83
TABELA 3:	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA AREIA	83
TABELA 4:	MÉDIAS ARITMÉTICAS E DESVIO PADRÃO PARA CADA PARÂMETRO DURANTE O PERÍODO DE AVALIAÇÃO	86
TABELA 5:	EFICIÊNCIA MÉDIA DE REMOÇÃO(%).....	86

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 PERGUNTA PRINCIPAL E PERGUNTAS INTERMEDIÁRIAS DA PESQUISA	27
1.2 HIPÓTESES DA PESQUISA.....	28
1.3 OBJETIVOS	29
1.3.1 Objetivo geral.....	29
1.3.2 Objetivos específicos.....	29
2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: DIMENSÕES E INDICADORES PARA OS SISTEMAS URBANOS DE ÁGUA E ESGOTO.....	32
2.2 PESQUISA-AÇÃO NA GESTÃO DE PROBLEMAS AMBIENTAIS.....	37
2.2.1 Dificuldades da pesquisa-ação	40
2.3 SANEAMENTO RURAL	41
2.3.1 Sistemas Descentralizados.....	45
2.4 SISTEMA DE ZONA DE RAÍZES NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS	47
2.4.1 Depuração das águas residuárias em zona de raízes	47
2.4.1.1 Depuração da matéria orgânica	49
2.4.1.2 Retenção de sólidos	51
2.4.1.3 Transformação da série nitrogenada.....	52
2.4.1.4 Remoção de fósforo	53
2.4.1.5 Remoção de organismos patogênicos	54
2.4.2 Sistemas de lâminas livre ou escoamento superficial.....	55
2.4.3 Sistemas de escoamento subsuperficial.....	55
2.4.3.1 Zona de raízes de fluxo horizontal	56
2.4.3.2 Zona de raízes de fluxo vertical	56
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO EXPERIMENTO	60
3.2 CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO E OPERACIONALIZAÇÃO DO SISTEMA	60
3.2.1 A fase exploratória.....	62
3.2.2 Planejamento das ações.....	63
3.2.2.1 Linha de ação pedagógica	64
3.2.2.2 Linha de ação de atividades de campo	66

3.2.3	Formação da equipe	67
3.2.4	Coleta e análise de dados	69
3.2.5	Disseminação.....	71
3.3	CONCEPÇÃO DO SISTEMA ZONA DE RAÍZES.....	72
3.3.1	Pré-tratamento e materiais utilizados nos sistemas.....	72
3.3.2	Memorial de cálculo	74
3.3.3	Parâmetros e análises laboratoriais	77
3.3.4	Controle operacional.....	77
3.3.5	Plantio e manutenção da vegetação	78
4.1	ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE ZONA DE RAÍZES	82
4.1.1	Material filtrante.....	82
4.1.2	Balço Hídrico.....	83
4.1.3	Efluentes: resumo dos resultados	85
4.1.3.1	Remoção de matéria orgânica	87
4.1.3.2	Remoção de nutrientes	89
4.2	SUSTENTABILIDADE E A PESQUISA-AÇÃO PARTICIPATIVA NA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DO SISTEMA.....	97
4.2.1	Limites da pesquisa-ação participativa	99
4.2.2	Síntese das dificuldades surgidas	100
5.1	CONCLUSÕES	101
5.2	RECOMENDAÇÕES.....	103
	REFERÊNCIAS.....	105
	APÊNDICES	117

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, frente aos grandes problemas relacionados à falta de esgotamento sanitário, várias tecnologias estão sendo desenvolvidas e implementadas para que se possa instaurar modelos viáveis para os diversos casos que carecem desses sistemas.

Os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística demonstram que aproximadamente 80% da população brasileira reside em área urbana e produz, diariamente, cerca de 14,5 milhões de metros cúbicos de esgoto (MENDONÇA, 2004). Somente 25,6% destes são tratados (SNIS, 2005).

Quanto à natureza do atendimento, a Pesquisa Nacional em Saneamento Básico - PNSB (IBGE, 2008) informa que apenas a região sudeste registra uma elevada presença de municípios com rede coletora de esgotos (95,1%). Nas demais regiões do país, menos da metade dos municípios a possuem, sendo a maior proporção observada na Região Nordeste (45,7%), seguida pelas regiões Sul (39,7%), Centro-Oeste (28,3%) e Norte (13,4%). Das 26 unidades da Federação (sem contar DF), em apenas oito delas mais da metade dos municípios possuem rede coletora de esgotos, sendo os extremos representados pelos Estados de São Paulo (99,8%) e Piauí (4,5%).

Apesar de menos de 1/3 dos Municípios brasileiros efetuarem tratamento de esgoto, o volume tratado representava, em 2008, data da última pesquisa do IBGE, 68,8% do que era coletado. Esse resultado sugere que os municípios com tratamento de esgoto concentravam uma parcela significativa do esgoto coletado. Nesse indicador, houve um avanço considerável em relação a 2000 e a 1989, quando, segundo a PNSB, essas proporções foram, respectivamente, de 35,3% e 19,9%. No entanto, apenas nos municípios com população superior a 1.000.000 de habitantes o volume de esgoto tratado foi superior a 90%. Na maioria das demais classes de tamanho da população do município essa proporção ficou entre 50% e 60%.

Dentre as cidades brasileiras que apresentam sistemas de coleta e tratamento de esgotos existe certa predominância de coletores públicos, com estações elevatórias, que demandam elevados gastos de implantação e operação. Kamiyama (1995) estima um custo na faixa de US\$ 300/hab para a instalação desse sistema na cidade de São Paulo, tornando viável essa implantação apenas em lugares de aglomerados urbanos. Alem Sobrinho & Tsutiya (2000) apresentam uma média proporcional de custos de implantação do sistema de esgoto sanitário

(SES) considerando: redes coletoras (75%), coletores troncos (10%), elevatórias (1%) e estações de tratamento (14%), o que demonstra importante desvantagem financeira para os sistemas centralizados, que demandam uma grande área de rede.

Na zona rural, o déficit é de 17,5% para abastecimento de água e de 96% para coleta de esgoto, situação agravada porque 38% das pessoas não possuem sanitários em suas residências e cerca de 50% fazem uso de fossas negras (BRASIL, 2003).

A situação socioeconômica brasileira faz com que sejam imprescindíveis os investimentos no desenvolvimento de tecnologias alternativas de baixo custo e boa eficiência para o tratamento das águas residuárias. Conforme Brix (1994), uma possibilidade é a implantação de tratamento de efluentes no local onde são produzidos, utilizando os sistemas naturais na interação solo-planta, o que não requer mão de obra especializada, apresenta baixo custo energético e é menos suscetível às variações nas taxas de aplicação de esgoto.

Em seus trabalhos, Van Kaick *et al.* (2008) demonstram que os sistemas descentralizados através de zona de raízes se apresentam como uma tecnologia social e interativa, portanto uma excelente opção para o gargalo do desenvolvimento sustentável: o saneamento básico. Além da tecnologia simples, com gastos bem abaixo dos praticados quando se aplicam os métodos tradicionais centralizados, os autores afirmam ser uma solução para o tratamento de esgotos em regiões menos populosas, como nas áreas rurais, e uma ferramenta preciosa de educação ambiental, no viés da tecnologia social.

O Programa de Pós-Graduação da UFSC tem publicado diversos trabalhos científicos na linha do tratamento de efluentes descentralizado, com destaque para as zonas de raízes. Esses trabalhos, desenvolvidos no programa, serviram como motivação e um alicerce para o embasamento teórico desta pesquisa.

Estimativas da WHO (2005) ressaltam que, para cada R\$ 1,00 investido no setor de saneamento, se economiza R\$ 4,00 na área de medicina curativa, o que mostra a grande importância da disposição adequada dos esgotos para a proteção da saúde pública.

Outra importante razão para tratar os esgotos diz respeito à preservação ambiental. As substâncias presentes nesses dejetos exercem ações deletérias nos corpos d'água: a matéria orgânica pode ocasionar a exaustão do oxigênio dissolvido, resultando na morte de peixes e outros organismos aquáticos, bem como no escurecimento da água e aparecimento de maus odores. Isso porque, os nutrientes acarretam uma forte “adubação” da água, provocando o crescimento acelerado de

vegetais microscópios responsáveis pelo sério desequilíbrio ecológico, além do odor e gosto desagradáveis.

Contudo, as ações técnicas direcionadas ao saneamento básico esbarram sempre em uma mesma situação, a não sustentabilidade das tecnologias implantadas, situação decorrente da ausência de políticas públicas que promovam a disseminação de conhecimentos relacionados ao saneamento básico de forma interativa, por meio de uma pedagogia educacional voltada para a importância da preservação ambiental (THIOLLENT, 2005; PRONAPA, 2005; SANTOS, 2004; WHO, 2010).

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo implantar e avaliar um sistema descentralizado de tratamento de efluentes do tipo zona de raízes como instrumento de educação ambiental, através da metodologia da pesquisa-ação, em uma escola da rede municipal de ensino de Campos Novos, SC.

1.1 PERGUNTA PRINCIPAL E PERGUNTAS INTERMEDIÁRIAS DA PESQUISA

A fundamentação teórica indicou, através de revisão de literatura, os principais desafios que envolvem a implantação de sistemas de tratamento de efluentes de forma sustentável e participativa, e que esteja no âmbito das diretrizes nacionais de saneamento básico.

O saneamento básico, hoje, é uma das principais ferramentas para manter o meio ambiente preservado e garantir qualidade de vida para a população. Porém, ainda é pouco estudado no sentido de como viabilizar projetos de sistemas de tratamento de esgotos que abranjam as dimensões da sustentabilidade, principalmente em locais de baixa densidade populacional, como é o caso das zonas rurais, onde o problema é mais grave.

Com base na fundamentação teórica e considerando as peculiaridades do local de investigação, foi extraída a seguinte pergunta geral da pesquisa:

Quais os caminhos e as estratégias de ações para se implantar um sistema de tratamento de efluentes residenciais por zona de raízes, de forma sustentável, em comunidades rurais, mais especificamente no distrito da Barra do Leão, Campos Novos, SC?

Para auxiliar com a pergunta principal, foram elaboradas as seguintes perguntas intermediárias:

- Como implantar o Sistema zona de raízes com baixo custo financeiro?
- Como fazer com que o sistema esteja de acordo com as dimensões econômicas, políticas, sociais e culturais de sustentabilidade?
- Quais estratégias são necessárias para capacitar e despertar o interesse da comunidade em participar da implantação e operação do sistema?
- Quais os parâmetros e critérios de avaliação que podem ser estabelecidos para o monitoramento do sistema?
- Quais estratégias pedagógicas são capazes de valorizar o sistema implantado como meio de evidência e aprendizagem nas questões ambientais?

1.2 HIPÓTESES DA PESQUISA

A pergunta principal induziu à seguinte hipótese principal: O envolvimento da comunidade na implantação e operação do Sistema de Tratamento por Zona de Raízes permite a socialização da tecnologia de modo que se aproxime ao máximo das dimensões políticas, sociais, econômicas e ambientais de sustentabilidade para uma determinada comunidade rural.

Para a elaboração das hipóteses intermediárias teve-se como referência os estudos de literatura e o objeto empírico do ambiente em questão. Considerando as perguntas intermediárias, pode-se chegar às seguintes hipóteses intermediárias:

- O Sistema de tratamento por zona de raízes permite um tratamento de alta eficiência, baixo custo de implantação e sua operação não requer mão de obra especializada, bem como possibilita o uso de materiais locais de fácil acesso.
- A sustentabilidade política, econômica, cultural e social do Sistema Zona de Raízes dá-se pelo acesso da comunidade às técnicas de tratamento e conseqüentemente nas tomadas de decisões, possibilidade de reuso do efluente, implantação em local público de fácil acesso, baixo custo de implantação e operação e não requer mão de obra especializada.

- A escola é espaço ideal para realizar um projeto de pesquisa que envolva a metodologia participativa, pois se trata de ambiente social e o meio no qual o aluno dá continuidade ao seu processo de socialização.
- As análises laboratoriais e as evidências comportamentais das plantas e dos níveis hidráulicos no Sistema por Zona de Raízes permitem avaliar com certa precisão o desempenho do sistema.
- O Sistema Zona de Raízes, por apresentar um viés paisagístico, permite aulas práticas e expositivas integradas às áreas do conhecimento de ciências e ecologia, evidenciando, portanto, os conteúdos teóricos estudados em salas de aula.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Das perguntas e hipóteses gerais e intermediárias surgiu o objetivo geral da pesquisa:

- Implantar e avaliar um sistema de tratamento de efluentes domésticos do tipo zona de raízes como estratégia para a sustentabilidade do saneamento rural.

1.3.2 Objetivos específicos

- Avaliar o potencial de remoção de poluentes no que diz respeito a: material carbonáceo, fósforo, transformação da série nitrogenada e remoção de organismos patógenos nos sistemas de zona de raízes;
- Construir com a comunidade escolar, por meio do processo de pesquisa-ação (participativo e qualificador), estratégias e ações para a valorização ambiental e a sustentabilidade do sistema implantado.
- Divulgar o sistema proposto e buscar parcerias com entidades públicas e privadas, com a finalidade de criar novos horizontes para a sustentabilidade do saneamento no meio rural.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na fundamentação teórica buscou-se abordar a utilização de sistemas por zona de raízes em algumas regiões do Brasil, e fora do país, e os principais mecanismos de tratamento envolvidos nesses sistemas. Como esse sistema foi aplicado a partir de uma ideia de tecnologia social, outros aspectos como pesquisa-ação, desenvolvimento sustentável e saneamento rural foram, também, explorados neste aporte teórico.

2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: DIMENSÕES E INDICADORES PARA OS SISTEMAS URBANOS DE ÁGUA E ESGOTO

O cenário sobre proteção ambiental de forma sustentável surgiu na 1ª Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, realizada em 1972, em Estocolmo, na Suécia. Essa conferência teve como resultado a criação do programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA (LUIZ, 2009).

No Brasil, após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUCED), realizada no Rio de Janeiro e conhecida como RIO-92 ou ECO-92, e que teve a participação de 179 países, foi criado um importantíssimo documento para as diretrizes ambientais do planeta, denominado Agenda 21. Este documento reafirmou a ideia de desenvolvimento sustentável e propôs novos conceitos e instrumentos metodológicos para diferentes campos de ação e investigação com a finalidade de discutir a relação ser humano e meio ambiente (SATO e SANTOS, 1999).

Apesar de o termo sustentabilidade existir há alguns anos, ainda persistem dúvidas relacionadas a sua definição, decorrente da complexidade e variedade de conceitos. As primeiras discussões sobre o desenvolvimento sustentável referiam-se apenas às questões ambientais, atualmente, elas abrangem questões econômicas, culturais, sociais e políticas que também estão em constante processo de mudanças e aprimoramento (SILVA, 2000).

São muitas as discussões relativas aos conceitos e princípios de sustentabilidade que realmente diagnosticam se uma situação é mais ou menos sustentável do que a outra. Para nortear e quantificar esses princípios, são utilizados indicadores como ferramenta a fim de comparar uma situação com a outra ou uma mesma situação no presente em relação ao passado.

No trabalho realizado por Miranda e Teixeira (2004), foram identificados e sistematizados os seguintes princípios gerais de sustentabilidade: princípio elementar (seres humanos como foco); da paz; de soberania nas relações internacionais; do uso responsável dos recursos naturais; da solidariedade intergeracional; de equidade; da geração de renda; da cooperação e participação; da contextualização local; da eficiência econômica; da avaliação de impactos sociais e

ambientais; precautório; preventivo; compensatório; e do poluidor-pagador.

Outro foco denominando os princípios da sustentabilidade é apresentado por Silva (2000), que se baseia nas seguintes dimensões:

Dimensão ambiental: manutenção da integridade ecológica por meio da prevenção das várias formas de poluição, da prudência na utilização dos recursos naturais, da preservação da diversidade da vida e do respeito à capacidade da carga dos ecossistemas;

Dimensão social: viabilização de uma maior equidade na distribuição de riquezas e de oportunidades, combatendo-se as práticas de exclusão, discriminação e reprodução da pobreza e respeitando-se a diversidade em todas as suas formas de expressão;

Dimensão econômica: realização do potencial econômico que contemple prioritariamente a distribuição de riqueza e renda associada a uma redução das externalidades socioambientais, buscando-se resultados macrossociais positivos;

Dimensão política: criação de mecanismos que incrementem a participação da sociedade nas tomadas de decisões, reconhecendo e respeitando os direitos de todos, superando as práticas políticas de exclusão e que promovam o desenvolvimento da cidadania ativa;

Dimensão cultural: promoção da diversidade e identidade cultural em todas as suas formas de expressão e representação, especialmente daquelas que identifiquem as raízes endógenas, propiciando também a conservação do patrimônio urbanístico, paisagístico e ambiental que referencia a história e a memória das comunidades.

Conforme se observa, os sistemas urbanos de água e esgoto estão ligados ao conceito de sustentabilidade em todas as suas dimensões: ambiental, política, social etc. Portanto, a avaliação da sustentabilidade é de extrema importância para promover o aumento da qualidade de vida da população, garantindo saúde, acesso aos serviços, melhorias no sistema, entre outros fatores, sendo isso possível a partir do monitoramento de indicadores para os sistemas urbanos de água e esgoto.

Na área do saneamento, especificamente em abastecimento de água e sistemas de esgotamento sanitário, foram estabelecidos alguns princípios específicos de sustentabilidade reportados por Miranda e Teixeira (2002):

- 1 - **Equidade** (universalização dos serviços): todas as pessoas têm direito ao acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, podendo suprir suas necessidades de forma digna e garantindo a saúde pública.
- 2 - **Respeito às condições locais**: as soluções apresentadas para os Sistemas de Abastecimento de Água e Sistemas de Esgotamento Sanitários devem considerar e adequar-se às condições locais (sociedade, economia, cultura, meio físico e biológico).
- 3 - **Desempenho econômico**: todos os projetos e serviços dos Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário devem ser elaborados e oferecidos com viabilidade econômica, considerando a melhor utilização dos recursos disponíveis, sem prejuízo dos outros princípios.
- 4 - **Geração de trabalho e renda**: entre as alternativas para soluções dos SAA e SES, deve-se dar prioridade àquelas intensivas em mão de obra, proporcionando um ambiente seguro e salubre ao trabalhador.
- 5 - **Gestão Solidária e Participativa**: as decisões aplicadas aos SAA e SES devem ser tomadas de maneira participativa, havendo cooperação, divisão de trabalho e consenso entre os agentes da sociedade e o poder público.
- 6 - **Informação e Sensibilização**: a sociedade deve ter pleno acesso à informação relativa aos SAA e SES, para que possa se conscientizar dos problemas e participar das soluções.
- 7 - **Uso Responsável dos Recursos Naturais**: a utilização dos recursos naturais pelos SAA e SES, tanto para fornecimento de matéria-prima quanto para o recebimento de resíduos, deve ocorrer de acordo com a sua capacidade regenerativa ou de estoque, avaliando-se os impactos e aplicando soluções que possam minimizar, prevenir e corrigir os mesmos.
- 8 - **Prevenção, Compensação e Mitigação de Danos Causados**: os custos de remediação, medidas compensatórias e de prevenção de danos gerados pelos SAA e SES precisam ser devidamente considerados, sendo assumidos pelos seus causadores.

Existe uma grande dificuldade com relação à mensuração da sustentabilidade: como determinada situação pode ser julgada sustentável ou não? Em vista disso, vários autores têm discutido os

indicadores de sustentabilidade como ferramenta de apoio para diagnosticar se uma dada situação é ou não sustentável.

As instituições de estatísticas públicas são responsáveis pela mensuração do “desenvolvimento sustentável”. No entanto, como mensurar um “conceito” que, conforme abordado anteriormente, ainda está em formação? A solução vem através do desenvolvimento de ferramentas de gestão que monitorem características indicativas do que se considera sustentabilidade; as ferramentas mais utilizadas são o uso de indicadores de desempenho estruturados com o objetivo de “agregar e quantificar informações de modo que sua significância fique mais aparente”. Os indicadores “simplificam as informações sobre fenômenos complexos tentando melhorar com isso o processo de comunicação” (BELLEN, 2007).

Para a utilização de um indicador, deve-se seguir alguns critérios para que ele seja mensurável e confiável. A partir de alguns critérios referenciados pela literatura, Miranda e Teixeira (2004) utilizaram indicadores baseados nos seguintes:

- **Representatividade:** foi estabelecido através do critério de "Relevância", adequado para que se tornasse representativo para os usuários. Neste caso, este critério seria de exclusão, ou seja, se o indicador não for representativo aos seus usuários, ele não será analisado por nenhum outro critério, ficando temporariamente excluído da lista de monitoramento.
- **Comparabilidade:** foi estabelecido a partir dos critérios "Amplitude Geográfica" e "Sensibilidade Temporal". Neste critério fica estabelecido que o indicador deve ser comparável tanto no espaço (diferentes locais: cidades, bairros, países etc.) quanto no tempo (durante um certo período: anos, meses etc.).
- **Coleta de Dados:** surge a partir dos critérios "Acessibilidade dos Dados", "Padronização", "Confiabilidade da Fonte" e "Custo da Coleta". Neste caso, a coleta de dados deve ser de fácil acesso, sem custos excessivos, mas prevendo que a fonte dos dados seja confiável. Para isso, quanto mais padronizado for o indicador, mais fácil para encontrar seus dados e assim também a facilidade na comparação dos mesmos.
- **Clareza e Síntese:** envolve os critérios "Clareza na Comunicação" e "Capacidade de Síntese". Neste caso, o indicador deve ser claro para os seus usuários, transmitindo a informação de maneira simples e

compreensível, e ter a capacidade de sintetizar informações em um único indicador.

- **Previsão e Metas:** estabelecido a partir da "Preditividade", "Pró-Atividade" e "Definição de Metas". Esse indicador deve fornecer previsões dos problemas que possam acontecer, mostrar as evoluções - motivando a população - e definir metas de melhoria.

Segundo Paulista *et al.* (2008), as conceituações, abordagens e ferramentas disponíveis para o desenvolvimento sustentável carecem do tratamento sistemático da regulação do ser humano em sua interação com o meio ambiente. Nessa interação, é relevante o impacto do espaço emocional e os consequentes comportamentos humanos na sustentabilidade. A dificuldade em formular indicadores emocionais está na complexidade de se desenvolver modelos científicos para a aplicação em sistemas dinâmicos como o ser humano, a sociedade e o meio ambiente.

Nesse sentido, a educação ambiental entra como uma ferramenta capaz de sensibilizar as pessoas, criando um ambiente de emoções com vistas a incorporar a ideia de que cada um é parte integrante da organização e que poderá divulgar e desenvolver um trabalho demasiadamente importante para todo o cidadão, enfatizando os desafios do mundo contemporâneo e enfocando as dimensões do desenvolvimento sustentável.

Atualmente, existe um âmbito legal que alicerça o desenvolvimento sustentável através da educação ambiental nas suas diversas formas de aplicação. Nas diretrizes governamentais, a Lei 9795/99, que institui a Política Nacional de Educação Ambiental, destaca, no Art. 8º, Parágrafo 3º, que as ações de estudo, pesquisa e experimentações devem ser voltadas para:

- I- o desenvolvimento de instrumentos e metodologias, visando à incorporação da dimensão ambiental, de forma interdisciplinar, nos diferentes níveis e modalidades de ensino;
- II- a difusão de conhecimentos, tecnologias e informações sobre as questões ambientais;
- III- o desenvolvimento de instrumentos e metodologias, visando à participação dos interessados na formulação e execução de pesquisas relacionadas à problemática ambiental;

IV- a busca de alternativas curriculares e metodológicas de capacitação na área ambiental;

V- o apoio de iniciativas e experiências locais e regionais, incluindo a produção de material educativo;

VI- a montagem de uma rede de banco de dados e imagens para apoio às ações enumeradas nos incisos I a V.

2.2 PESQUISA-AÇÃO NA GESTÃO DE PROBLEMAS AMBIENTAIS

A sustentabilidade das soluções técnicas resultantes de um projeto diz respeito à possibilidade de prever e assegurar as condições necessárias para sua continuidade, com reposição dos recursos naturais e viabilidade econômica e social de longo prazo, dentro do ecossistema considerado. Em termos concretos, isso leva a buscar a adequação das soluções produtivas em função das características do solo, dos recursos hídricos, das fontes de energia e do uso do trabalho humano, minimizando os efeitos prejudiciais em termos sociais, ambientais e de saúde.

Nesse sentido, a opção metodológica pela pesquisa-ação fundamenta-se na possibilidade de criação de um espaço permanente de reflexão e análise das práticas sociais de um determinado grupo, efetuadas pelo próprio coletivo em parceria com os pesquisadores, pois a ação dos sujeitos como investigadores é fundamental pelo fato de que nenhuma prática social se define como mera execução. Os sujeitos devem ser autores de sua ação, planejando-a, refletindo acerca de seus problemas e recriando-a. Esse nível de autoria constitui-se na essência deste processo da pesquisa-ação (THIOLLENT, 1988, p. 16).

O mesmo autor resume da seguinte forma os principais aspectos da pesquisa-ação:

- há uma ampla e explícita interação entre pesquisadores e pessoas implicadas na situação investigada;
- desta interação resulta a ordem de prioridade dos problemas a serem pesquisados e das soluções a serem encaminhadas sob forma de ação concreta;

- o objeto de investigação não é constituído pelas pessoas e sim pela situação social e pelos problemas de diferentes naturezas encontrados nesta situação;
- o objetivo da pesquisa-ação consiste em resolver ou, pelo menos, em esclarecer os problemas da situação observada;
- há, durante o processo, um acompanhamento das decisões, das ações e de toda a atividade intencional dos atores da situação;
- a pesquisa não se limita a uma forma de ação (risco de ativismo): pretende-se aumentar o conhecimento dos pesquisadores e o conhecimento ou o "nível de consciência" das pessoas e grupos considerados.

Em termos mais práticos, segundo Stringer (1999), a participação é mais efetiva quando: (a) possibilita significativo nível e envolvimento; (b) capacita as pessoas na realização de tarefas; (c) dá apoio às pessoas para aprenderem a agir com autonomia; (d) fortalece planos e atividades que as pessoas são capazes de realizar sozinhas; (e) lida mais diretamente com as pessoas do que por intermédio de representantes ou agentes.

Os métodos participativos são aplicáveis em todas as áreas sociais, na educação, na saúde coletiva e cada vez mais nas atividades técnicas (organização, ergonomia, engenharia, arquitetura etc.), particularmente nas pesquisas agropecuárias. No PRONAPA 2005 (Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento da Agropecuária da EMBRAPA), o desenvolvimento da pesquisa participativa aparece como objetivo estratégico assim formulado:

Desenvolver e adaptar métodos de pesquisa participativos adequados às ações de pesquisa à realidade dos pequenos produtores, contribuindo para a solução de problemas sociais e econômicos nacionais minimizando desequilíbrios regionais (EMBRAPA, 2005).

Um dos princípios básicos da metodologia da pesquisa-ação é a participação conjunta de equipes multidisciplinares, tais como: grupos ambientalistas, sindicatos, movimentos sociais e outras entidades (públicas ou privadas) parceiras (THIOLLENT, 2005). O mesmo autor também destaca que, para evitar a imposição de modelos culturalmente inadequados às populações e eventuais manipulações no plano sociopolítico, os projetos orientados pela metodologia de pesquisa-ação

devem ser objeto de um rigoroso controle ético (interno e externo) antes, durante e depois de sua realização.

Experiências vivenciadas por Cerati e Lazarini (2009) em educação ambiental, através da metodologia da pesquisa-ação e utilizando o jardim botânico como ferramenta para as atividades de interação e vivências, demonstram excelentes resultados com destaque para: a) o aperfeiçoamento profissional dos professores com a atualização de conteúdos pedagógicos relacionados ao meio ambiente; b) organização e reorganização do trabalho dos professores priorizando sua prática pedagógica; c) mudança no horizonte educativo dos professores, estimulando ações e reflexões que conduziram à superação de dificuldades advindas da formação inicial. Destacam, também, a importância de se estabelecerem políticas públicas que fomentem a parceria entre instituições produtoras de saber e a educação formal, a fim de promover: a divulgação do conhecimento, a atualização de professores, a melhoria da qualidade do ensino e a conscientização da população sobre a importância da preservação ambiental.

Existe uma diferença bastante evidente entre a pesquisa clássica e a pesquisa-ação, como apresentado no Quadro 1.

QUADRO 1: Comparação entre a pesquisa clássica e a pesquisa-ação

	Pesquisa Clássica	Pesquisa-ação
Objetivo	Saber generalizável por meio de conhecimentos.	Saber específico pela ação.
Relação pesquisadores/atores	Pesquisador fora da ação. Atores externos separados do pesquisador.	Entendimento ou contrato com um grupo social específico.
Formulação do objeto	Continuidade das pesquisas anteriores (documentação e comunicação específicas).	Pertinência conjuntural Validação contínua pela prática.
Planejamento	Processo linear	Processo interativo.
Técnicas de pesquisa	Quantitativas e qualitativas	Com predominância qualitativa.

Continuação...

Escolha do assunto da pesquisa	Campo de interesse do pesquisador. Pertinência científica.	Entendimento ou contrato com um grupo social específico.
Processamento e análise	Aplicação de procedimentos previstos, externos à ação. Preocupação com a generalização.	Debate, discussões com os atores inseridos na ação. Preocupação com a pertinência.
Conclusões	Reinserção teórica (ou conclusões aplicadas)	Reinserção direta na prática.
Difusão	Geral, livre. Utilização não controlada	Específica, vinculada. Controle em função da ação.

(fonte: DIONNE, 2007, p. 49 *apud* MARTINETTI, 2009)

2.2.1 Dificuldades da pesquisa-ação

Existem diversas críticas com relação à pesquisa-ação, principalmente por algumas vezes dotar-se de dados empíricos não aceitos por diversos pesquisadores tradicionais, que alegam ausência de certo rigor científico no controle das variáveis da pesquisa e pelas influências dos mesmos na ação.

Um importante desafio metodológico consiste em fundamentar a inserção da pesquisa-ação sob a perspectiva de uma investigação científica, concebida de modo aberto e na qual “ciência” não seja sinônimo de “positivismo”, “funcionalismo” ou de outros rótulos. Na pesquisa-ação existem objetivos práticos de natureza bastante imediata: propor soluções quando for possível e acompanhar ações correspondentes ou, pelo menos, fazer progredir a consciência dos participantes no que diz respeito à existência de soluções e de obstáculos (THIOLLENT, 2009).

Dos problemas com os quais se depara a pesquisa-ação, está a linguagem utilizada nos processos decisórios. Por isso, estabelecer vínculo de confiança entre técnicos e comunidade é importante para promover a comunicação eficiente entre os envolvidos na pesquisa-ação. Desse modo, o conhecimento a ser transmitido para a comunidade deve ser adaptado à sua realidade social e cultural (THIOLLENT, 2009; COHIM *et al.* 2007 *apud* MARTINETTI, 2009).

2.3 SANEAMENTO RURAL

Os investimentos em ações de saneamento nas áreas rurais são muito escassos. Assim, um dos grandes entraves para a implantação de sistemas de saneamento nessas áreas refere-se principalmente à dificuldade de acesso ao conhecimento e aos profissionais necessários para a aplicação de técnicas e soluções que garantam a eficácia de um determinado sistema de controle ambiental, de acordo com a capacidade econômica dos agricultores.

A inadequação dos sistemas de saneamento ambiental em áreas rurais traz diversos problemas para o meio ambiente, e por consequência à saúde das pessoas que vivem no campo, devido ao grande potencial de proliferação de doenças. A inexistência ou precariedade de sistemas de saneamento em diversas situações se deve principalmente ao não acesso das famílias às informações e tecnologias. Nesses casos, ressalta-se a necessidade de se desenvolver soluções adequadas às particularidades de cada região, associadas a um trabalho de educação ambiental, para que esses sistemas se constituam em alternativas viáveis.

Conforme estatísticas, na zona rural brasileira há um *déficit* de 17,5% para abastecimento de água e de 96% para coleta de esgoto, situação agravada, conforme já mencionado, pela inexistência de sanitários em 38% das residências rurais e pelo considerável uso de fossas negras em cerca de 50% dos domicílios rurais (BRASIL, 2003).

Em escolas situadas na área rural, a falta de saneamento é um fator bastante preocupante, pois expõe uma grande quantidade de crianças aos riscos de contágio de doenças. Isso também implica na qualidade do processo educacional, pois é a escola um espaço no qual o aluno também aprimora seu processo de socialização e deveria, portanto, constituir-se exemplo de bons costumes e do que a sociedade deseja e aprova (LEME, 2006).

Nesse sentido, dados da FUNASA destacam o *déficit* de saneamento nas escolas públicas rurais realizadas pelo Inep/MEC. Segundo esses dados e de acordo com o censo escolar 2005 (BRASIL/FUNASA, 2011) existem, no Brasil, 89.160 escolas públicas rurais. Destas, cerca de 600 não dispõem de qualquer tipo de abastecimento de água e mais de 11.157 não possuem, sequer, banheiros ou sanitário, sendo a maior concentração dessas escolas observada nas regiões Norte (17,98%) e Nordeste (14,5%) (BRASIL/FUNASA 2011).

Essa é uma realidade bem distante do que foi previsto no Plano Plurianual (PPA) 2004 a 2007 (BRASIL/FUNASA, 2011), por meio do

qual o governo brasileiro instituiu como ação prioritária o atendimento às escolas públicas rurais no que diz respeito às intervenções de saneamento, por meio da implantação de sistema simplificado de abastecimento de água e instalações hidrossanitárias.

Segundo Martinetti (2009), é comum verificar as seguintes situações de saneamento na zona rural:

- a) Abastecimento de água: são utilizadas captação de águas de superfícies (nascentes de rios e córregos), captação por poços ou captação no lençol freático;
- b) Águas residuárias: a maior parte das águas cinza (águas residuárias provenientes de pias, tanques e lavatórios) corre livremente pelo lote, em contato constante com animais e pessoas. As águas negras (águas residuárias provenientes do vaso sanitário) são geralmente lançadas em fossas negras, contaminando o solo e o lençol freático.
- c) Águas pluviais: é baixo ou ausente o seu aproveitamento para consumo, e são precárias as condições dos sistemas de drenagem, aumentando a ocorrência de erosões;
- d) Resíduos: os resíduos orgânicos são destinados como alimento para pequenos animais ou, em alguns casos, utilizados em compostagem. Os outros resíduos sólidos (plástico, metal, papel, madeira) são quase sempre queimados ou enterrados.

Por essa razão, falar em sustentabilidade do saneamento em áreas rurais implica na utilização de tecnologias sociais que podem ser baseadas nas seguintes estratégias, segundo Fonseca (2007):

- Abordagem holística;
- Integração de soluções tecnológicas e de gestão;
- Redução da poluição como um processo de longo prazo.

Como tentativa para solucionar os problemas de saneamento, o governo brasileiro tem colocado em prática diretrizes focadas na aplicação de tecnologias sociais para o desenvolvimento do saneamento rural. Em 2010, por exemplo, foi promulgada a Lei 12188/10, que Institui a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural para a Agricultura Familiar e Reforma Agrária – PNATER. Esta se fundamenta em aspectos para a promoção do desenvolvimento rural sustentável, com incentivo às tecnologias sociais no sentido de preservar

os recursos hídricos, articulando esse processo a recursos humanos e financeiros, bem como ao desenvolvimento e fortalecimento da agricultura familiar em todo o território nacional.

No Art. 4º da PNATER destacam-se os objetivos da citada Lei:

- I. Promover o desenvolvimento rural sustentável;
- II. Apoiar iniciativas econômicas que promovam as potencialidades e vocações regionais e locais;
- III. Aumentar a produção, a qualidade e a produtividade das atividades e serviços agropecuários e não agropecuários, inclusive agroextrativistas, florestais e artesanais;
- IV. Promover a melhoria da qualidade de vida de seus beneficiários;
- V. Assessorar as diversas fases das atividades econômicas, a gestão de negócios, sua organização, a produção, inserção no mercado e abastecimento, observando as peculiaridades das diferentes cadeias produtivas;
- VI. Desenvolver ações voltadas ao uso, manejo, proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais, dos agroecossistemas e da biodiversidade;
- VII. Construir sistemas de produção sustentáveis a partir do conhecimento científico, empírico e tradicional;
- VIII. Aumentar a renda do público beneficiário e agregar valor a sua produção;
- IX. Apoiar o associativismo e o cooperativismo, bem como a formação de agentes de assistência técnica e extensão rural;

X. Promover o desenvolvimento e a apropriação de inovações tecnológicas e organizativas adequadas ao público beneficiário e a integração deste ao mercado produtivo nacional;

XI. Promover a integração da ATER com a pesquisa, aproximando a produção agrícola e o meio rural do conhecimento científico; e

XII. Contribuir para a expansão do aprendizado e da qualificação profissional e diversificada, apropriada e contextualizada à realidade do meio rural brasileiro.

Com relação ao tratamento de esgotos, considerado hoje o maior vilão do saneamento rural, muitas práticas fracassam por não atenderem a algumas diretrizes de uma tecnologia social. São exemplos de algumas dessas diretrizes (VAN KAICK, 2008; IWSC, 2004):

- 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 a 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, bem como da qualidade do efluente tratado que sai da estação de tratamento de esgoto;
- 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 das comunidades pesqueiras com a adequação das condições de qualidade do corpo d'água, isso 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.
- 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, ainda 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.

2.3.1 Sistemas Descentralizados

Nos dias atuais, a concessão do saneamento se encontra ainda muito institucionalizada e isso acaba por deixar um passivo para as populações que não têm acesso aos serviços básicos de água, esgotamento sanitário, coleta de lixo, drenagem urbana e controle de vetores. Isso vai contra as condições adequadas de saneamento que, segundo Bittencourt (2003), fazem parte do processo de inclusão social e de melhoria da qualidade de vida da população e possuem um valor considerável para a saúde pública. Essa prática, limitada às intervenções pontuais e fragmentadas, através apenas de obras físicas, favorece a que os diferentes atores sociais respondam por atitudes passivas e de não responsabilidade ante os já escassos recursos aplicados (PHILIPPI, 2007). Nesse sentido, de reorganização de um novo modelo, o mesmo autor destaca o trabalho estratégico levando em conta os seguintes elementos:

- percepção das tecnologias de saneamento disponíveis aos diferentes atores sociais;
- caracterização das regiões em questão a partir de indicadores como taxa de ocupação do solo, declividade, nível do lençol freático etc.;
- necessidade de se produzir um "zoneamento" de modo a identificar os diferentes locais e sua capacidade para a adoção de tecnologia mais adequada e;
- elaboração, em função dos objetivos anteriores, de programas de saneamento que atendam às reais necessidades das comunidades envolvidas no processo.

Segundo Kaic *et al.* (2008), os sistemas de tratamento de esgoto por zona de raízes são excelentes alternativas para sistemas de tratamento descentralizado, apresentando diversas vantagens em relação aos convencionais. No desenvolvimento do seu projeto de pesquisa, que teve por objetivo aplicar esses sistemas para tratar esgoto doméstico em uma comunidade isolada, os autores obtiveram os seguintes resultados e conclusões:

- Excelente eficiência de remoção de poluentes com 88% e 86% de eficiências para DBO e DQO respectivamente;
- Uma tecnologia bastante flexível e capaz para se adaptar a diferentes ambientes, a utilização de recursos locais e uma excelente ferramenta para educação ambiental;
- Durante o desenvolvimento desse trabalho/pesquisa, a conscientização, a capacitação e o repasse da técnica para as comunidades foram priorizados, 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 beneficiada com a nova tecnologia possibilitou um intercâmbio, considerado tão importante quanto o desenvolvimento da própria tecnologia, pois é nessa ação preliminar que se vai determinar o sucesso ou fracasso da aplicação da nova tecnologia. E baseado nos resultados observados em relação à mudança de comportamento dos usuários das ETEs durante o intercâmbio, ficou comprovado que esse sistema também pode ser um forte instrumento de educação ambiental;
- O desenvolvimento de tecnologias acessíveis, simples e eficazes para o saneamento básico é ferramenta importante que possibilita o desenvolvimento sustentável associado com a conservação ambiental.

2.4 SISTEMA DE ZONA DE RAÍZES NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

De acordo com Brix (1997), os sistemas para tratamento de efluentes que utilizam macrófitas aquáticas classificam-se em: sistemas de zona de raízes naturais e zona de raízes artificiais (construídos).

Zona de raízes são terras alagáveis em que inúmeros processos e agentes (animais, plantas, solo...) interagem, recebendo, doando e reciclando continuamente nutrientes e matéria orgânica. Esses nutrientes servem de suporte a um grande número de macro e microorganismos fotossintetizantes que convertem compostos inorgânicos em compostos orgânicos, que por sua vez podem ser utilizados direta ou indiretamente na alimentação de animais e outros microorganismos (SEZERINO, 2002).

Os sistemas de zona de raízes construídos são classificados em dois grandes grupos: sistemas de lâmina livre ou de escoamento superficial e sistemas de escoamento subsuperficial.

2.4.1 Depuração das águas residuárias em zona de raízes

As formas como as águas residuárias são depuradas e/ou transformadas nas zonas de raízes construídos abrangem uma complexa variedade de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem e são promovidos pelos elementos constituintes do meio-solo, microorganismos e plantas (PHILIPPI & SEZERINO, 2004). Os principais poluentes e seus mecanismos de depuração são descritos na Tabela 1.

Pesquisas mostram que as espécies de macrófitas aquáticas utilizadas em sistemas de zona de raízes possuem grande capacidade de remover da coluna d'água elementos como nitrogênio e fósforo, pois fornecem estrutura para fixação de microorganismos que mediam as transformações desses micronutrientes, além de favorecer a incorporação e fixação destes elementos em seus tecidos (COOPER *et al.*, 1996; SEZERINO, 2002; SOUZA 2003; ESTEVES, 1988 *apud* SEID, 1973).

TABELA 1: Poluentes e mecanismos de depuração

Constituintes do Esgoto	Mecanismos de Remoção
Sólidos suspensos	Sedimentação Filtração
Material Orgânico Solúvel	Degradação microbiológica-aeróbia Degradação microbiológica-anaeróbia
Nitrogênio	Amonificação seguido de nitrificação e Denitrificação microbiana Retirada pela planta Adsorção Volatização da Amônia
Fósforo	Adsorção Retirada pela planta
Metais	Complexação Precipitação Retirada pela Planta Oxidação/redução microbiana
Patogênicos	Sedimentação Filtração Predação

Fonte: adaptado de Philippi & Sezerino (2004)

As macrófitas aquáticas devem desempenhar os seguintes papéis na remoção de poluentes: facilitar a transferência de gases (O_2 , CH_4 , CO_2 , N_2O e H_2S) do sistema; estabilizar a superfície do leito pela formação de denso sistema radicular, protegendo o sistema do processo erosivo e impedindo a formação de canais de escoamento preferencial na superfície; absorver macronutrientes (N e P, principalmente) e micronutrientes (incluindo metais); suprir, com subprodutos da decomposição de plantas e exsudados das raízes, carbono biodegradável para possibilitar a ocorrência do processo de desnitrificação; atuar como isolante térmico nas regiões de clima temperado e, proporcionar *habitat* para a vida selvagem e agradável aspecto estético onde os banhados naturais foram destruídos ou, ainda, para melhoria no aspecto estético de unidades de tratamento unidomiciliares (residências, hotéis e hospitais) (REED *et al.*, 1995; U.S. EPA, 2000; TANNER, 2001).

2.4.1.1 Depuração da matéria orgânica

A MO exerce importante papel como fonte de energia para os microrganismos, promovendo a ciclagem de nutrientes: interage com metais, óxidos e hidretos metálicos. Os microrganismos utilizam a MO para obtenção de energia através da aerobiose ou anaerobiose, dependendo das condições do meio.

Degradação aeróbia:

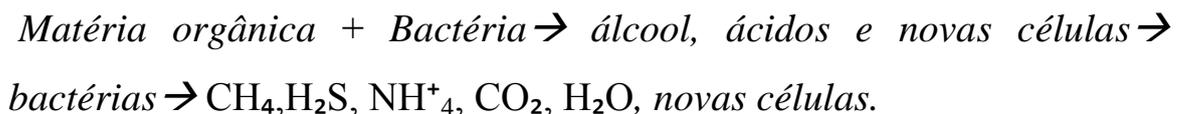
A oxidação da matéria orgânica corresponde ao principal fator de consumo de oxigênio. O consumo de OD se deve à respiração dos microrganismos decompositores, principalmente as bactérias heterotróficas aeróbias. A equação simplificada da estabilização da matéria orgânica se dá conforme a seguinte reação (VON SPERLING, 2005):



Degradação anaeróbia:

Nos sistemas anaeróbios, verifica-se que a maior parte do material biodegradável presente no despejo é convertida em biogás (cerca de 70 a 90%), que é removido da fase líquida e deixa o reator na forma gasosa (CHERNICHARO, 2001).

O processo de degradação é mediado por bactérias facultativas ou anaeróbias obrigatórias, ocorrendo ao longo de 2 estágios: o primeiro, caracterizado pela conversão da matéria orgânica, geração de ácidos e alcoóis por bactérias formadoras de ácidos e, o segundo estágio, promovido pelas bactérias formadoras de metano, o que se dá com a contínua conversão da matéria orgânica para a síntese de novas células, para metano e dióxido de carbono, resumindo-se na seguinte reação (PHILIPPI & SEZERINO, 2004):



Nos esgotos domésticos, a matéria orgânica é encontrada em solução, como sólidos orgânicos dissolvidos (fácil degradação biológica) e em suspensão, relativa aos sólidos suspensos (difícil degradação). A fração em solução é usada diretamente pelas bactérias

heterotróficas, responsáveis pela redução da DBO (VALENTIM, 2003). A fração em suspensão é solubilizada pelo mecanismo de hidrólise, realizada pela atuação de enzima intra e extracelular produzida pelas bactérias e que servem de catalisadoras nas reações de oxidação (METCALF e EDDY, 1991).

Nos sistemas de zona de raízes construídos, os principais responsáveis pela remoção da matéria orgânica são os microorganismos (aeróbios, facultativos e anaeróbios) que a utilizam em seu ciclo vital, obtendo dela a energia necessária para a síntese celular, mobilidade, transporte de materiais e outras funções. A matéria orgânica solúvel ou suspensa é removida pela degradação microbiana. Esses microrganismos são geralmente associados ao lodo ou ao biofilme que se desenvolve na superfície das partículas do solo e nas raízes das plantas (SILVA, 2007). Esse biofilme microbiano tem sua estrutura composta por colônias de bactérias, protozoários, micrometazoários e outros microrganismos que se desenvolvem na rizosfera (Figura 1), onde predominam condições aeróbias capazes de promover a degradação da matéria orgânica, transformando-a em sais inorgânicos que servirão de nutrientes para as macrófitas (MARQUES, 1999). Karathanasis *et al.* (2003) avaliaram o desempenho entre 2 sistemas por zona de raízes de fluxo horizontal subsuperficial, durante um período de 1(um) ano, sendo uma unidade plantada com *Typha latifolia L* e a outra utilizando apenas o material filtrante, mantendo as mesmas dimensões e cargas aplicadas. Os autores obtiveram uma eficiência média de DBO de 63% para a unidade não plantada e de 78% para a unidade plantada, ressaltando a importância das raízes das macrófitas no suporte e desenvolvimento de bactérias aeróbias.

A degradação anaeróbia é muito mais lenta do que a aeróbia. Contudo, quando o oxigênio é um fator limitante nos sistemas de zona de raízes construídos, a degradação anaeróbia torna-se predominante e responsável pela redução da DBO (COOPER *et al.*, 1996 *apud* SEZERINO, 2002).

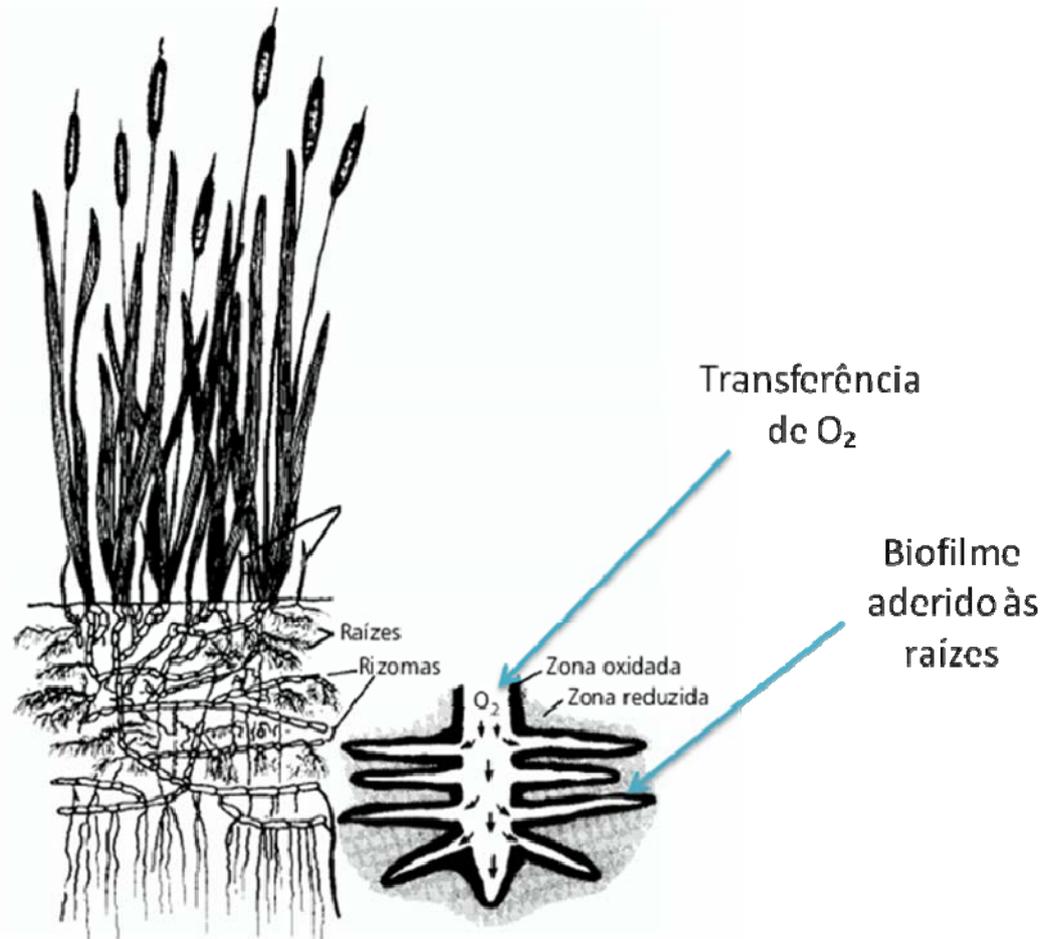


FIGURA 1: Esquema representativo da formação do biofilme nas raízes e a transferência de oxigênio pelas macrófitas. Fonte: adaptado de (SALARO JUNIOR, 2008)

2.4.1.2 Retenção de sólidos

Vários poluentes presentes nas águas residuárias estão associados com a quantidade de matéria sólida no efluente. Além da matéria orgânica biodegradável, há também os metais pesados e certos compostos químicos. A concentração de sólidos em suspensão-SS, medida gravimetricamente após filtração e secagem, indica a quantidade de matéria orgânica quando o teste é conduzido até a detecção dos sólidos suspensos voláteis- SSV, sendo um importante parâmetro de dimensionamento e de avaliação dos sistemas de tratamento de esgotos (PHILIPPI & SEZERINO, 2004).

A remoção de sólidos em zona de raízes horizontais de fluxo subsuperficial ocorre através de mecanismos de sedimentação e filtração no material filtrante e nas raízes das macrófitas. A filtração ocorre através de processos físicos entre os sólidos presentes no efluente e o material filtrante, e a sedimentação ocorre pela decantação dos sólidos.

Ambos os processos são influenciados pela densidade dos sólidos, velocidade de percolação e as características do material filtrante e dos esgotos (KADLEC e KNIGHT, 1996).

2.4.1.3 Transformação da série nitrogenada

As formas mais comuns do nitrogênio encontradas nos esgotos variam desde compostos orgânicos – aminoácidos, ureia, ácidos úricos, purinas e pirimidinas, até compostos inorgânicos em diferentes estágios de oxidação – amônia (NH_4^+ e/ou NH_3), nitrito (NO_2^-), Nitrato (NO_3^-), óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N_2O) e finalmente em nitrogênio gás (N_2).

As principais transformações com composto de nitrogênio são: assimilação, amonificação, fixação, nitrificação e desnitrificação. Inicialmente, ocorre a amonificação, que é a transformação da matéria orgânica nitrogenada dissolvida ou particulada, mediada por organismos heterótrofos, geralmente ocorridos nos sistemas anaeróbios no pré-tratamento aos *wetlands*. As demais transformações ocorreram nos sistemas “*wetlands*” (SOUSA *et al.*, 2000).

A remoção biológica de nitrogênio é alcançada em condições de ausência de oxigênio, mas na presença de nitratos (denominada condições anóxicas). Nessas condições, um grupo de bactérias utiliza nitratos no seu processo respiratório, convertendo-os em nitrogênio gasoso, que escapa para a atmosfera. Esse processo é denominado desnitrificação (VON SPERLING, 2005).

O maior mecanismo de remoção de nitrogênio orgânico nos *wetlands* construídos é a sequência dos processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação (IWA *Specialist Group on Use of Macrophytes*, 2000). Os fenômenos biológicos e físico-químicos para a remoção do nitrogênio nos *wetlands* podem ser verificados conforme Figura 2.

Sobre as cargas aplicadas de NTK nos *wetlands* construídos para tratamento de águas residuárias, existem algumas divergências. Platzer (1999) recomenda que não se deva aplicar uma carga acima de $6,5 \text{ g NTK.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$, porém COOPER *et al.* (1996 *apud* SEZERINO, 2002) relataram bons resultados com cargas aplicadas de $48 \text{ g NTK.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ em sistemas projetados para tratamento terciário (DBO do afluente menor que 30 mg.L^{-1}).

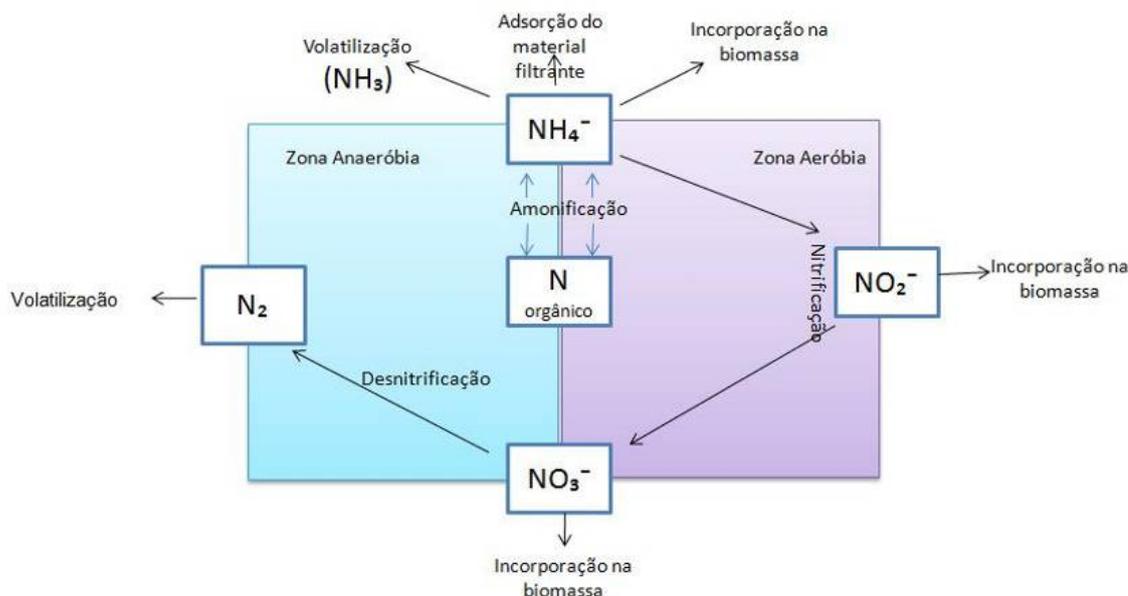


FIGURA 2: Transformação do nitrogênio nos sistemas de zona de raízes construídos. Fonte: adaptado de Philippi e Sezerino (2004)

2.4.1.4 Remoção de fósforo

Os principais mecanismos para remoção de fósforo em sistemas de zona de raízes construídos são: adsorção pelas plantas, acréscimos no material filtrante, imobilização microbiana e precipitação na coluna d'água (KADLEC, 1997; DIAZO *et al.*, 1994).

Com relação à quantidade de fósforo que pode ser removida pela poda das plantas, incorporada na biomassa das macrófitas, esta constitui uma pequena fração relativa à quantidade de fósforo contida no esgoto (BRIX, 1994).

Os principais critérios na seleção de materiais filtrantes para remoção de fósforo observados em diversos estudos são suas propriedades físico-químicas, tais como teores de Fe, Al e Ca; área superficial específica; porosidade; tamanho e distribuição granulométrica e condutividade hidráulica, pelo seu efeito na taxa e/ou capacidade de adsorção de fósforo (RICHARDSON; CRAFT, 1993; MANN, 1997).

Em sólidos ácidos, o fósforo inorgânico pode ser facilmente adsorvido pelos íons Fe e Al e em camadas de silicatos. Em sólidos orgânicos, semelhante aos presentes nos sistemas de zona de raízes, o fósforo orgânico pode, também, reagir com o Al e o Fe associados com a matéria orgânica (RHUE; HARRIS, 1999).

A adsorção e/ou precipitação do fósforo principalmente pela combinação com o Ca, o Al e o Fe presentes no material filtrante representa uma grande fração na remoção desse elemento nos sistemas de zona de raízes construídos. Porém, esse processo é um tanto limitado, ou seja, uma vez que o material é saturado, será lavado e retornado para o meio. Portanto, o conhecimento sobre a capacidade de adsorção de P pelo material filtrante pode auxiliar na estimativa da quantidade máxima de P que pode ser capturada e/ou removida do esgoto, embora não forneça uma estimativa muito precisa da longevidade de um sistema de tratamento de águas residuárias. Assim, experiências em colunas de filtração para estudar as eficiências de remoção de P em diferentes materiais são um importante processo no que concerne à estimativa da longevidade do material filtrante na implantação de um sistema de zona de raízes (MANN, 1997; DRIZO *et al.*, 1999; PANT *et al.*, 2000; GREENWAY, 1998).

2.4.1.5 Remoção de organismos patogênicos

Os processos que podem remover patógenos em zona de raízes incluem morte natural, sedimentação, filtração, absorção pela matéria orgânica, exposição aos biocidas excretados pelas raízes de algumas plantas, característica química desfavorável da água, efeitos da temperatura, predação por outros organismos, pH, tempo de detenção no sistema, efeito da temperatura e a radiação solar (KADLEC e KNIGHT, 1996; KHATIWADA & POLPRASERT, 1999).

A eficiência na remoção de coliformes em zona de raízes construídos é geralmente excelente, ultrapassando os 95%, porém varia de acordo com o tempo de detenção hidráulica, aspectos construtivos, carga aplicada, substrato e temperatura (HABERL *et al.*, 1995; KARATHANANAN, *et al.*, 2003).

No trabalho desenvolvido por Mayo (2004), foi avaliado o decaimento bacteriano em zona de raízes construídos e do qual se pode reportar os seguintes resultados: - a mortalidade bacteriana foi largamente influenciada pela intensidade da luz solar, responsável por 72,6% de remoção. A influência de outros parâmetros, tais como interceptação, filtração, oxigênio dissolvido, temperatura e sedimentação foram menos significantes. Oxigênio dissolvido e pH contribuíram com 7% da eficiência e sedimentação somente 0,44%.

2.4.2 Sistemas de lâminas livre ou escoamento superficial

Sistemas de zona de raízes e lâmina livre ou escoamento superficial assemelham-se às lagoas facultativas em que se observa a predominância de algas filamentosas e/ou macrófitas aquáticas (flutuantes ou emergentes) na massa líquida. Constituem-se por um reservatório construído no solo, dotado de uma estrutura para controle de nível d'água (efluente), o qual servirá de suporte para o desenvolvimento das raízes das macrófitas (salvo quando essas não forem flutuantes ou suspensas na massa líquida). O nível da água nesse reservatório pode variar de poucos centímetros a um metro. Segundo Ewel & Odum (1984, citados por IWA SPECIALIST GROUP ON USE OF MACROPHYTES, 2000), esse sistema foi concebido com vistas a reproduzir de maneira controlada um *wetland* natural, sendo empregado com êxito, conforme vários relatos científicos, no tratamento de esgotos.

2.4.3 Sistemas de escoamento subsuperficial

Os sistemas de zona de raízes de escoamento subsuperficial dispõem de um material de "recheio" (composto por camadas de areia, brita e/ou cascalho) e por macrófitas do tipo emergente, cujas raízes são plantadas diretamente nesse "recheio", também conhecido como material filtrante. O fluxo de água a ser tratada pode ser tanto horizontal quanto vertical.

De acordo com Sezerino (2002), esse sistema foi idealizado como uma tecnologia de controle de poluição em que os processos de depuração da matéria orgânica, a transformação da série nitrogenada e a retenção do fósforo acontecem a partir da combinação de processos físicos (filtração e sedimentação); químicos (adsorção, complexação e troca iônica) e biológicos (degradação microbiológica aeróbia e anaeróbia), além da retirada de nutrientes pelas macrófitas. Pesquisas evidenciam bons resultados no emprego dessa tecnologia para o tratamento de esgoto doméstico, especialmente em unidades residenciais (CONSTRUCTED WETLANDS FOR ANIMAL WASTE TREATMENT, 1997).

Existem basicamente 2 (dois) tipos de zona de raízes de escoamento subsuperficial: o de fluxo horizontal e de fluxo vertical.

2.4.3.1 Zona de raízes de fluxo horizontal

O filtro plantado com macrófitas é chamado de “fluxo horizontal”, porque o esgoto é alimentado na zona de entrada e percola através dos poros do material filtrante, em um caminho mais ou menos horizontal, até alcançar a zona de saída (Figura 3). Nesse processo, a depuração dos elementos físicos, químicos e biológicos dos esgotos dá-se através de uma combinação de elementos e mecanismos. O princípio básico é a formação de biofilme aderido a um meio suporte e raízes das plantas, onde comunidades de microrganismos, em meio a zonas aeróbias, anaeróbias e anóxicas, promovem a degradação por meio de processos físicos e químicos (BRIX, 1987; COOPER *et al.*, 1996 *apud* IWA, 2000, PHILIPPI E SEZERINO, 2004).

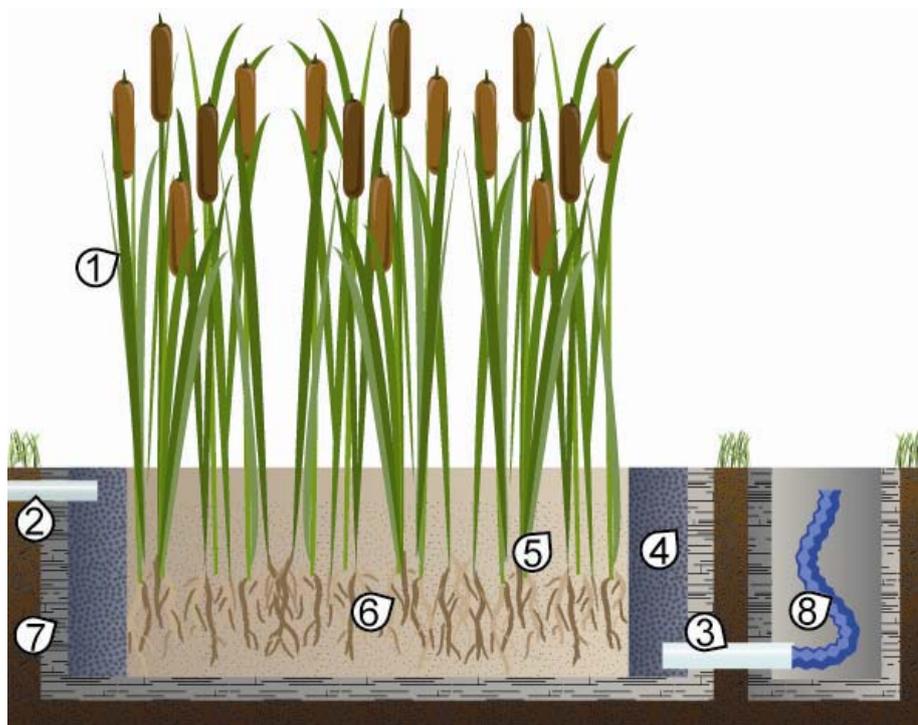


FIGURA 3: Esquema representativo de um filtro plantado de fluxo horizontal. 1) Macrófitas; 2) Tubulação de alimentação perfurada; 3) Tubulação de coleta perfurada; 4) Brita na zona de entrada e de saída; 5) Areia no leito filtrante; 6) Raízes e rizomas; 7) Impermeabilização da lateral e do fundo; 8) Tubulação de controle de nível. Fonte: OLIJNYK (2008).

2.4.3.2 Zona de raízes de fluxo vertical

Nos sistemas de fluxo vertical, os módulos escavados são de superfície plana e preenchidos com uma camada suporte e material

filtrante. O fluxo de entrada é alimentado intermitentemente na superfície do filtro (fluxo vertical) e recolhido na sua base geralmente por tubulações perfuradas logo abaixo da camada suporte (Figura 4)

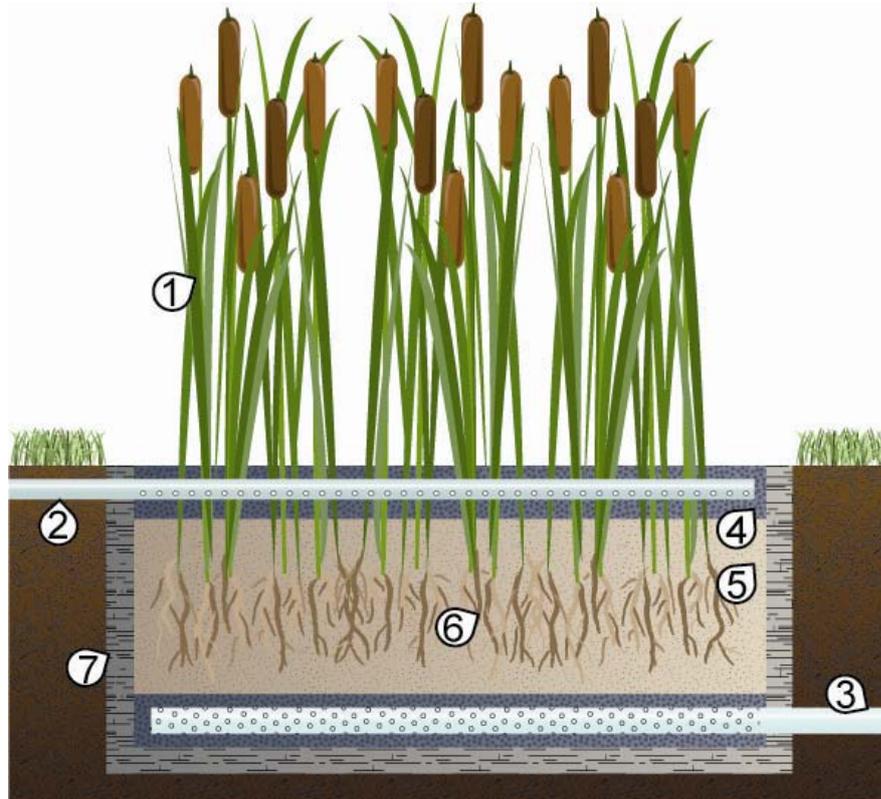


FIGURA 4: Esquema representativo de um filtro plantado de fluxo vertical. 1) Macrófitas; 2) Tubulação de alimentação perfurada; 3) Tubulação de coleta perfurada; 4) Camada de brita na superfície e no fundo; 5) Areia no leito filtrante; 6) Raízes e rizomas; 7) Impermeabilização da lateral e do fundo. Fonte: OLIJNYK (2008)

A forma de aplicação intermitente promove um grande arraste de oxigênio atmosférico para o material filtrante. Quando nova aplicação é realizada, o oxigênio anteriormente introduzido na massa sólida se mantém dentro da mesma e somado com a nova quantidade de oxigênio arrastada por essa nova aplicação. A quantidade de oxigênio dentro do material filtrante torna-se suficiente para a degradação da matéria orgânica e a oxidação da amônia (COOPER *et al.*, 1996 *apud* SEZERINO 2006).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão tratadas as duas linhas da pesquisa. Uma aborda a concepção do sistema zona de raízes como uma unidade operacional, e detalha os parâmetros de projeto, o método construtivo, os meios de avaliação e monitoramento. A outra linha envolve a parte social do sistema no contexto local, destacando as estratégias participativas que envolveram a comunidade escolar e os moradores locais no acompanhamento de todas as etapas de implantação, baseadas nos fundamentos da pesquisa-ação.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO EXPERIMENTO

O presente estudo foi desenvolvido na Escola Municipal André Rebouças, localizada na zona rural do município de Campos Novos, distante 60km do perímetro urbano. A escola comporta aproximadamente 190 alunos, desde o primário até a oitava série do ensino fundamental, divididos em dois turnos. A região tem um enfoque turístico devido ao parque termal Termas Leonense, a 100 metros da escola, e tem a suinocultura como a principal atividade econômica da região. Os alunos são, na maioria, filhos de agricultores, principalmente suinocultores. Apesar de o município ter uma boa cobertura de coleta e tratamento de esgoto na região urbana da cidade, a área rural ainda é muito precária nesse quesito, sendo os esgotos geralmente despejados diretamente no rio, conforme levantamento feito pelo SAMAE.

O que chamou bastante a atenção para desenvolver este trabalho na escola foi o grande desconforto que havia no local devido à ausência de tratamento de esgotos. Todo o despejo era descartado em uma fossa negra, saindo apenas quando a prefeitura mandava esgotá-la, ocasionando pesado ônus para o poder público municipal. Caso esse trabalho atrasasse ou ocorresse uma chuva mais forte, o esgoto escorria a céu aberto pelo pátio da escola, exalando forte odor e colocando a comunidade escolar em iminente risco de contaminação. Devido ao contexto aqui apresentado, a proposta de implantar um sistema alternativo de tratamento de esgotos na área da escola teve uma aceitação surpreendente, conforme constatado pela motivação dos alunos e professores quando o projeto lhes foi apresentado.

3.2 CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO E OPERACIONALIZAÇÃO DO SISTEMA

Antes de buscar o melhor lugar para se implantar o sistema, já havia algumas diretrizes pré-estabelecidas, ou seja, a implantação de um sistema de zona de raízes (*wetlands*). A participação da comunidade começou já nas primeiras reuniões, ocasião em que foi apresentado o projeto do STW, com esclarecimentos sobre os princípios básicos de funcionamento. A partir daí houve outros encontros para a discussão conjunta sobre o melhor local para implantação, sucedendo-se com as

práticas de operação e manutenção do sistema até as dinâmicas pedagógicas.

A escolha da melhor tecnologia de tratamento a ser implantado não foi levada em discussão, pois já na primeira reunião, com a proposta de implantação do sistema zona de raízes, houve aceitação unânime dos envolvidos. Todos mostraram bastante interesse no projeto, principalmente pela possibilidade de resolver um problema crônico que persistia há muitos anos e, pela falta de conhecimento das técnicas de tratamento que limitaria uma discussão técnica construtiva no sentido de escolher um determinado tipo de sistema de tratamento de esgoto.

O projeto consistiu em dinâmicas práticas e teóricas. As práticas resumem-se na participação da comunidade escolar em cada etapa da implantação do sistema, inclusive com a participação das crianças em algumas delas, a exemplo do plantio das mudas das macrófitas. As dinâmicas teóricas consistiram nas atividades em sala de aula, quando foram debatidos diversos temas relacionados ao saneamento e à preservação ambiental, sempre focando os diferentes fenômenos alusivos ao sistema de tratamento de esgoto da escola. O sistema também foi utilizado nas aulas de ciências e os alunos puderam acompanhar na prática os processos de tratamento de esgoto, inclusive com realização de análises com o ECOKIT, material muito proveitoso nessa disciplina e que completou e ilustrou as aulas teóricas.

QUADRO 2: Etapas da implantação do sistema

1 – Fase exploratória	Escolha da problemática, diagnóstico e levantamento socioambientais da região, identificação dos atores e parceiros.
2 – Planejamento das ações	Elaboração de um cronograma e previsão orçamentária, levantamento dos materiais necessários e definição das pessoas envolvidas.
3 – Formação da equipe e treinamento	Formação da equipe de pesquisadores, colaboradores, parceiros; divulgação e discussão da proposta e capacitação dos envolvidos.
4 – Coleta e análise de dados	Definição dos instrumentos de avaliação e controle, análises laboratoriais.
7 – Disseminação	Implementação das estratégias de disseminação dos resultados

Utilizando como base os fundamentos da pesquisa-ação embasados nas teorias de Thiollent, esta fase da pesquisa foi dividida em algumas etapas, que estão apresentadas no Quadro 2. Em cada uma delas buscou-se aplicar uma pedagogia estratégica, fomentando a socialização da pesquisa em questão de forma cooperada e em congruência com a realidade cultural, social e cognitiva de todos os envolvidos. O Quadro 2, que tem por base o trabalho de Querubina Ribas, mostra resumidamente cada etapa da implantação do sistema.

3.2.1 A fase exploratória

Nesta fase inicial, procurou-se descobrir o campo de pesquisa, os interessados e suas expectativas, bem como estabelecer um primeiro levantamento ou diagnóstico da situação, dos problemas prioritários e de eventuais ações (THIOLLENT, 2009).

Por já se ter definido como base da pesquisa a implantação de um sistema de tratamento de esgoto por zona de raízes, todas as etapas desta fase foram exploradas em função desse objeto conciliado à pesquisa-ação participativa. Como a Escola Municipal André Rebouças foi escolhida como local favorito para executar a pesquisa logo no início da fase exploratória, essa etapa prosseguiu com a intensa exploração do espaço adjacente à escola e um intenso diálogo entre diretor, professores e estudantes.

Os primeiros contatos ficaram restritos à apresentação da proposta da pesquisa, buscando, sempre, avaliar a afinidade e disponibilidade do grupo de pesquisadores. Procurou-se, também, criar uma relação de confiança entre pesquisadores e a comunidade. Foram, ainda, bastante observadas as opiniões divergentes, as resistências, os apoios e até os desafios que a pesquisa deveria enfrentar durante sua aplicação.

O Quadro 3 resume as ações da fase exploratória e as repercussões que nortearam o horizonte da pesquisa.

QUADRO 3: Resumo das atividades realizadas na fase exploratória da pesquisa

DATA	PROCESSOS	MEIOS	PRODUTOS OBTIDOS
Março-2010	Cobertura institucional e financeira	-Exposição do projeto ao diretor do SAMAE	-Apoio do SAMAE para mão de obra, materiais de

		-Reunião com a secretária de	construção e análises laboratoriais
		educação -Apresentação do projeto para a hidrelétrica ENERCAN	-Indicação da Escola, disponibilização de professores e funcionários -Aprovação de R\$8.600,00 pela ENERCAN para serem investidos no projeto.
Maio-2010	Definição do local da pesquisa	-1ª visita à Escola André Rebouças -Exposição do projeto para a diretora e demais funcionários da Escola	-Aceitação unânime do projeto pelos funcionários da Escola -Decisão definitiva do local da pesquisa
Abril-2010	Parceiros da pesquisa	Reunião com o coordenador do curso de Eng. Sanitária da UNOESC	-Colaboração de um estagiário do curso de Eng. Sanitária para trabalhar no projeto; -Disponibilização do laboratório de efluentes da UNOESC para realizar algumas análises
Maio-2010	Reconhecimento da área	Levantamento de mapas e consulta a moradores para diagnóstico do perfil geológico e hidrológico da região	-Profundidade das rochas no solo; -Nível do lençol freático

3.2.2 Planejamento das ações

Nesta fase, concomitantemente à fase exploratória, focou-se no planejamento das ações da pesquisa, a partir do que se definiu a

necessidade de materiais e de pessoal e concretizou-se um cronograma de ações. Seguindo os princípios metodológicos de Thiollent (2009), o plano de ação consistiu em estabelecer as seguintes questões: Como se relacionam os atores e as instituições? Quais os momentos necessários do projeto para alcançar os objetivos da pesquisa? Quem toma as decisões? Quais são os objetos (ou metas) tangíveis da ação e os critérios de sua avaliação? Como dar continuidade à ação, apesar das dificuldades? Como controlar o conjunto do processo e avaliar os resultados?

Utilizando-se os fundamentos da síntese metodológica em pesquisa-ação de Silva (1998), as atividades foram desenvolvidas alicerçadas em duas linhas: a pedagógica e a participativa, sendo esta última envolvendo as ações de campo. A linha pedagógica foi mais focada ao processo de produção de conhecimentos a partir de dinâmicas teóricas e com base nas evidências práticas, buscando esclarecer os processos básicos de um sistema de tratamento de esgoto e sua importância e interações no contexto ambiental como um todo. Dentro da realidade do próprio ambiente escolar, buscou-se firmar um elo de integração harmônico e de responsabilidade para com o sistema implantado e os envolvidos. A linha participativa, por sua vez, trata do envolvimento dos participantes no desenvolvimento de todo o projeto de pesquisa, ou seja, uma característica dialógica entre prática e teoria.

As linhas de ação adotadas não foram divididas em etapas separadas, mas caminharam concomitantemente, servindo como base de planejamento para que as didáticas fossem abrangentes, interativas e promissoras no atendimento dos objetivos propostos, garantindo, também, uma melhor definição dos instrumentos de controle e avaliação dos resultados.

3.2.2.1 Linha de ação pedagógica

A linha pedagógica buscou aprimorar a bagagem epistemológica relativa ao conhecimento de sistemas de tratamento de esgotos e sua importância para a preservação ambiental e a qualidade de vida. Nessa linha, focou-se na produção de conhecimentos a partir de dinâmicas teóricas, com base nas evidências práticas, buscando esclarecer os processos básicos de um sistema de tratamento de esgoto e sua importância no contexto ambiental como um todo.

QUADRO 4: Quadro resumo dos encontros para as dinâmicas pedagógicas.

DATA	ASSUNTO	DINÂMICA	RECURSOS NECESSÁRIOS
Março-2011	Identificação dos conceitos: meio ambiente, saneamento básico e desenvolvimento sustentável	Aula teórica, atividades em grupo e aplicação de questionário	Lousa, papel cartolina e materiais de escrita
Abril-2011	Importância do tratamento de esgotos e as principais doenças de veiculação hídrica; evidências do sistema zona de raízes na qualidade ambiental da escola	Aula teórica, reunião em grupos, discussão dos grupos e aplicação de questionário	Lousa, papel, cartolina, materiais de escrita
Maió-2011	Indicadores de qualidade ambiental; parâmetros de análise para a qualidade do efluente	Aula teórica, atividades em grupo, discussão do tema	Lousa, papel, recipiente com amostras
Junho-2011	Análises da qualidade do afluente e efluente	Realização de análises com o ECOKIT, pelos próprios alunos e professores (Figura 5)	ECOKITT, Luva de procedimentos
Julho-2011	Finalização das dinâmicas	Opinião individual e do grupo a respeito das dinâmicas	Folha A4, material de escrita



FIGURA 5: Estudantes realizando análises do efluente com o ECOKIT

Por sugestão das professoras e levando em conta o número de alunos, ficou decidido que se trabalharia com apenas uma turma na linha pedagógica. Como haveria aplicação de questionários e algumas atividades de campo, seria inviável envolver um grande número de alunos, o que causaria dispersão e uma dificuldade de controle dessas práticas. A turma escolhida foi do sexto ano do ensino fundamental, compreendendo um total de 24 (vinte e quatro) alunos. Para a linha pedagógica, o Quadro 4 apresenta as principais ações.

3.2.2.2 Linha de ação de atividades de campo

O início da construção do sistema propriamente dito se deu a partir do momento em que se obteve o apoio financeiro que garantisse a sustentabilidade econômica do sistema. A busca pelos recursos, embasada no quadro de orçamentos e na proposta executiva e pedagógica do projeto, foi unanimemente eficaz por intermédio dos órgãos já citados. Já na fase exploratória da pesquisa ficaram previamente estipulados os gastos e as fontes de recursos para executar cada etapa da implantação do sistema.

As atividades de campo foram fundamentais para o aperfeiçoamento da ação pedagógica, no incremento da episteme do objeto da pesquisa. Para execução do piloto foi seguida uma série de etapas para que o público envolvido tivesse conhecimento total das ações e pudesse interagir e vivenciar as principais etapas de execução. Para estabelecer critérios e melhor organizar as atividades foi elaborada

uma planilha, mas, em razão dos imprevistos no decorrer da execução do sistema, houve algumas modificações. A Figura 6 sintetiza os processos e ações relativas à implantação do sistema propriamente dito.

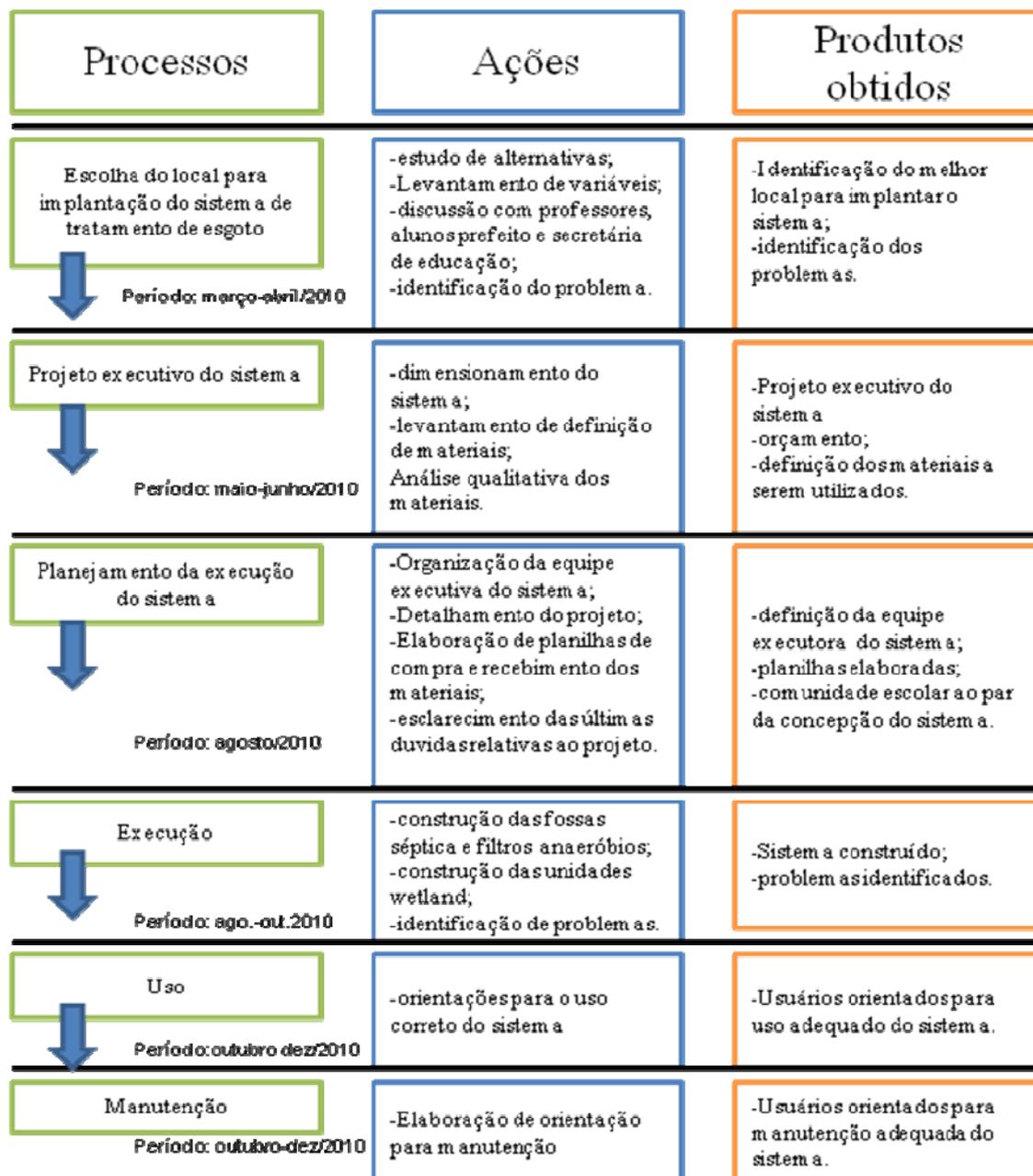


FIGURA 6: Fluxograma síntese dos processos e ações de execução do sistema de tratamento de esgotos por zona de raízes.

3.2.3 Formação da equipe

A pesquisa-ação é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de problemas de ordem coletiva. Assim, Thiollent (2004) propõe que os pesquisadores e os participantes

representativos da situação ou do problema a ser resolvido estejam envolvidos de modo cooperativo ou participativo. Nesse sentido, é de grande importância a escolha dos sujeitos da pesquisa, englobando características que incluam questões operacionais do projeto-ação (LIMA *et al.*, 2010).

A formação da equipe deu-se no decorrer da fase exploratória, partindo-se da iniciativa dos mais interessados na resolução do problema. A mão de obra mais pesada foi executada por funcionários cedidos pelo SAMAE, incluindo retroescavadeira, caminhão caçamba, tubulações e demais ferramentas de uso pessoal. Durante a execução da obra, muitos moradores da região acompanharam e opinaram com a equipe executora, compartilhando ideias e conhecimentos. A equipe de professores da Escola Municipal foi bastante importante para a evolução da pesquisa, e teve participação em todas as linhas de ações com destaque na linha pedagógica, pois sabiam dos costumes, cultura e capacidade cognitiva geral dos alunos.

A linha de ação de campo foi executada através de uma equipe multidisciplinar. Esta equipe foi composta pelos seguintes membros:

- 1 Engenheiro Sanitarista (coordenador geral)
- 2 Pedreiros (SAMAE)
- 3 Encanadores (SAMAE)
- 3 Auxiliares de operação (SAMAE)
- 1 Operador de máquinas (SAMAE)
- 1 Estagiário de agronomia (UNOESC)
- 1 Estagiária de Eng. Sanitária e Ambiental (UNOESC)

Cada ação destacada na Figura 6 foi planejada e discutida com toda essa equipe, sempre destacando as opiniões mais valiosas e com aprovação unânime. Cada decisão tomada em conjunto era apresentada para a diretora da escola e demais professoras, exceto quando se tratava de questões muito específicas de engenharia. Os alunos da sexta-série do ensino fundamental constituíram o público foco da linha de ação pedagógica. A participação dos alunos na linha de ação de campo privilegiou o lúdico e centrou-se nas atividades de plantio das mudas, aulas práticas, análises do afluente e efluente (ECOKIT) entre outras, conforme mostra a Figura 6.

3.2.4 Coleta e análise de dados

A aplicação de questionários é um rico instrumento de avaliação da episteme de um grupo de estudo, principalmente em pesquisas sociais (RHEINHEIMER e GUERRA, 2009; PEDRINI e JUSTEN, 2006). Além do uso de questionários, foram utilizados relatórios das reuniões, através das atas, e registros fotográficos. A análise dos dados foi efetuada com base nesses instrumentos e nas próprias evidências e entrevistas realizadas pelo pesquisador.

Para cada hipótese intermediária analisada foi elaborada uma planilha na qual foram explicitados: o tipo de informação, as fontes de evidência, os procedimentos para coleta e análise dos dados. O Quadro 5 mostra a planilha de coleta de dados para cada hipótese intermediária da pesquisa.

QUADRO 5: Planilha de método de coleta e análise dos dados referentes às hipóteses intermediárias, quanto ao tipo de informação, fonte de evidência e procedimento de coleta e análise

HIPÓTESES	TIPO DE INFORMAÇÃO E EVIDÊNCIAS	INSTRUMENTO E PROCEDIMENTO DE COLETA
<p>O Sistema Zona de Raízes permite um tratamento de alta eficiência, baixo custo de implantação e operação, não requer mão de obra especializada e possibilita o uso de materiais locais de fácil acesso.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Projeto executivo das alternativas, com os respectivos orçamentos e recursos necessários; -Nível do lençol freático; -Profundidade das rochas. -Depoimento dos participantes; -Utilização dos recursos locais para construção dos filtros; 	<ul style="list-style-type: none"> -Registros fotográficos; -Análises laboratoriais; -Planilha de custos de todos insumos e composições.

Continuação...		
<p>Os obstáculos para implantação de um sistema de tratamento com baixo custo financeiro referem-se ao nível de tratamento desejado, possibilidade de reuso e valorização dos subprodutos, disponibilidade de uso de material local, e fácil implantação e manutenção que possa utilizar-se de mão de obra local.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Orçamento do sistema de tratamento; -Disponibilidade de materiais locais; -Grau de dificuldade de entendimento dos participantes nos processos inerentes ao tratamento. 	<ul style="list-style-type: none"> -Registros fotográficos; -Entrevistas com os participantes; -Análises laboratoriais.
<p>A viabilidade política, econômica, cultural e social do STW dá-se pelo acesso da comunidade às técnicas de tratamento e conseqüentemente nas tomadas de decisões, possibilidade de reuso do efluente, implantação em local público de fácil acesso, baixo custo de implantação e operação e não requer mão de obra especializada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Número de participantes no projeto; -Entidades apoiadoras; -Condições econômicas da população local; -Costumes e hábitos dos moradores locais e dos escolares; -Facilidade de entendimento dos processos pelos participantes; -Depoimento dos participantes. 	<ul style="list-style-type: none"> -Dados econômicos e históricos do distrito; -Relatórios das entrevistas e didáticas;
<p>A escola é espaço ideal para realizar um projeto de pesquisa que envolva a metodologia participativa, pois é um espaço social e o local onde o aluno dará seqüência ao seu processo de socialização.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Participação e interesse dos alunos e professores na execução do sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> -Aulas teóricas; -Aplicação de questionários; -Entrevistas.

Continuação...

<p>As análises laboratoriais e as evidências comportamentais das plantas e dos níveis hidráulicos do STW permitem avaliar o desempenho do sistema.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Análises laboratoriais periódicas; -características das macrófitas (cor, densidade e tamanho); -medição do nível hidrostático de saída e das vazões de entrada e saída. 	<ul style="list-style-type: none"> -Análises no laboratório da UNOESC; -Leitura do hidrômetro de saída do sistema e do consumo de água na escola; -Observação do nível de saída dos esgotos no mangote.
<p>O STW, por apresentar um viés paisagístico, permite aulas práticas e expositivas relacionadas às matérias de ecologia na área do conhecimento de Ciências, e também permite evidenciar os conteúdos teóricos estudados em salas de aula.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Aulas práticas e teóricas por intermédio do Eng. Responsável pelo projeto; 	<ul style="list-style-type: none"> -Operação conjunta do STW com alunos e professores; -análises efetuadas pelas crianças com o ECOKIT; -Aplicação de questionários.

3.2.5 Disseminação

Para a disseminação do projeto utilizou-se dos meios de divulgação local, incluindo as emissoras de rádio, matérias em jornais, divulgação verbal, reuniões e elaboração de cartilha (ver Apêndice 2) que foi entregue aos moradores do município. Nesta, constava de forma sucinta a importância da existência de tratamento de esgotos e métodos de execução de sistemas de Zona de Raízes como tratamento de efluentes residenciais. Foi realizado um grande evento de divulgação no dia 17/06/2011, no qual estiveram presentes mais de 200 pessoas entre alunos de escolas, universidade, comunidade, lideranças políticas e representantes de instituições (Figuras 7 e 8). O principal objetivo desse encontro foi divulgar a tecnologia, buscar parcerias e valorizar a equipe de pesquisadores e participantes.



FIGURA 7: Descerramento da placa, com prefeito e secretários



FIGURA 8: Autoridades e representantes da sociedade civil

3.3 CONCEPÇÃO DO SISTEMA ZONA DE RAÍZES

O sistema foi projetado de modo a ser o mais compatível possível com as condições naturais e climáticas locais, e que tivesse anuência de todos os envolvidos, tanto a comunidade escolar e moradores próximos quanto representantes políticos. A ideia centrou-se na promoção de um sistema simples, eficiente e de fácil manutenção, segundo os princípios do saneamento ecológico e sustentável (Apêndice 1). O dimensionamento do sistema foi realizado conforme apresentado no item 3.3.1.

No local escolhido para a montagem do sistema existe um sério problema com relação ao perfil do solo, pois, com mais de 1 (um) metro de escavação já existe rocha (laje), além de o lençol freático estar presente a menos de um metro e meio de profundidade, o que dificulta a implantação de sistemas de tratamento convencionais. Nesse caso, o sistema de filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal, tecnicamente, é uma excelente opção, considerando, também, a grande área disponível para o mesmo no pátio da escola.

3.3.1 Pré-tratamento e materiais utilizados nos sistemas

Antecedendo os filtros plantados, foi construído um sistema de tanque séptico seguido de filtro anaeróbio. Os tanques sépticos foram construídos com tubulões de concreto armado, de 80cm de diâmetro por 1,5 metros de altura cada. As dimensões e características construtivas dos tanques tiveram uma concepção bastante semelhante à NBR 7229/93. Foi preservada a profundidade mínima, porém a relação entre

uma câmara e outra em série não utilizou as mesmas proporções normativas.

Essas medidas visaram baratear o sistema sem que houvesse significativa interferência na qualidade do efluente. Os materiais utilizados nesses tanques foram adotados por existirem em grande quantidade no estoque do SAMAE, que os utiliza nos PV's (poços de visita) e, também, por ser de fácil aquisição no comércio local. Após o efluente passar pelos 3 (três) tanques em série, ele se divide para 3 (três) filtros anaeróbios distribuídos em paralelo, conforme Figura 9 (p. 76). Foi adotada a distribuição em paralelo a fim de distribuir uniformemente a vazão em cada unidade filtrante e não sobrecarregar apenas um, caso fosse disposto em série.

Dessa forma, as taxas aplicadas em cada filtro são menores, conseqüentemente há aumento no tempo de detenção hidráulico, promovendo um melhor contato entre o afluente e os materiais filtrantes. Os filtros foram construídos também por tubulões, porém diferem dos tanques na altura, com apenas 1 (um) metro. No material filtrante, de 40cm de espessura, foi utilizada a brita nº 3. O fundo falso é de 30cm, sustentado por uma prancha de madeira naval arredondada com furos equidistantes intercalados de 2cm de diâmetro. Os filtros foram construídos de acordo com as dimensões preconizadas na NBR 13969/97. Após passar pelos filtros, o efluente segue para uma caixa de passagem que leva aos filtros plantados com macrófitas (zona de raízes) (Vide Figura 9, p. 76). Estes filtros são dispostos em paralelo, ambos com as mesmas dimensões.

Os materiais utilizados foram brita nº 3, como material suporte das tubulações de alimentação e coleta do efluente, e areia grossa, como material filtrante. Na impermeabilização foi utilizado manta de polietileno com espessura de 0,8 micra e as macrófitas da espécie *typha sp.* Os detalhes das dimensões e tubulações dos sistemas constam no Apêndice 3. O tempo de detenção médio dos esgotos em cada tanque séptico é de aproximadamente 20 horas e de 5 horas em cada filtro anaeróbio em paralelo, considerando uma vazão média afluente de 0,76 m³/dia.

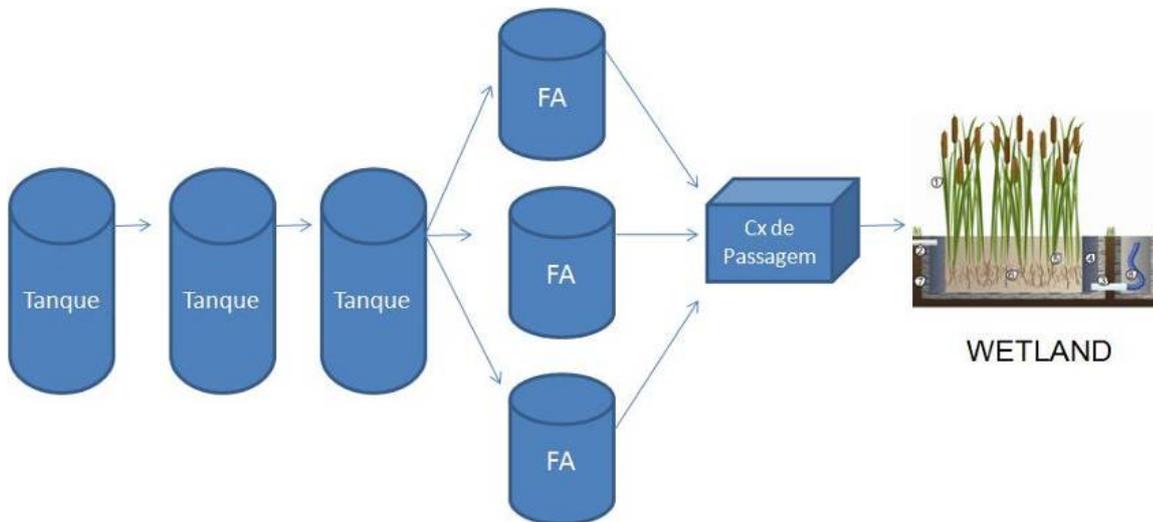


FIGURA 9: Esquema da disposição dos tanques e filtros anaeróbios.

3.3.2 Memorial de cálculo

O sistema Zona de Raízes de fluxo horizontal foi escolhido pelo fato de apresentar maior simplicidade no seu funcionamento e manutenção em relação ao mesmo sistema de fluxo vertical, que requer uma alimentação intermitente com a disponibilização de sistemas de bombeamento. Em termos de eficiência, depende do nível de tratamento desejado, mas, para esgotos domésticos, o fluxo horizontal tem apresentado eficiências acima de 75% de remoção de DBO5 quando bem dimensionados e operados (PHILIPPI E SEZERINO, 2004).

Para o dimensionamento dos sistemas de zona de raízes de fluxo horizontal foi empregada a equação da cinética de primeira ordem, com a utilização do parâmetro DBO aplicável a reatores do tipo pistão (Equação 1).

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T t)$$

Equação 1

Onde: C_e = concentração efluente em termos de DBO5 (mg/L); C_o = concentração afluyente em termos de DBO5 (mg/L); K_T = constante de reação da cinética de primeira ordem – dependente da temperatura T (d^{-1}); e t = tempo de retenção hidráulico (d).

O tempo de retenção hidráulico na Equação 1 é função da porosidade do maciço filtrante, do volume do filtro plantado e da vazão que se deseja tratar (Equação 2).

$$t = n \frac{V}{Q} \text{ Equação 2}$$

Onde: t = tempo de retenção hidráulico (d); n = porosidade do material filtrante (m^3 vazios / m^3 material); V = volume do filtro plantado (m^3); e Q = vazão a tratar (m^3 /d).

A constante K_T , destacada na Equação 1, pode ser obtida através de equações empíricas que relacionam a constante de reação a 20°C (K) com a equação modificada de *van't Hoff-Arrhenius*, conforme segue:

$$K_T = K_{20} (1,06)^{T-20} \text{ Equação 3}$$

Onde: K_T = constante de reação da cinética de primeira ordem – dependente da temperatura T (d^{-1}); K_{20} = constante de reação a 20°C (d^{-1}); e T = temperatura crítica ($^\circ\text{C}$).

A partir dos dados de entrada aplicados nas equações anteriores obtém-se a área superficial estimada para os sistemas de zona de raízes de fluxo horizontal, através das seguintes adequações:

$$Ce = Co \exp(K_T t) \text{ Equação 1 modificada}$$

Aplicando na Equação 1 modificada o logaritmo natural, se obtém a Equação 4:

$$\ln Ce = \ln Co - K_T t \text{ Equação 4}$$

Aplicando a Equação 2 na Equação 4 tem-se:

$$\ln Ce = \ln Co - K_T \frac{V}{Q} n \text{ Equação 5}$$

Considerando que o volume (V) é o produto da área (A) pela profundidade (p), isolando a área tem-se:

$$A = \frac{Q_a x (\ln C_o - \ln C_e)}{K_T x p x n} \quad \text{Equação 6}$$

Onde: A = área superficial requerida (m^2); Q_a = vazão afluente (m^3/d); C_o = concentração afluente em termos de DBO5 ($mg/L = g/m^3$); C_e = concentração efluente em termos de DBO5 ($mg/L = g/m^3$); K_T = constante de reação da cinética de primeira ordem – dependente da temperatura T (d^{-1}); n = porosidade do material filtrante (m^3 vazios / m^3 material); p = profundidade média do filtro (m).

Aplicou-se a equação 6 com os valores de entrada de 96mgDBO/L (pré-tratamento com tanque séptico - 40% de eficiência - e filtro anaeróbio - 60% de eficiência) (PROSAB, 2001), $K_T = 0,20 d^{-1}$. Considerando temperatura crítica de 10°C e assumindo $K_{20} = 0,80 d^{-1}$, n = 0,35 (PINTO, 2000), profundidade média de 0,60m, vazão média de 4,75 m^3/d . Este valor foi atribuído para uma vazão média de 25l/hab x dia para os 190 alunos divididos em dois turnos, ou seja, máximo de 85 alunos durante o período diurno. Os outros 2,375 m^3 foram atribuídos ao ginásio Municipal, que entrará em funcionamento em 2012 para atender à comunidade local. Este será instalado no terreno adjacente à escola onde foi previsto a ligação dos sanitários junto ao sistema *wetland*. Para atender à demanda atual e futura que garante uma DBO efluente de 30 mg/L, obteve-se um valor de 131 m^2 . Como fator de segurança este valor foi arredondado para 154 m^2 .

O sistema foi dividido em 2 (dois) sistemas de zona de raízes, sendo 77 m^2 cada e uma relação entre largura e comprimento de 1,57:1, ou seja, 7m x 11m cada filtro plantado. O tempo de detenção hidráulico previsto para atender as duas unidades foi calculado em 9,72 dias para uma única unidade em operação, quando a unidade do ginásio estivesse interligado ao sistema. De início, durante o projeto de pesquisa, foi utilizado apenas um dos tanques plantados, o T1, com apenas a contribuição da escola, visto que o ginásio ainda estava em fase terminal de construção. Como a vazão estava baixa, a utilização dos 2 (dois) sistemas poderia acarretar a morte das macrófitas por falta de afluente.

O segundo tanque (T2) deve ser utilizado caso o T1 precise de alguma manutenção ou ocorra a colmatação do mesmo.

3.3.3 Parâmetros e análises laboratoriais

Para o estudo da eficiência do sistema foram realizadas oito análises de materiais coletadas nos pontos de entrada e saída do sistema zona de raízes. As duas primeiras análises foram realizadas no Laboratório Beckhauser, localizado no Município de Blumenau. As outras seis foram efetuadas no laboratório de microbiologia e efluentes da UNOESC, campus de Videira, SC. Todas as análises foram feitas de acordo com os procedimentos constantes no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AWWA/APHA/WEF, 1998).

Após serem coletadas nos pontos de entrada e saída, as amostras foram armazenadas em um recipiente de isopor a uma temperatura de aproximadamente 4°C até que se efetuassem as análises.

Os parâmetros avaliados foram: DBO, DQO, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , pH, Alcalinidade, *Col. Totais* e *E. Coli*.

3.3.4 Controle operacional

Como existe um sistema de pré-tratamento com tanque e filtro anaeróbio, os problemas alusivos à colmatação do leito ou incrustações nas tubulações não foram identificados nem despertaram grandes preocupações. Visando possíveis manutenções em uma das unidades, foram construídas 2 (duas) unidades zona de raízes, facilitando o manejo e prevendo uma maior contribuição de esgotos no futuro.

As observações periódicas no sistema foram atreladas às medições semanais das vazões de entrada e saída, o nível hidráulico e o desenvolvimento das plantas na zona de raízes.

Para o controle do nível hidráulico do sistema foi disposta uma curva de 90° e uma tubulação erguida com a função de controlar o nível hidráulico no sistema. Na entrada de cada filtro existe um registro, para o caso de se fazer manutenções ou controlar as vazões de entrada, prevendo o funcionamento simultâneo das duas unidades. Todos os problemas operacionais foram sempre discutidos com os professores e alunos durante a execução do sistema e na linha pedagógica detalhada no item 3.3.2.1.

3.3.5 Plantio e manutenção da vegetação

A espécie de macrófita selecionada para o plantio em uma das unidades de zonas de raízes foi a *Typha latifolia* (figura 13) popularmente conhecida como “Taboa”. Além de ser uma espécie adaptada a ambientes saturados de água, apresenta crescimento acelerado, e por possuir aerênquima, permite a condução de oxigênio para o interior do leito filtrante, favorecendo as zonas aeróbias no sistema.

As espécies identificadas foram coletadas em um ambiente natural alagado no próprio município, próximo ao local onde foi implantado o sistema (Figura 10). A coleta foi realizada com a ajuda de uma retro escavadeira, sempre tomando-se o cuidado de escavar bem por baixo e preservar a raiz e os rizomas.

Na estação, as melhores plantas coletadas foram selecionadas e procedeu-se à poda e lavagem das raízes (Figura 11).

Após preparadas, as mudas foram plantadas em pequenas cavas feitas com auxílio de ferramentas do tipo cavadeira, respeitando uma densidade de quatro plantas por metro quadrado (Figura 12).

A poda da vegetação foi realizada duas vezes de forma manual. Todo o material cortado foi recolhido e transportado para locais de lavoura e às vezes fornecido para as propriedades que o utilizavam como silos.



FIGURA 10: Retirada da macrófitas do ambiente natural



FIGURA 11: Preparação das mudas para o plantio



FIGURA 12: Preparação das cavas e plantio da mudas



FIGURA 13: Mudanças após nove meses de operação

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Assim como no capítulo anterior, os resultados são abordados em duas linhas. Uma delas é relativa ao desempenho do sistema zona de raízes em um cunho tecnológico, com a discussão dos resultados através dos parâmetros físico-químicos. A outra abordagem apresenta a relação entre a sustentabilidade e a pesquisa-ação participativa na implantação e operação do sistema.

4.1 ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE ZONA DE RAÍZES

Para a avaliação do sistema foram atribuídos alguns procedimentos de execução, manutenção, coleta e controle de modo que se pudesse credibilizar ao máximo os resultados do sistema de tratamento em escala real.

O sistema zona de raízes foi operado durante um período de 8 (oito) meses, iniciado em novembro de 2010 até julho de 2011, quando foi cessada a avaliação. Conforme citado na metodologia, houve um monitoramento da vazão de saída através da leitura de um hidrômetro velocimétrico. A vazão de entrada para alimentar o sistema de esgoto foi estimada em 50% da vazão de água consumida na escola. Os dados foram obtidos com o SAMAE, que realiza essas leituras mensalmente. Com relação ao valor de 50%, este foi estimado considerando que grande parte da utilização da água tratada se dá na limpeza do pátio da escola e rega dos jardins.

No desenvolvimento do projeto não foram realizadas análises específicas das espécimes vegetadas, pois não se dispunha de recursos financeiros nem tempo hábil para que houvesse uma pesquisa científica válida nesse sentido. A evidência básica dos espécimes foi o desenvolvimento não uniforme do seu crescimento, reforçando que houve caminhos preferenciais na distribuição do afluente.

4.1.1 Material filtrante

Para verificar as características granulométricas do material filtrante foram realizados os ensaios da areia utilizada como recheio na zona de raízes. As análises foram realizadas no laboratório de Materiais e Solos da Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC), campus de Joaçaba, SC.

A Tabela 3 apresenta as características físicas da areia utilizada no sistema zona de raízes.

TABELA 2: Resultado do ensaio granulométrico da areia

Peneira(mm)	% média retida	% média acumulada
4,8	2,17	2,14
2,4	12,87	14,80
1,2	19,08	33,58
0,6	21,93	55,21
0,3	25,27	80,14
0,15	16,62	96,53
Fundo	3,49	99,97

TABELA 3: Características físicas da areia

Módulo de finura	2,82
Dimensão máxima característica	4,8 mm
Classificação NBR 7211:2005	Zono utilizável
D10	0,20 mm
D60	0,95 mm
Coefficiente de uniformidade	4,75
Areia fina	4%
Areia média	58%
Areia grossa	38%

A Norma Brasileira NBR 13969/97 (ABNT, 1997) prescreve algumas características físicas do material filtrante em sistemas de filtro de areia e vala de filtração, onde o d10 deve estar entre 0,25mm e 1,2mm, e o coeficiente de uniformidade ser menor do que 4 (quatro) unidades.

Vários autores reportam valores ideais para sistemas de filtros, incluindo zona de raízes. Para tratar efluentes líquidos domésticos ou industriais, o valor de d10 superior ou igual a 0,20mm e coeficiente de uniformidade menor ou igual a 5 (cinco) unidades (COOPER *et al.*, 1996; ARIAS *et al.*, 2001 *apud* PHILIPPI & SEZERINO, 2004). Os ensaios mostraram que o material utilizado nesta pesquisa está de acordo com os padrões recomendados, apresentando d10 igual a 0,20mm e coeficiente de uniformidade igual a 4,75.

4.1.2 Balanço Hídrico

A perda de água por evapotranspiração em sistemas fitopedológicos pode variar de 1,5 a 3,5 vezes a taxa de evapotranspiração

de uma área livre adjacente (MARQUES, 1999). As precipitações pluviométricas podem ser benéficas em alguns fatores, pois afetam positivamente os sistemas fito-pedológicos porque transportam o oxigênio dissolvido a esses sistemas, bem como promovem mistura (MANSOR, 1998).

As medições de vazão na saída do sistema foram realizadas através da leitura mensal do hidrômetro instalado na tubulação de saída da unidade de tratamento. A instalação de um hidrômetro na entrada do sistema não foi possível pela qualidade do esgoto, com certa quantidade de sólidos, o que levaria a constantes manutenções e rápida danificação do equipamento. Para que houvesse uma medição direta do esgoto afluente seria necessário utilizar um medidor eletromagnético com um “*data logger*” agregado para armazenamento dos dados, o que inviabilizaria a pesquisa pelo alto custo monetário deste equipamento.

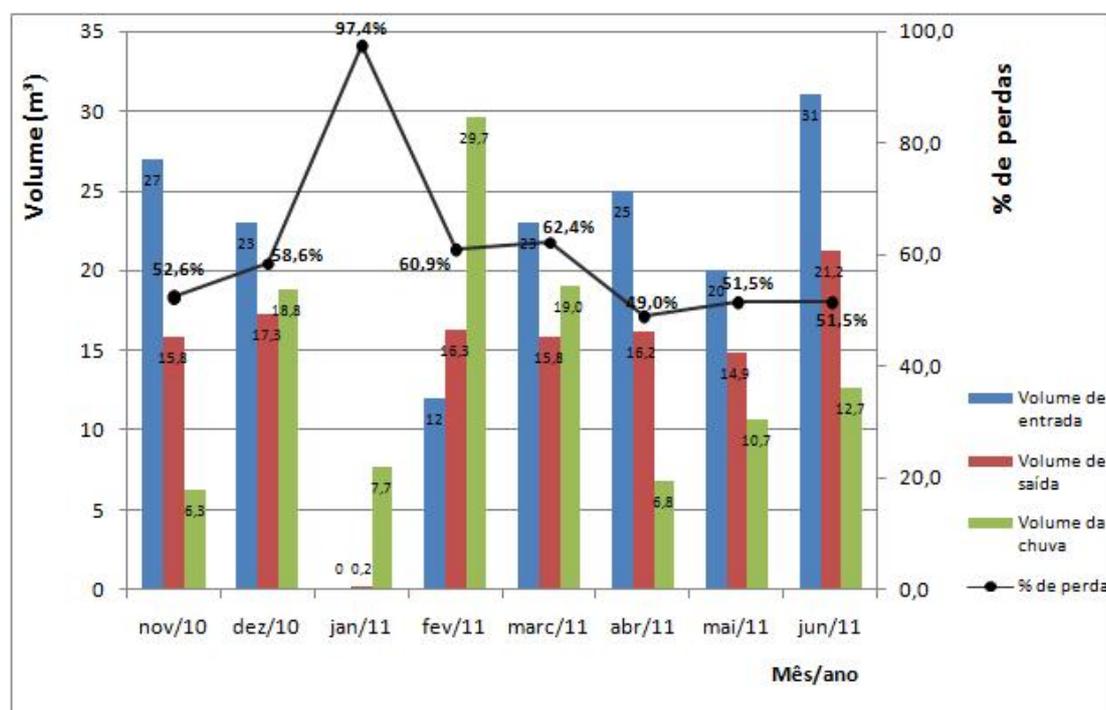


FIGURA 14: Volume médio mensal de entrada e saída de esgotos, assim como precipitação média em cada mês ao longo do período de avaliação

O gráfico da Figura 14 mostra o volume, em metros cúbicos, em cada um dos oito meses de monitoramento do sistema. Como a taxa de aplicação foi relativamente baixa, $0,014\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$ em média, a taxa de evaporação e a transpiração das plantas interferiram significativamente na redução da vazão efluente ao sistema, com uma perda média de 60,47% para a densidade vegetal de 4 (quatro) macrófitas por metro quadrado, somando 308 plantas no sistema. Pode-se observar uma maior

evapotranspiração no período de dezembro de 2010 e fevereiro e março de 2011, pela maior insolação e temperaturas ocorridas nesse período de verão. No mês de janeiro, como apresentado na Figura 14, a vazão de entrada de esgotos no sistema foi praticamente zero, pois devido às férias, a escola se manteve fechada. Ao final do mês de dezembro ergueu-se o mangote de saída do sistema para que as plantas se mantivessem por mais tempo imersas no esgoto e não se prejudicasse sua vitalidade.

Até o fim do monitoramento no mês de julho/2011, essa saída se manteve erguida, com 20cm (vinte centímetros) abaixo do nível de entrada, garantindo um melhor contato das plantas com os esgotos, sem que houvesse problemas de escoamentos superficiais. Em razão da baixa taxa de aplicação hidráulica no mês de janeiro, as perdas de água foram praticamente 100%, pois o pouco que precipitou foi utilizado pelas plantas e/ou evaporou.

No trabalho desenvolvido por Dornelas (2008), utilizando o mesmo tipo de macrófita e com a mesma densidade vegetal, porém taxa de aplicação hidráulica de $0,12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$, obteve-se uma perda média no sistema por evapotranspiração de 42%, o que justifica o valor encontrado neste trabalho pela significante menor taxa média de aplicação hidráulica ($0,014 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$)¹.

4.1.3 Efluentes: resumo dos resultados

As análises laboratoriais para avaliação do sistema iniciaram-se no mês de novembro de 2010 e duraram 225 dias, ou seja, até o mês de julho de 2011, com um total de 8 (oito) amostras. Os parâmetros avaliados foram DBO, DQO, Alcalinidade, pH, Amônia, Nitrato, Ortofosfato, *Col. Totais* e *E. Coli*. Os valores das médias aritméticas e o desvio padrão, calculados através da ferramenta do Excel, constam na mesma Tabela 4.

Para todos os parâmetros avaliados, a unidade de medida é mg/L, exceto para *Col. Fecais* e *E. Coli*, que estão em NMP/100ml.

Durante o período de funcionamento do sistema houve uma grande faixa de variação na qualidade afluente e efluente, principalmente pelo fato de ser um sistema funcionando em escala real, à mercê das intempéries climáticas e da sazonalidade do período escolar.

Esses fenômenos podem ser verificados na Figura 14, que mostra as médias de produção de efluentes, precipitação e evapotranspiração durante o período de avaliação do sistema.

TABELA 4: Médias aritméticas e desvio padrão para cada parâmetro durante o período de avaliação

Parâmetro	Entrada Zona de raízes		Saída zona de raízes	
	Média	Desv.P.	Média	Desv.P.
DBO	114,33	85,6	25,6	18,4
DQO	347,1	206,7	58,5	25,3
ALCALINIDADE	475	219,4	381,0	325,2
pH	7,54	0,5	6,6	0,2
PO ₄	14,73	10,2	1,5	1,1
NH ₄	47,18	53,1	2,4	1,8
NO ₃	5,07	0,1	0,7	0,4
<i>Col.T.</i>	7,8x10 ⁶	77,1x10 ⁴	3,3x10 ⁴	7x10 ⁴
<i>E.Coli.</i>	4,3x10 ⁶	9,3x10 ⁶	3,8x10 ⁴	6,8x10 ⁴

Para todos os parâmetros avaliados, a unidade de medida é mg/L, exceto para *Col. Fecais* e *E. Coli*, que estão em NMP/100ml.

Durante o período de funcionamento do sistema houve uma grande faixa de variação na qualidade afluente e efluente, principalmente pelo fato de ser um sistema funcionando em escala real, à mercê das intempéries climáticas e da sazonalidade do período escolar. Esses fenômenos podem ser verificados na Figura 14, que mostra as médias de produção de efluentes, precipitação e evapotranspiração durante o período de avaliação do sistema. A Tabela 5 mostra as médias aritméticas de remoção e o desvio padrão.

TABELA 5: Eficiência média de remoção(%)

Parâmetro	Eficiência de remoção	
	Média	Desv. P.
DBO	72,1	15,9
DQO	77,4	12,7
PO ₄	80,7	19,8
NH ₄	80,7	20,5
<i>Col.T.</i>	99,930	0,064
<i>Col.F.</i>	97,544	4,15

Os resultados mostram a excelente performance do sistema para um nível de tratamento terciário bastante expressivo na remoção de nutrientes e coliformes, que são praticamente insignificantes nos sistemas anaeróbios tradicionais compostos por tanque séptico e filtro anaeróbio.

4.1.3.1 Remoção de matéria orgânica

Os gráficos das Figuras 15 e 16 mostram o desempenho do tratamento por zona de raízes na remoção de matéria orgânica em termos de DBO e DQO.

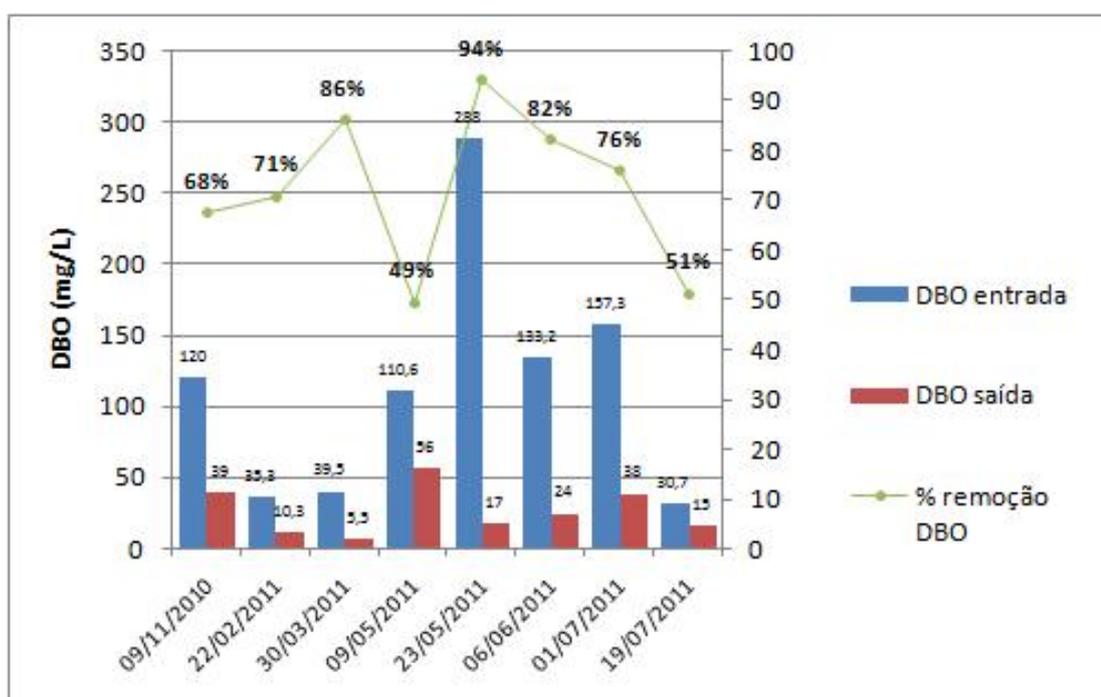


FIGURA 15: valores absolutos de entrada e saída e eficiência média de remoção da DBO

Como pode ser verificado na Figura 16, o sistema apresentou um bom desempenho quanto à remoção da matéria orgânica, com média de 72,1%. Em alguns períodos, a qualidade do afluente variou consideravelmente em relação a outros.

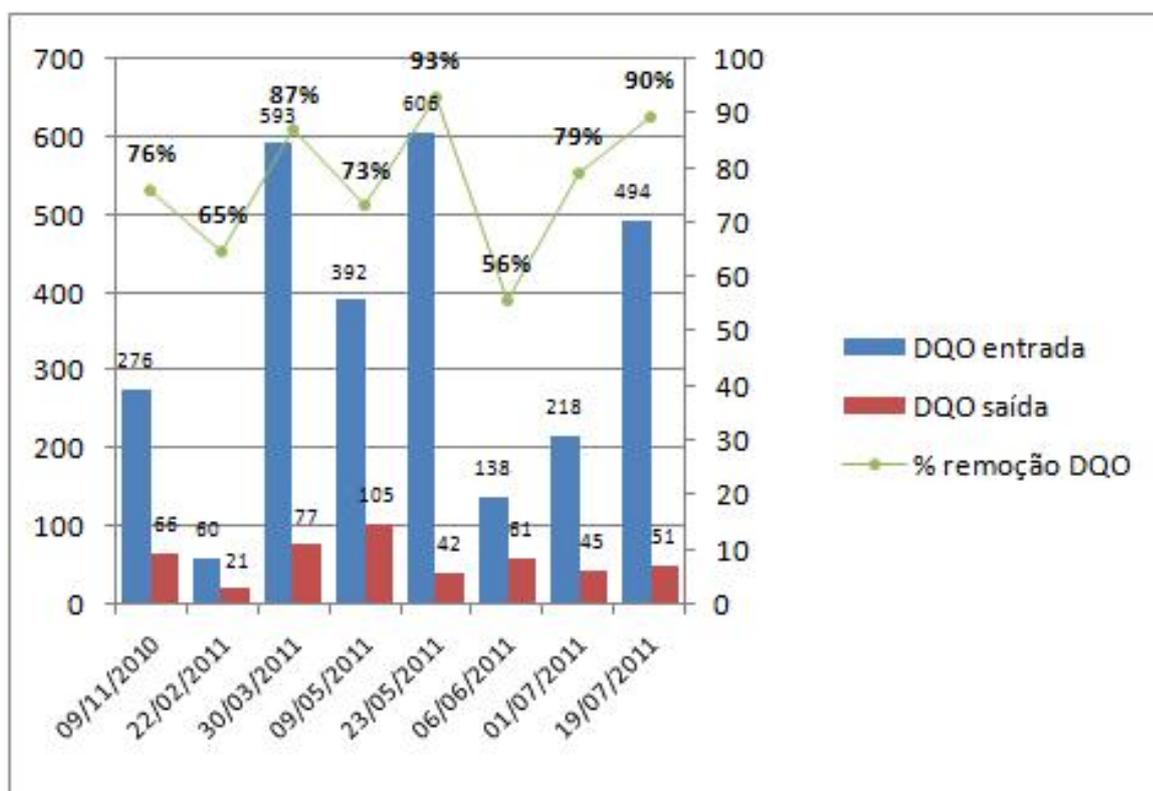


FIGURA 16: Valores absolutos de entrada e saída e eficiências de remoção da DQO

Este fato deve-se principalmente pelos índices pluviométricos e pela própria sazonalidade no funcionamento da escola. A coleta do dia 22/02/2011, por exemplo, apresentou valores muito baixos de matéria orgânica, o que se justifica pelo período de férias, do dia 15/12/2010 até o dia 17/02/2011, com alto tempo de detenção no tratamento prévio (tanque séptico), e pelo alto índice pluviométrico naquele período, poucas horas antes da coleta.

No quesito legal, todas as amostras apresentaram valores abaixo do limite exigido pela Legislação Federal (Resolução CONAMA 430/2011) e pelo Decreto Estadual 14.250/81, que estipulam o mesmo valor máximo para DBO de 60mg/L. Das amostras, aquela que apresentou o valor mais próximo desse limite foi a do dia 9/05/2011, com 49% de eficiência de remoção.

Os principais mecanismos de remoção de matéria carbonácea nos sistemas de tratamento de esgoto por zona de raízes são: a degradação por microrganismos, principalmente bactérias que estão aderidas ao material filtrante e nas raízes das macrófitas, e a remoção dos materiais particulados (matéria orgânica em forma de sólidos suspensos), através dos processos de filtração e sedimentação (PHILIPPI & SEZERINO,

2004). A atividade metabólica das plantas associada à fase de crescimento vegetativo da cultura também contribui para a remoção de matéria orgânica biodegradável da unidade.

A Taboa é uma planta adaptada a ecossistemas alagados e possui a capacidade de transferir o oxigênio aéreo para as raízes e rizomas através de tecidos parenquimatosos chamados de aerênquima, facilitando o desenvolvimento de organismos aeróbios (DORNELAS, 2008). Akrotos *et al.* (2008) consideram a remoção de matéria orgânica o principal parâmetro de projeto em sistemas tipo Zona de raízes de fluxo horizontal subsuperficial, levando em consideração a porosidade média do material, o tempo de detenção hidráulica e os fatores meteorológicos (temperatura e precipitação).

Para um tempo de detenção médio de treze dias o sistema zona de raízes apresentou uma eficiência média de remoção de matéria orgânica, medida através da DBO₅, de 72,1% e uma média da concentração afluenta e efluente de 114,3 mg/L e 25,6 mg/L respectivamente.

Li *et al.* (2007) estudaram o desempenho de 3(três) sistema de tratamento de esgoto por zona de raízes subsuperficial de fluxo horizontal na remoção de matéria orgânica dissolvida. Cada unidade diferia apenas no tipo de material filtrante (areia, escória e zeólita) e na espécie da macrófita, mantendo as mesmas dimensões e tempos de detenção hidráulica que foi de 4 (quatro) dias. Atingiu-se uma eficiência média de 67% para DBO dissolvida, sendo a média de concentração afluenta e efluente de 93mg/L e 30,73 mg/L, respectivamente. Os mesmos autores identificaram que o principal mecanismo de remoção da matéria orgânica dissolvida foi através das bactérias aeróbias e anaeróbias, sendo as raízes vegetadas o principal mecanismo de suporte e desenvolvimento dessas bactérias. Com relação ao tipo de material filtrante, não se observou influência significativa na remoção deste parâmetro.

4.1.3.2 Remoção de nutrientes

Os tratamentos ditos convencionais mais utilizados em residências unifamiliares são geralmente anaeróbios, compostos por tanques sépticos, seguidos de filtros anaeróbios. Esses tipos de tratamento propiciam uma boa eficiência na remoção da matéria orgânica, mas são limitados quanto à remoção de nutrientes (VON SPERLING, 2005).

Os sistemas de tratamento do tipo zona de raízes podem propiciar um tratamento complementar na remoção da matéria orgânica e um nível de tratamento terciário para o esgoto com bom resultado na remoção de nutrientes (PHILIPPI & SEZERINO, 2004). As Figuras 17 e 18 mostram os resultados obtidos em relação ao nitrogênio amoniacal e nitrato durante o período avaliado.

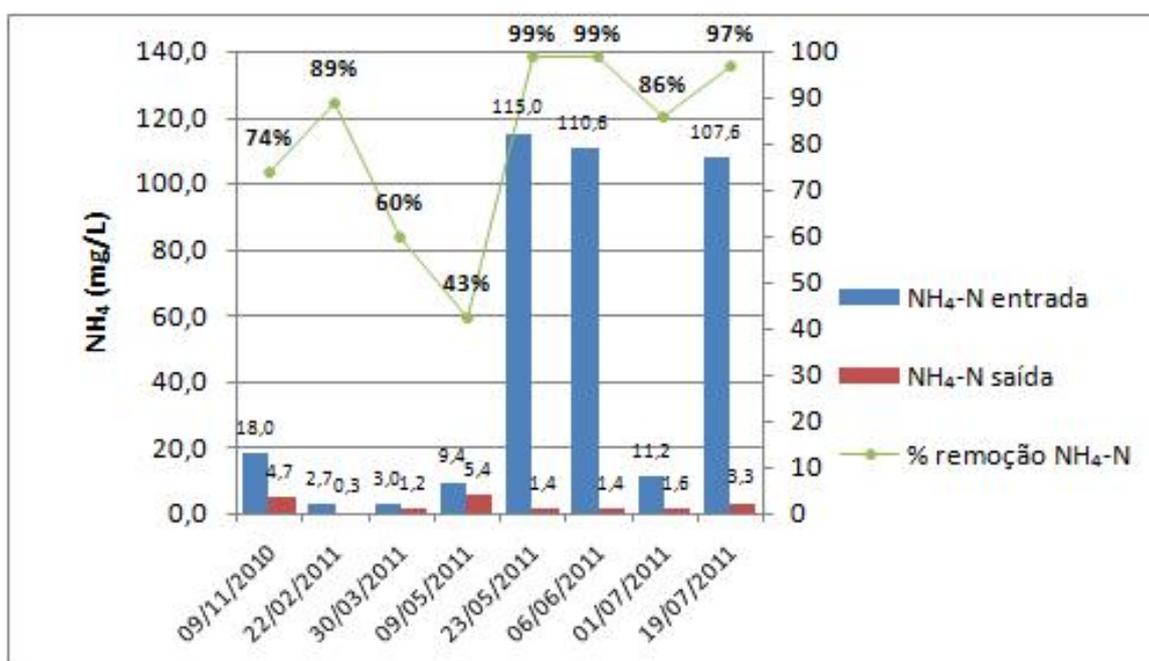


FIGURA 17: variação dos valores de Nitrogênio amoniacal, entrada e saída do sistemas por zona de raízes durante o período de avaliação

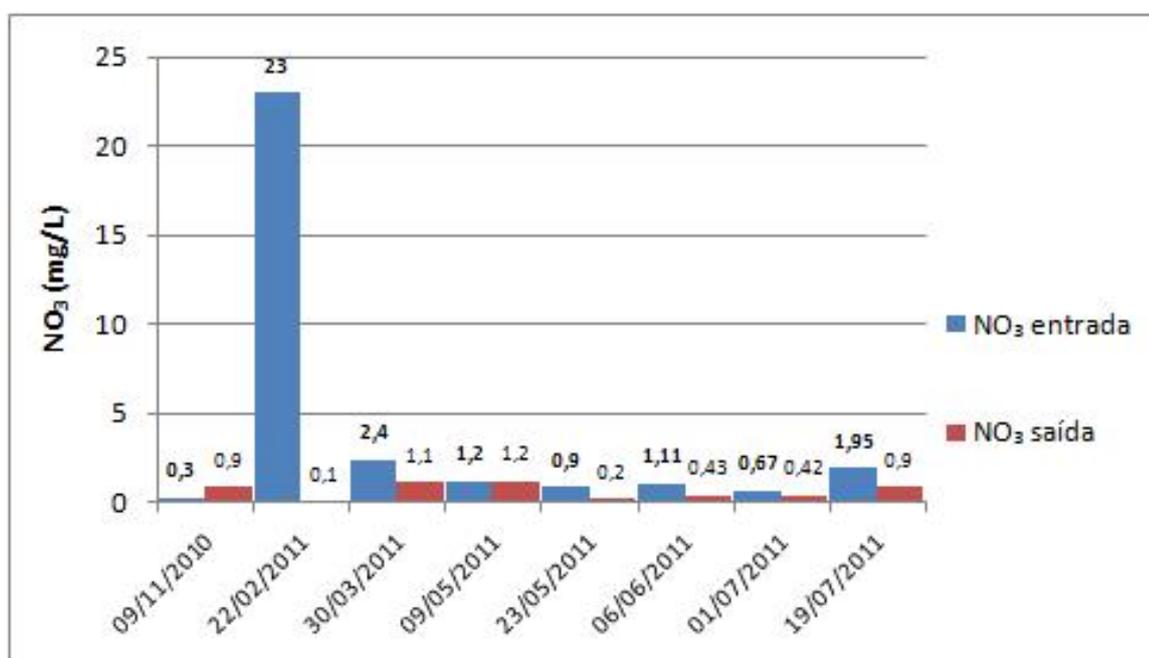


FIGURA 18: variação dos valores de entrada e saída do *wetland* durante o período avaliado

Os principais mecanismos de remoção de nutrientes nos sistemas por zona de raízes são assimilação, amonificação, fixação, nitrificação e desnitrificação. O mais significativo na remoção de nitrogênio orgânico nos sistemas por zona de raízes construídos é a sequência dos processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação (IWA SPECIALIST GROUP ON USE OF MACROPHYTES, 2000).

Como o tempo de detenção no sistema *wetland* foi bastante elevado, com média de 13 dias, todos os mecanismos de remoção do nitrogênio destacados acima contribuíram de forma expressiva na redução deste nutriente, devido ao maior tempo de contato dos esgotos com o meio filtrante e as raízes das macrófitas. Para a $\text{NH}_4\text{-N}$, a eficiência média de remoção e/ou transformação da amônia foi de 80,7% com concentrações médias do afluente e efluente de 47,1 mg/L e 2,4 mg/L respectivamente.

Olijnyk *et al.* (2007) apresentaram eficiências de 70% de remoção e/ou transformação de $\text{NH}_4\text{-N}$ para tempo de detenção médio de 10 dias em *wetland* de fluxo subsuperficial. Kadlec e Knight (1996) consideram uma faixa de 2 a 4 dias em sistemas por zona de raízes construídos de fluxo subsuperficial como suficiente para atender a uma boa performance de tratamento complementar em nível terciário, desde que precedidos de um bom pré-tratamento. Olijnyk (2008) utilizou sistema *wetland* de fluxo horizontal em seu experimento para tratar esgotos domésticos e identificou uma boa remoção de $\text{NH}_4\text{-N}$, porém baixa produção de nitrato, atribuindo como a principal causa desta remoção a acumulação de detritos no material filtrante.

Souza *et al.* (2000) utilizaram sistemas por zona de raízes de fluxo horizontal para tratar esgotos provenientes de reator UASB e obtiveram uma eficiência média de remoção de $\text{NH}_4\text{-N}$ variando de 76-87%, com um tempo de detenção médio de 10 dias. Com esta remoção, obteve-se uma concentração média efluente aos sistemas por zona de raízes de 6,0mg/l, um pouco acima ainda do limite preconizado pela Resolução Federal 357/2005 do CONAMA, que estipula 5mg/l como o valor máximo.

Com relação às concentrações de $\text{NH}_4\text{-N}$ efluente aos sistemas por zona de raízes, verifica-se que todos os valores estão de acordo com os limites preconizados pela Legislação Federal (Resolução CONAMA 430/2011), que estipula em 20mg/l. A amostra que apresentou a maior

concentração de Nitrogênio Amoniacal efluente foi a da coleta efetuada no dia 9/05/2011, em que a eficiência de 43% propiciou uma concentração efluente de 5,4mg/l.

Em boa parte das amostras houve uma redução do nitrato com uma pequena variação entre concentração de entrada e saída, exceto para a coleta do dia 9/11/2010, em que a concentração do efluente teve um pequeno acréscimo e na coleta do dia 22/02/2011, em que a concentração afluente foi muito elevada em relação às outras. No primeiro caso existe a questão do sistema estar em sua fase inicial de operação (23 dias), iniciando o processo de estabilização e formação das colônias bacterianas, mais especificamente as bactérias *nitrosomonas* responsáveis pela desnitrificação. No segundo caso, do dia 22/02/2011, a coleta foi efetuada 5 (cinco) dias após o retorno das aulas, após recesso de 52 (cinquenta e dois) dias. Devido a esse elevado tempo de detenção dos esgotos nas unidades de pré-tratamento, houve a oxidação de praticamente todos os compostos de nitrogênio amoniacal. Apesar de a tubulação de saída ter sido erguida para manter as plantas com maior tempo imerso possível, foi visível a carência de nutrientes no sistema e consequentemente a morte de algumas macrófitas e enfraquecimento de outras. Esta situação ocasionou uma diminuição na remoção do nitrogênio (gráficos - Figuras 19 e 20) até a revitalização e germinação de novas plantas, situação notada a partir do mês de maio.

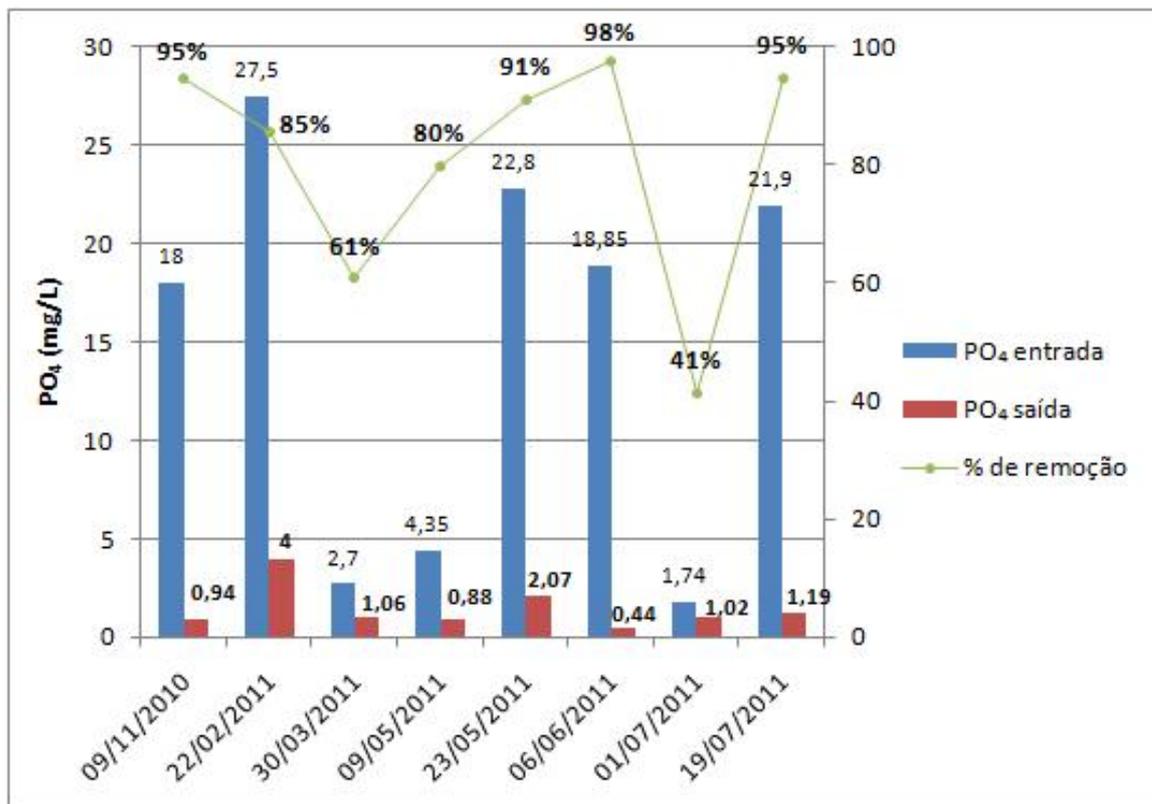


FIGURA 19: variação dos valores do fósforo, entrada e saída do sistemas por zona de raízes no período avaliado

Os principais mecanismos para remoção de fósforo em sistemas por zona de raízes construídos são: adsorção pelas plantas, acréscimos no material filtrante, imobilização microbiana e precipitação na coluna d'água (KADLEC, 1997; DIAZO *et al.*, 1994).

Com relação à quantidade de fósforo que pode ser removida pela poda das plantas, incorporada na biomassa das macrófitas, isso constitui uma pequena fração relativa à quantidade de fósforo contida no esgoto, sendo que a forma mais expressiva é adsorção e sedimentação no material filtrante. Porém este processo é um tanto limitado, ou seja, uma vez que o material é saturado, será lavado e retornado para o meio (MANN, 1997; DRIZO *et al.*, 1999).

A remoção de fósforo relativo ao fósforo inorgânico (ortofosfato) foi bastante eficiente em praticamente todas as amostras, com exceção da coleta do dia 1/07/2011, quando houve uma eficiência de 41% (gráfico da Figura 18). Embora a eficiência tenha sido baixa, a concentração efluente se manteve bastante reduzida (1,19mg/l). As baixas concentrações afluentes encontradas no período de estudo, como pode ser visto na Figura 18, se devem principalmente às chuvas ocorridas anteriormente à coleta. Estas chuvas acabavam infiltrando nas caixas de passagem a montante do ponto de coleta e ocasionavam certa

diluição nos afluentes dos sistemas por zona de raízes. As demais concentrações afluentes tiveram uma variação entre 18-27,5mg/l.

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

Chung *et al.* (2008) avaliaram dois sistemas por zona de raízes construídos de fluxo subsuperficial e obtiveram eficiências médias de remoção de PO₄-P de 79% e 72% em cada unidade experimental, diferindo no tempo de detenção, que foi de 10 dias e 5 dias respectivamente. Olijnyk *et al.* (2007) realizaram uma análise comparativa entre 4 sistemas por zona de raízes de fluxo horizontal operando em escala real em distintas cidades do Estado de Santa Catarina, mais especificamente em Florianópolis, Videira, Balneário Camboriú e São Joaquim.

Para cada unidade obteve-se eficiência média de PO₄ de 78%, 40%, 40% e 55% com tempos de detenção hidráulica de 10-1,6-1,4 e 1,7 dias respectivamente. Dornelas (2008) reporta uma eficiência média de remoção para ortofosfato de 46% para um tempo de detenção de 1,2 dias. Nesse caso, o autor utilizou um sistema de zona de raízes de fluxo horizontal, tratando efluente proveniente de um sistema UASB. As macrófitas utilizadas foram a *typha sp.*

Ghosh e Gopal (2010) estudaram quatro sistemas por zona de raízes de fluxo horizontal variando os tempos de detenção de 1 a 4 dias. As eficiências médias alcançadas foram de 11,6%, 21,1%, 31,9% e 46% para TDH de 1, 2, 3 e 4 dias e cargas aplicadas (PO₄-P m⁻² d⁻¹) de 1,08-0,42-0,28 e 0,27 respectivamente.

4.1.3.2 Remoção de microrganismos patogênicos

As análises relativas aos coliformes foram realizadas em três datas, sendo uma no mês de novembro de 2010 e as outras duas no mês de julho de 2011. O número de amostras para esse parâmetro foi reduzido em relação aos outros devido ao limite de análises que o SAMAE pôde viabilizar, sendo necessário priorizar algumas para que não se comprometesse a pesquisa.

Col. Totais

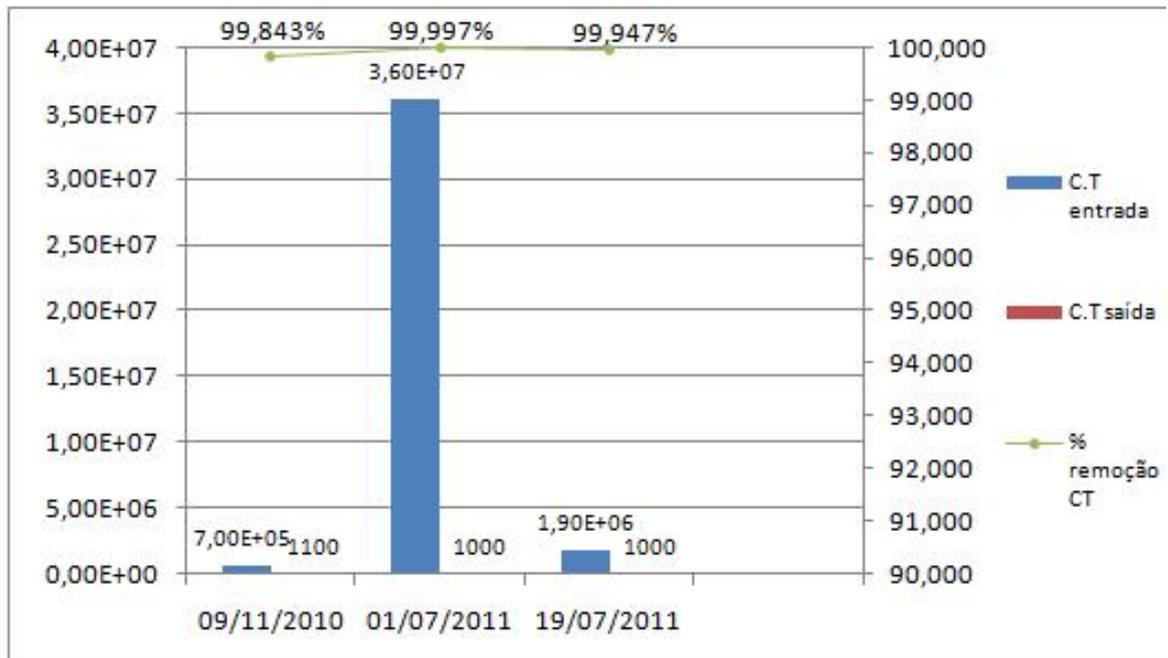


FIGURA 20: Valores absolutos de entrada e saída e eficiências de remoção de C.T.

E. Coli

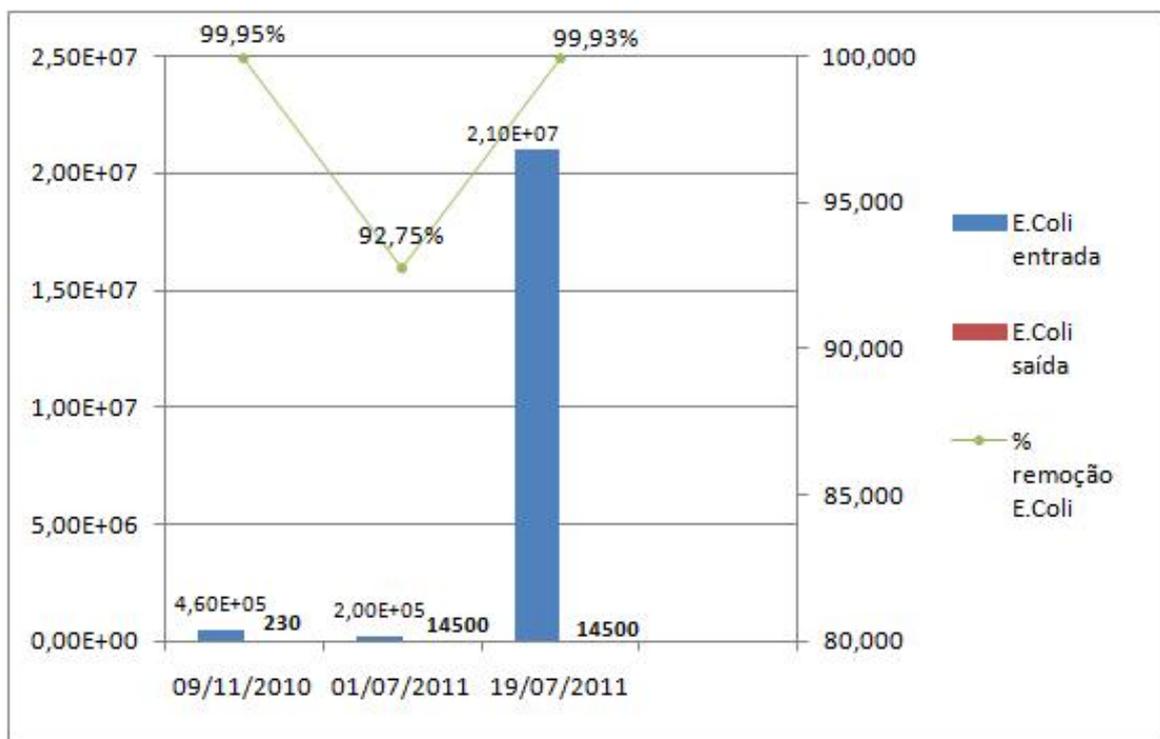


FIGURA 21: Valores absolutos de entrada e saída e eficiência de remoção de *E. Coli*

As análises relativas aos coliformes foram realizadas em três datas, sendo uma no mês de novembro de 2010 e as outras duas no mês de julho de 2011. O número de amostras para esse parâmetro foi reduzido em relação aos outros devido ao limite de análises que o SAMAE pôde viabilizar, sendo necessário priorizar algumas para que não se comprometesse a pesquisa.

Como pode ser visto nos gráficos das Figuras 20 e 21, o sistema apresentou valores bastante altos de remoção, todos acima de 99% para *Coliformes totais* e *E. coli*, com exceção da amostra do dia 1/7/2011, que atingiu 92,75%.

Os principais mecanismos de remoção de organismos patógenos em sistemas do tipo zona de raízes são morte natural, sedimentação, filtração, absorção pela matéria orgânica, exposição aos biocidas excretados pelas raízes de algumas macrófitas, características químicas desfavoráveis da água, efeitos da temperatura, predação por outros organismos, tempo de detenção no sistema e a radiação solar (KADLEC E KNIGHT, 1996).

A eficiência média de remoção de *C. totais* e *E. Coli* no sistema zona de raízes foram de 99,93% e 97,54% respectivamente. As eficiências elevadas com relação aos coliformes (gráficos das Figuras 20 e 21) se devem principalmente ao elevado tempo de detenção médio dos esgotos no sistema (13 dias), promovendo maior contato dos esgotos com as plantas e o material filtrante, favorecendo os mecanismos de predação, sedimentação e maior ação dos biocidas excretados pelas raízes das macrófitas.

Toet *et al.* (2005) avaliaram um sistema de tratamento do tipo zona de raízes de fluxo horizontal e obtiveram uma eficiência de remoção em termos de *Escherichia Coli* de 92%, com um tempo de detenção no sistema de 2,4 dias em média e taxa de aplicação hidráulica de 25cm dia⁻¹.

Para os *Coliformes Totais*, todas as amostras apresentaram valores inferiores ao limite máximo preconizado pelo Decreto Estadual 14.250/1981, que estipula em 5.000 NMP/100ml para um rio de classe 2. A Resolução Federal do CONAMA não estabelece limites de Coliformes para efluentes.

Ainda para o rio de classe 2, o Decreto Estadual limita em 1.000NMP/100mL para *Escherechia Coli*. A primeira amostra do dia 9/11/2010 se mostrou bem abaixo desse limite, porém as outras duas do mês de julho de 2011 ficaram acima do valor máximo. Apesar de o sistema não dispor de nenhuma unidade química de remoção de

coliformes, como o cloro, por exemplo, o sistema zona de raízes apresentou uma performance muito promissora para a remoção destes organismos patogênicos de forma natural.

Após a interligação do ginásio de esportes e eventuais residências que possam ser tratados pelo sistema zona de raízes por gravidade, estima-se que haja um incremento na vazão de aproximadamente 2,37m³/dia, quando o tempo de detenção hidráulico diminuirá para aproximadamente 9,7 dias. Por mais que haja um incremento de vazão no sistema, ainda assim manterá uma taxa aplicada bastante baixa, indicando que haja um desempenho satisfatório para longo prazo.

4.2 SUSTENTABILIDADE E A PESQUISA-AÇÃO PARTICIPATIVA NA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DO SISTEMA.

O presente trabalho consistiu em implantar um sistema de tratamento de efluentes que se enquadrasse ao máximo em todas as dimensões da sustentabilidade; trazer para o conhecimento de todos uma alternativa simples e eficiente de tratamento de efluentes e capacitar os envolvidos na resolução de seus problemas ambientais. Utilizando como base os fundamentos metodológicos da pesquisa-ação, o projeto conciliou a avaliação de um sistema do tipo zona de raízes sob certas condições ambientais, conciliando a resolução de um problema e a capacitação e conscientização de todos os participantes.

Para avaliar a sustentabilidade de um sistema é preciso comparar o sistema a ser implantado com o sistema existente, levando em conta os incrementos social, cultural, ambiental e econômico da nova situação.

Os processos participativos para implantação do sistema, considerando as discussões em cada etapa de execução e as intervenções do prefeito, vereadores e secretários, possibilitaram uma maior credibilidade e confiabilidade ao projeto a ser executado perante toda a comunidade envolvida. Dessa forma, essa dimensão política possibilitou o acesso da comunidade escolar ao conhecimento de uma técnica não convencional e incentivou práticas de democracia entre os envolvidos.

No momento da inauguração do sistema, com a presença de autoridades políticas e representantes de entidades públicas e privadas, ocorreu uma breve apresentação do sistema de tratamento pelos alunos e professores da escola para todo o público presente. Isso demonstrou o forte exercício de cidadania exercido pelos alunos nas questões

ambientais e o carinho e soberania pelo sistema implantado, uma vez que cada participante contribuiu de alguma forma para que se viabilizasse a conclusão da obra da forma como foi concebida.

A dimensão econômica foi bastante evidente para todos os envolvidos no projeto devido à utilização de recursos locais de baixo custo e fácil aquisição, como os tubulões usados na construção dos tanques e filtros anaeróbios e no próprio material filtrante dos sistemas por zona de raízes. A própria participação dos alunos, de forma lúdica, no plantio das mudas, por exemplo, deixou evidente que se tratava de uma tecnologia simples, acessível e barata, pois não havia nenhum tipo de estrutura ou equipamento que não fosse comum para todos.

A dimensão cultural interferiu no sentido de que com a implantação da nova tecnologia ocorreram algumas mudanças nos hábitos escolares, desde a geração de efluente e uso consciente da água até o fato de que a comunidade escolar fará continuamente a operação, uso e manutenção do sistema. Essa percepção foi sendo incrementada desde as discussões ainda na fase exploratória do projeto e foi efetivamente incorporada na linha de ação pedagógica, permitindo aos alunos discutirem e vivenciarem a importância do sistema implantado no contexto ambiental e as diversas formas de preservar o meio ambiente através de algumas mudanças de hábitos.

O novo sistema propiciou uma mudança no processo de ensino, principalmente das aulas de ciências. A partir do início do funcionamento da estação houve muitas aulas práticas, nas quais os alunos puderam entender com muito mais clareza os processos e fenômenos envolvidos em um sistema de tratamento de esgoto. O KIT de análises foi utilizado não somente para o monitoramento do sistema, mas também durante as aulas, pois as amostras eram coletadas da entrada, saída e dos córregos adjacentes à escola. Os educadores conheceram na prática a diferença entre uma água poluída e uma água de boa qualidade e os diversos parâmetros de avaliação e controle. A linha pedagógica e as próprias aulas de ciências nas quais se utilizou o sistema como modelo de evidência foi fundamental para os alunos perceberem a importância do sistema zona de raízes.

Pela avaliação dos questionários e das entrevistas de apoio com os estudantes pôde-se comprovar que 100% dos alunos se mostraram muito satisfeitos com o sistema de tratamento de efluentes da escola, sendo que os mesmos destacaram os vários benefícios ambientais e para a saúde de todos os integrantes da comunidade escolar.

A dimensão ambiental pode-se dizer que exerceu maior influência na episteme dos alunos. Antes da implantação do sistema de

tratamento, havia uma fossa negra na escola que continuamente transbordava e os esgotos escorriam a céu aberto pelo pátio. Essa situação trazia diversos inconvenientes para os funcionários porque, além do mau cheiro, apresentava sérios riscos de contaminação por doenças de veiculação hídrica. Depoimentos relatados pelos alunos durante a linha pedagógica afirmam que eles tinham dificuldade de fazer o lanche, pois perdiam o apetite com o forte cheiro exalado pelos esgotos. Ao lado da antiga fossa existe um sistema de captação de água através de poço artesiano, que abastece 90% do distrito da Barra do Leão. Essa captação estava sujeita à contaminação iminente pela infiltração dos esgotos a menos de dois metros do ponto de captação. Após a implantação do sistema zona de raízes, o antigo sistema precário foi desativado e os esgotos direcionados para a nova unidade.

4.2.1 Limites da pesquisa-ação participativa

O processo participativo é uma excelente oportunidade para que as pessoas tenham acesso às informações e exponham suas opiniões. Como esse processo requer um tempo para que todos os participantes obtenham graus semelhantes de compreensão de todas as etapas e dimensões, neste trabalho houve algumas limitações com relação à participação da comunidade na escolha do sistema a ser implantado.

A linguagem a ser utilizada em processos de pesquisa-ação participativa deve ser bastante avaliada para se adequar ao nível cultural e intelectual das pessoas. A dificuldade de conversa entre atores e autores pode comprometer todo o trabalho social da pesquisa. Por isso, o planejamento estratégico na comunicação é de fundamental importância para o êxito na pesquisa-ação participativa.

Desse modo, considerando o curto tempo disponível para que fosse implantado e avaliado o funcionamento do sistema, a etapa de escolha do tipo de sistema a ser colocado em prática na escola não foi explorada, pois já havia uma proposta concreta de um sistema do tipo *wetland*. Caso houvesse uma discussão prévia com a comunidade para a escolha da melhor tecnologia de tratamento de esgoto a ser implantada na escola, esta seria desgastante, pois não haveria tempo hábil para a apresentação e assimilação de embasamentos técnicos que oportunizassem uma discussão construtiva.

Assim, na primeira reunião com a comunidade, ocorrida no mês de abril de 2010, foi apresentada a proposta de construção de um sistema de tratamento de esgoto do tipo zona de raízes, ilustrado com

fotos e projeto executivo. Nessa primeira apresentação, o tipo de tecnologia e sua concepção tiveram total aprovação da comunidade presente, sem que se questionasse outras possibilidades.

Percorridos doze meses do projeto, ficou evidente a evolução cognitiva de todos os atores alusiva aos processos de tratamento de esgotos e sua importância nas questões ambientais, com bom incremento na capacidade de decisão de cada um na escolha de uma melhor alternativa de tratamento de efluentes e na resolução de seus problemas ambientais.

4.2.2 Síntese das dificuldades surgidas

Em se tratando de um trabalho de pesquisa-ação participativa, é fundamental que haja um constante diálogo em cada etapa da pesquisa. Esse diálogo demanda certo tempo, em virtude dos compromissos de cada um e conseqüentemente a dificuldade de ter um número expressivo de participantes em uma determinada prática.

Como no caso deste trabalho o enfoque foi mais direcionado à comunidade escolar, tornou-se mais fácil interagir com os atores. Quando a dinâmica envolvia a comunidade local, a dificuldade de participação era um pouco maior, pois estavam presentes somente as pessoas realmente interessadas em aprender e discutir as questões ambientais.

Outro impasse da pesquisa-ação participativa diz respeito à incompatibilidade de tempos, ou seja, há dificuldade em conciliar o tempo da pesquisa com o tempo da ação. Muitas ações que necessitavam de trabalhadores braçais, como encanador e pedreiro, que têm seus tempos restritos, não puderam ser conciliadas com o tempo disponível dos alunos e professores da escola, por exemplo, para que estes últimos pudessem acompanhar e discutir o que estava sendo executado. Estas incompatibilidades ocorriam geralmente nos finais de semana, quando os funcionários do SAMAE estavam disponíveis, mas não havia aula na escola.

Houve também um atraso das atividades com relação ao previsto no cronograma inicial. Como se dependia de aprovação de projetos para o recebimento de verbas, os trâmites burocráticos encurtaram bastante esse tempo. Caso fosse respeitado o cronograma inicial, o sistema teria quatro meses a mais de funcionamento, o que possibilitaria uma melhor avaliação da performance dos sistemas por zona de raízes na remoção dos poluentes e dos processos operacionais.

5 CONCLUSÕES E NOVAS QUESTÕES

5.1 CONCLUSÕES

Com relação aos resultados obtidos no desempenho dos sistemas por zona de raízes como pós-tratamento de tanque séptico e filtro anaeróbio, pode-se concluir que:

- A eficiência de remoção de matéria orgânica no sistema zona de raízes, medida através da DBO e DQO, foi bastante eficaz, com média de 72,1% e 77,4% de eficiência respectivamente. Estes valores mostram que o sistema zona de raízes de fluxo horizontal apresenta um bom desempenho na remoção de matéria orgânica dissolvida e particulada, garantindo maior possibilidade no atendimento às legislações pertinentes.
- A eficiência média de remoção de $\text{NH}_4\text{-N}$ de 80,7% apresentou um resultado bastante satisfatório para um tratamento em nível terciário. Na concepção adotada, com tempo de retenção hidráulico médio de 13 dias, se faz necessária uma grande área para aplicação de sistemas semelhantes, sendo, muitas vezes, inviável sua utilização em grandes comunidades, ou aglomerados urbanos.
- A remoção de fósforo foi bastante significativa, com pouca variação no período de avaliação do sistema, atingindo uma média de 80,7% de eficiência de remoção. Como o período de avaliação foi relativamente curto (oito meses), não foi possível avaliar o limite de saturação deste parâmetro no sistema, com sua liberação nos efluentes, como registrado em outros estudos semelhantes.
- O sistema, na concepção em que foi apresentado, obteve um bom desempenho na remoção de organismos patogênicos em termos de *Col. Totais* e *E. Coli*. Não se pôde avaliar uma possível interferência dos efeitos sazonais na remoção deste parâmetro devido ao restrito número de análises realizadas.
- A relação comprimento:largura de 1,57:1 adotada no projeto facilitou o surgimento de caminhos preferenciais no sistema, em virtude da dificuldade em distribuir, de forma homogênea, o afluente por todo o perfil transversal. Essa situação foi evidenciada pelo próprio desenvolvimento das plantas, que foi maior na região central do filtro.

No tocante à socialização da tecnologia do sistema zona de raízes, pode-se concluir que:

- Os processos participativos são mais eficazes quando se tem parcerias com entidades públicas e privadas, de modo que todos se sintam como parte integrante de um processo, com participação efetiva nas tomadas de decisões. É necessário ter certa consciência do problema e do caminho a ser percorrido para que o problema seja solucionado. A linguagem precisa ser acessível, de acordo com o nível cultural dos envolvidos, levando em consideração seus hábitos e costumes.
- A pesquisa-ação participativa foi utilizada de forma a possibilitar o acesso de toda a comunidade da Barra do Leão, em especial a comunidade escolar, às técnicas não convencionais de tratamento de esgoto, com características mais sustentáveis. A implantação de uma tecnologia de forma participativa e cooperativa, conforme observado no decorrer do projeto, despertou um pensamento crítico nas pessoas e oportunizou maiores engajamento por parte da comunidade na resolução de seus problemas ambientais.
- O ambiente escolar, por ser institucional, é o local onde os estudantes estão em pleno processo de aprendizagem. Nele, está-se formando cidadãos e ensinando princípios e boas práticas. Representa, portanto, um espaço de socialização de conhecimentos e evidências. Nesse espaço público e de educação, o sistema zona de raízes serviu como uma valiosa ferramenta de educação ambiental, tanto nas dinâmicas do projeto quanto nas aulas práticas nas disciplinas de ciências. O fato de ser um ambiente público possibilitou a visita frequente de interessados, garantindo maior socialização da tecnologia, bem como despertou o interesse das pessoas em preservar o meio ambiente e melhorar a qualidade de vida da comunidade.
- O sistema atingiu satisfatoriamente os princípios da tecnologia social e sustentável devido à fácil manutenção e operação, sem a necessidade de uso de equipamentos sofisticados e ausência de consumo de energia elétrica, bem como pela boa eficiência de remoção de poluentes, segundo os padrões legais.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Para a implantação e operação do sistema por zona de raízes de fluxo horizontal subsuperficial recomenda-se algumas ações que podem auxiliar a uma melhor avaliação dos processos, quais são:

- Modificação do sistema de distribuição do afluente com a utilização de calhas vertedoras, que possibilitem uma distribuição homogênea ao longo da seção transversal de alimentação e, também, uma melhor manutenção e limpeza.
- Aumento da relação entre o comprimento:largura para evitar caminhos preferenciais no sistema e conseqüentemente menor tempo de retenção do afluente.
- Análise de Nitrito e Nitrogênio total para melhor avaliar os processos de nitrificação e desnitrificação.
- Análise da possibilidade de reutilização do efluente a fim de incrementar a sustentabilidade econômica do sistema, como no aproveitamento agrícola e/ou criação de animais para dessedentação ou piscicultura, por exemplo.
- Avaliação do sistema por um maior período de tempo, para poder avaliar os processos de saturação no tratamento de alguns poluentes, e as necessidades operacionais que demandariam nesse período.
- Maior avaliação e controle dos espécimes vegetados com podas frequentes e análise do tecido vegetal.
- Melhor controle da vazão de entrada e saída do sistema através de macromedidores eletromagnéticos adaptados a um “*data logger*” para armazenamento dos dados. Este dispositivo seria um tanto oneroso para o sistema, que visa uma aplicação sustentável, porém permitiria maior precisão nos valores das taxas e cargas aplicadas.
- Análise físico-química da areia a fim de detectar os teores de Al^{+3} , Fe^{+3} e Ca^{+2} e avaliar o potencial de remoção de fósforo dissolvido em função desses íons metálicos.

Com base na pesquisa-ação participativa para a implantação e operação do sistema por zona de raízes de fluxo horizontal subsuperficial, seguem algumas recomendações:

- Maior participação das famílias locais nos processos construtivos do sistema.
- Um maior envolvimento de pesquisadores na participação e motivação da pesquisa-ação.

- O tempo entre o início do funcionamento pleno do sistema e o encerramento das atividades foi muito curto, impossibilitando a resposta de algumas perguntas: Qual o grau de satisfação da comunidade? A comunidade escolar poderá operar o sistema de forma adequada? O sistema motivou a implantação de outras unidades semelhantes na comunidade da Barra do Leão? Essas perguntas requerem um maior período para serem avaliadas e respondidas.

Enfim, a implantação de tecnologias compatíveis com as condições ecológicas, sociais, econômicas e culturais traz importantes resultados para a sustentabilidade do sistema. O envolvimento da comunidade nas principais decisões fomenta a cidadania dos envolvidos e conseqüentemente a responsabilidade de manterem um empreendimento de posse da comunidade, pois a reconhecem como parte integrante do ambiente natural e social, qualidade de vida e desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

AISSE, M. M. **Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro-RJ: ABES, 2000. 192 p.

AKRATOS, C. S.; PAPASPYROS, J. N. E.; TSIHRINTZIS, V. A. An artificial neural network model and design equations for BOD and COD removal prediction in horizontal subsurface flow constructed wetlands. **Original Research Article Chemical Engineering Journal**. vol. 143, Issues 1-3, 15 September 2008, p. 96-110.

ALEM SOBRINHO E TSUTIYA. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. São Paulo: Winner Graph, 1999.

ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T.. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 2. ed. São Paulo: PHD, 2000. v. 1. 568 p.

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: APHA, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-7229: projeto, construção operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.15p.

BELLEN, H. M. V. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2007.

BITTENCOURT, C. ; DOS SANTOS, G. E.. Tratamento descentralizado de esgotos sanitários. In: 22º **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2003, Joinville - Santa Catarina. **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

BRASIL/FUNASA, 2011 – Disponível em:
<<http://www.funasa.gov.br/internet/ProAceCresIV.asp>>. Acesso em: 23/08/2011.

BRASIL. **Lei n. 9.795, de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a política nacional de Educação Ambiental

e dá outras providências. Disponível em:

<www.planalto.gov.br/ccivil/Leis/L9795.htm>. Acesso em: jun. 2010.

BRASIL. Lei Nº 12.188, de 11 de janeiro de 2010. Institui a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural para a Agricultura Familiar e Reforma Agrária - PNATER e o Programa Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural na Agricultura Familiar e na Reforma Agrária - PRONATER, altera a Lei no 8.666, de 21 de junho de 1993, e dá outras providências. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12188.htm>. Acesso em: 01/09/2011.

BRASIL/IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2003.

Censo demográfico 2000. Brasília, 2003. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/default.shtm>>. Acesso em: 19 abr. 2007.

BRASIL/MMA. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005.

Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>.

Acesso em: 01/09/2011.

BRIX, H. (1987). Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants: the root zone method. **Wat. Sci. Technol.** vol. 19, p. 107-118.

BRIX, H. "Macrophytes play a role in constructed treatment wetland" **Wat. Sci. Tech.**, 1997. V. 35, nº 5, pp. 11-17.

BRIX, H. Function of macrophytes in constructed wetlands. **Water Sci. Technol.**, v. 29, n. 4, p. 71-78, 1994.

CERATI, Tania Maria; LAZARINI, Rosmari Aparecida de Moraes. A pesquisa-ação em educação ambiental: uma experiência no entorno de uma unidade de conservação urbana. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 2, p. 383-92, 2009.

CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte, Projeto PROSAB, 2001, 544 p.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. Programa de pesquisa em saneamento básico (Brasil). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**: aspectos metodológicos. Belo Horizonte: PROSAB, 2001. 107p

CHIZZOTTI, A **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. São Paulo: Cortez, 1995.

CHUNG, A. K. C.; WU, Y.; TAM, N. F. Y.; WONG, M. H. Nitrogen and phosphate mass balance in a sub-surface flow constructed wetland for treating municipal wastewater. **Ecological Engineering**. vol. 32, Issue 1, 3 January 2008, p. 81-89

CONSTRUCTED WETLAND FOR ANIMAL WASTE TREATMENT. A manual on performance, design and operation with case histories. Gulf of Mexico, Program Nutrient Enrichment Committee. Alabama Soil and Water Conservation Committee (ASWCC). 1997.

COOPER, P. F., JOB, G. D., GREEN, M. B. e SHUTES, R. B. E. “Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment”, Swindon: **WRc plc**. 1996. 184p.

COOPER, P. F.; JOB, G. D.; GREEN, M. B. E.; SHUTES, R. B. E. (1996). Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment. Swindon: WRc plc. 184 p.

COOPER, P. F.; JOB, G. D.; GREEN, M. B.; SHUTES, R. B. E. (1996). Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment. Swindon: **WRc plc**. 184 p

CRITES, T. E TCHOBANOGLOUS, G. (1998). **Small and decentralized wastewater management systems**. Singapore: MacGraw Hill International Editions. 1084 p.

DAGNINO, R.. **Tecnologia social: retomando um debate**. Espacios (Caracas), Caracas, Venezuela, v. 27, n. 2, p. 1-18, 2006.

DIAZO, A.; REDDY, K. R.; MOORE, P. A. (1994). Solubility of inorganic P in stream water as influenced by pH and Ca concentration. **Water Res.** 28, 1755–1763.

DORNELAS, F. P. **Avaliação do desempenho de wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**. 2008. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG.

DRIZO, A.; FROST, C. A.; GRACE, J.; SMITH, K. A. (1999). Physicochemical screening of phosphate-removing substrates for use in constructed wetland systems. **Water Res.** 33 (17), 3595–3602.

EMBRAPA. Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento. Pronapa 2005. **Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento da Agropecuária**. Pronapa, Brasília, v.31, p.1-146, 2005.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos da Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência. 1988. 575p.

FONSECA, A. R. **O Emprego de biosistemas integrados para programa de saneamento ecológico no Brasil**. 2007. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Escola Nacional de Saúde Pública.

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

GREENWAY, M.; WOOLLEY, A. Constructed wetlands in Queensland: performance efficiency and nutrient bioaccumulation. **Ecological Engineering** 12 (1999) 39–55.

HABERL, R.; PERFLER, R.; MAYER, H. (1995). Constructed wetlands in Europe. **Water Sci. Technol.** vol. 32, p.305/315.

IWA Specialis Group on Use of Macróphytes in Water Pollution (2000). Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation. **Scientific and Technical Report**, nº. 8. London, England: IWA Publishing. 156p.

IWA SPECIALIST GROUP ON USE OF MACROPHYTES IN WATER POLLUTION. “Constructed wetlands for pollution control: processes, performance, design and operation”. **Scientific and Technical Report**. nº 8. London, England: IWA Publishing, 2000. 156p.

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.

KADLEC, R. H. (1997). An autotrophic wetland phosphorus model. **Ecol. Eng.** 8, 145–172.

KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L. Treatment Wetlands. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1996. 893 p.

KAICK, Tamara Simone Van; MACEDO, Carolina Ximenes de; PRESZNHUK, Roselis Augusta de Oliveira. Jardim ecológico - tratamento de esgoto por zona de raízes: análises e comparação da eficiência de uma tecnologia de saneamento apropriada e sustentável. In: **VI Semana de Estudos da Engenharia Ambiental UNICENTRO**, 2008. Irati. VI Semana de Estudos da Engenharia Ambiental, 2008.

KAMIYAMA, H. (1995). Sistema local de tratamento de esgotos (SLT): a alternativa paralela ao sistema de saneamento. In: **2º Seminário “Sistemas de tratamento de esgotos para áreas litorâneas”**. 24-25/nov. Bombinhas, SC.

KARATHANASIS, A. D.; POTTER, C. L.; COYNE, M. S. Vegetation effects on fecal bacteria, BOD, and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater. Agronomy Department, University of Kentucky, N-122K **Ag. Science North**, Lexington, KY 40546-0091, USA, 2003.

KARATHANASIS, A. D.; POTTER, C. L.; COYNE, M. S.. Vegetation effects on fecal bacteria, BOD, and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater. **Original Research Article Ecological Engineering**. vol. 20, Issue 2, May 2003, p. 157-169.

KHATIWADA, N. R.; POLPRASERT, C. Kinetics of fecal coliform removal in constructed wetlands. **Water Science and Technology**, vol 40, Issue 3, 1999, pages 109-116.

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

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

LIMA, Paulo Cesar Vicente; ROCHA, Jussara Machado Jardim; PRAÇA, Lidia; MAXIMO, K.. Pesquisa-ação de educação ambiental na comunidade de Santa Bárbara I - Montes Claros: um caminho para revitalização proposto pelo Ministério Público. **De Jure** (Belo Horizonte), v. 14, p. 146-154, 2010.

- LUIZ, Leliana Aparecida Casagrande. **Educação ambiental e desenvolvimento sustentável: gestão ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- MANN, R.A. (1997). Phosphorus adsorption and desorption characteristics of constructed wetland gravel and steelworks by-products. Austr. **J. Soil Res.** 35, 375–384.
- MANSOR, M.T.C. **Uso de leito de macrófitas no tratamento de águas residuárias**. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 1998. 106p. (Tese de Mestrado)
- MARQUES, D. M. Terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 409-435 (Projeto PROSAB).
- MARTINETTI, T. H. **Análise das estratégias, potencialidades e obstáculos para implantação de técnicas mais sustentáveis para tratamento de efluentes sanitários residenciais**. Caso Assentamento Rural Sepe–Tiaraju, Serra Azul – SP. São Carlos, 2009. 246p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana (PPGEU), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2009.
- MARTINEZ, L. M.; GERRITSEN, P. R. W.; CUEVAS, R.; ROSALES, J.. Incorporating principles of sustainable development in research and education in western Mexico. **Journal of Cleaner Production**. vol. 14 (2006) 1003e1009
- MAYO, A. W. Kinetics of bacterial mortality in granular bed wetlands. **Physics and Chemistry of the Earth**. vol. 29 (2004), p. 1259–1264.
- MENDONÇA, N. **Tratamento de esgoto sanitário empregando leito de reator expandido em escala plena em zonas anaeróbia e aeróbia sobrepostas: concepção, construção e operação**. 2004. 201p. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2004.
- METCALF; EDDY (1991). **Wastewater engineering treatment, disposal and reuse**. 3. ed. New York: McGraw-Hill. 1334p
- MIRANDA, A. B.; TEIXEIRA, B. A. N. Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas urbanos de

abastecimento de água e esgotamento sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 269-279, 2004.

MIRANDA, A. B.; TEIXEIRA, B. A. N. **Princípios específicos de sustentabilidade para sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário**. ECOURBS, Florianópolis, 2002.

OLIJNYK, Débora Parcias. **Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (wetlands) de fluxos vertical e horizontal: sistemas híbridos**. Florianópolis, 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pos-Graduação em Engenharia Ambiental.

OLIJNYK, Débora Parcias; SEZERINO, Pablo Heleno; FENELON, Fernando Resende; PANCERI, Bernardete; PHILIPPI, Luiz Sérgio. Sistemas de tratamento de esgoto por zona de raízes: análise comparativa de sistemas instalados no Estado de Santa Catarina. In: **24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2007, Belo Horizonte. CD Rom do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

PANT, H. K.; REDDY, K. R.; LEMON E. (2000). Phosphorus retention capacity of root bed media of sub-surface flow constructed wetlands. **Ecological Engineering** 17 (2001) p. 345–355.

PAULISTA, Geralda; MONTIBELLER, Gilberto; VARVAKIS, G. Espaço emocional e indicadores de sustentabilidade. **Ambiente e Sociedade** (Campinas), v. 11, p. 15-26, 2008.

PEDRINI, A. G.; JUSTEN, L. Avaliação em EA no contexto ibero-americano: estudo exploratório. **Anais do Congresso Ibero-americano de Educação Ambiental**, 2006.

PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO: 2008/IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 222p

PHILIPPI, L. S. Saneamento descentralizado: instrumento para o desenvolvimento sustentável. **Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2007.

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

PIESS; Marcos Charles. Avaliação de um sistema descentralizado de tratamento de esgoto sanitário compreendido de tanque séptico mais filtro anaeróbio, no município de Blumenau, SC. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS SERVIÇOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO. **Saneamento ambiental: a hora da solução**. Rio Grande do Sul: ASSEMAE, 2004. p.10.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 247p. ISBN 8586238120

PLATZER, C. “Design recommendation for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification”. **Wat. Sci. Tech.** 1999. vol. 40, nº 3, pp. 257-263.

REED S. C.; CRITES R. W.; MIDDLEBROOKS E. J. (1995). **Natural systems for waste management and treatment**. 2. ed. New York: McGraw Hill, p. 173-284.

RHEINHEIMER, C. G.; GUERRA, T. Processo grupal, pesquisa-ação-participativa e educação ambiental: uma parceria que deu certo. Rev. eletrônica **Mestr. Educ. Ambient.** ISSN 1517-1256, v. 22, janeiro a julho de 2009.

RHUE, R. D.; HARRIS, R. G. (1999). Phosphorus sorption/desorption reactions in soils and sediments. In: REDDY, K. R.; JANSSEN, M. (Eds.). Phosphorus in freshwater ecosystems. **Hydrobiologia**, vol. 170, p. 19-34.

RICHARDSON, C. J.; CRAFT, C. B. (1993). Effective phosphorus retention in wetlands: fact or fiction. In: MOSHIRI, G. A. (Ed.). **Constructed wetlands for water quality improvement**. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp. 271–282.

SALARO JUNIOR, R. **Avaliação da eficiência de sistema fitopedológico (*wetlands*) na depuração de efluentes domésticos gerados em pequena comunidade**. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Faculdade de Ciências Agrônomicas Campus Botucatu. Universidade Estadual Paulista, 153p.

SANTA CATARINA. Decreto Estadual n. 14.250, de 5 de junho de 1981. Regulamenta dispositivos da Lei n. 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e à melhoria da qualidade ambiental.

Disponível em:

<<http://sistemas.sc.gov.br/fatma/pesquisa/PesquisaDocumentos.asp>>.

Acesso em: 1/09/2011.

SANTOS, Rita Silvana Santana. **Saneamento e educação ambiental: a experiência do programa Bahia azul nas escolas**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFSC. Florianópolis, 2004.

SATO, M.; SANTOS, J. E. **Agenda 21**: em sinopse. São Carlos: UFSCar, 1999. 60 p.

SEZERINO, P. H. **Utilização de biofiltros com macrófitas (vertical constructed wetlands) como pós-tratamento de lagoas de estabilização aplicadas aos dejetos suínos**. 2002. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFSC.

SEZERINO, Pablo Heleno. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (*constructed wetlands*) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFSC. Florianópolis, 2006. 171 f.

SILVA, S. A. (2007). **Wetlands construídos de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 231p.

SILVA, S. R. M. **Indicadores de sustentabilidade urbana pública local e as dimensões da sustentabilidade: Estudo de caso Projeto Jaboticabal**. São Carlos, 2005. 256p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana (PPGEU). Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). São Carlos, 2005.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e esgoto. 2005. IBGE: Pesquisa nacional de saneamento básico - 2000. **Atlas do Saneamento**. BRASÍLIA: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2004.

SOUSA, José Tavares de; HAANDEL, Adrianus Cornelius Van; COSENTINO, P. R. S.; GUIMARÃES, A. V. A.. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas Wetlands construídos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 87-91, 2000.

SOUSA, José Tavares de; VAN HAANDEL, Adrianus C.; COSENTINO, Paulo Rogério da Silva; GUIMARAES, Adriana Valéria Arruda. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas "wetlands" construídos. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** [online]. 2000, vol.4, n.1, p. 87-91. ISSN 1415-4366.

SOUZA, W. T. Z. **Tratamento de efluentes de carcinicultura por dois wetlands artificiais pilotos, com e sem spartina alterniflora – perspectivas de aplicação.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Aquicultura. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Aquicultura. UFSC, 2003.

STRINGER, E. **Action research.** 2. ed. Thousand Oaks; Londres: Sage, 1999.

TANNER, C.C. Plants as ecosystem engineers in subsurface-flow treatment wetlands. **Water Science Technology**, v. 44, n.11-12, pp.9-17, 2001

THIOLLENT, M. **Crítica Metodológica, investigação e enquête operária.** 13. ed. São Paulo: Cortez. 2004.

THIOLLENT, M. J. M. **Metodologia da pesquisa-ação.** 17. ed. São Paulo: Cortez, 2009. 112p.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação.** 14. ed. São Paulo: Cortez, 2005a.

THIOLLENT, MICHEL. **Metodologia da pesquisa-ação.** 4. ed. São Paulo: Autores Associados – Cortez, 1988.

TOET, S.; RICHARD, S. P.; LOGTESTIJN, V.; SCHREIJER, M.; KAMPF, R.; JOS, T. A. VERHOEVEN. The functioning of a wetland system used for polishing effluent from a sewage treatment plant. **Original Research Article Ecological Engineering.** vol. 25, Issue 1, 20 July 2005, p. 101-124.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Manual constructed wetlands for municipal wastewater treatment. EPA 625-R-99-010, US EPA ORD, Cincinnati: Ohio, 2000.

VALENTIM, M. A. A. (2003). **Desempenho de leitos cultivados (“constructed wetland”) para tratamento de esgoto:** contribuições para concepção e operação. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. 233p

VAN KAICK, T. S., MACEDO, C. X. e 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 dos Estudos da Engenharia Ambiental**. 12p. Junho, 2008.

Von REED, S. C.; CRITES, R. W.; MIDDLEBROOKS, E. J. **Natural systems for management and treatment**. New York: McGraw-Hill, Inc. 435p. 1995

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3. ed. v.1 Belo Horizonte: **Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2005. 452 p.

VON SPERLING, M.. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. vol. 4. Lodos Ativados. 2.ed.. BELO HORIZONTE: DESA-UFMG, 2002. v. 1. 428 p.

WHO. **WORD HEALTH ORGANIZATION**. 2005 Deworming for health and development. Report of the third global meeting of the partners for parasite control. World Heath Organization. 51 pp.

WHO. **WORLD HEALTH ORGANIZATION**. 2010. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/envsan/sanitchallenge/en/index9.htm>. Acesso em 23 de março de 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE 1:

DESCRIÇÃO DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

O orçamento total do sistema resume-se nos gastos com materiais, mão de obra e hora máquina. Considerando que as máquinas foram cedidas pela Prefeitura Municipal de Campos Novos, e a mão de obra teve o auxílio da comunidade local, a Tabela 1 mostra os custos relativos somente aos materiais. Considera-se também que esse tipo de sistema, para atender a uma ou poucas unidades residenciais, deverá ser executado em regime de mutirão, em que as famílias auxiliam umas as outras no processo de construção e o custo final é quase nulo. Um dos propósitos do projeto foi justamente a motivação e a capacitação dos envolvidos na avaliação e implantação de sistemas semelhantes na resolução de seus problemas ambientais relativos à falta de saneamento.

Tabela 1: Custo do material utilizado

Materiais	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço total(R\$)
Tubo PVC 100mm(m)	48	9,09	436,32
Tubo PVC 60mm(m)	24	11	264
Tê 60mm(um)	4	6	24
Curva 90° 60mm(um)	6	23,41	140,46
Tubo concreto 80cm x 50cm(m)	3	103,34	310,02
Tubo concreto 80cm x 1m(m)	6	103,34	620,04
Tubo concreto 40cm(m)	4	17,53	70,12
Tubo concreto 30cm(m)	3	34,1	102,3
Lona PEAD 0,8 micra(m2)	280	9	2520
Fundo FA(um)	3	30	90
Tampão FoFo DN 30cm(um)	6	27,18	163,08
Tampão concreto DN 40cm(um)	5	10	50
Areia grossa(m3)	40	60	2400
Brita nº3(m3)	18	57,62	1037,16

Cimento			
Plantas wetland			0
Cerca(m)	70	20	1400
Total (R\$)			9627,5

Considerando que esse sistema foi projetado para atender a uma escola com 190 alunos, em tempo integral, pode-se dizer que o custo unitário por pessoa, em termos de materiais, incluindo o pré-tratamento, seria aproximadamente de R\$50,67. Com este porte, o sistema comportaria atender a uma unidade comercial ou familiar de consumo *per capita* de 150L/hab x dia, com 31,6 usuários. Neste caso, o valor unitário corresponderia a R\$304,00 por pessoa.

Este valor estaria dentro dos padrões da sustentabilidade econômica para atender a uma família de baixa renda com até cinco pessoas morando na mesma residência, considerado um valor médio de R\$ 1.000,00 gastos no sistema para um nível de tratamento secundário (MARTINETTI, 2009). O sistema zona de raízes apresenta ainda algumas vantagens com relação aos sistemas propostos pela autora acima, pois envolve um fator paisagístico e propicia ainda um nível de tratamento terciário, complementando o sistema de tanque séptico ou tanque séptico e filtro anaeróbio. Os sistemas de disposição do efluente, geralmente utilizados os sumidouros e as valas de infiltração, além de estarem enterrados não podem ser considerados uma forma de tratamento complementar (NBR 7229/1993), diferente das zonas de raízes que, além de propiciarem uma melhoria significativa na qualidade final do efluente, podem ser trabalhados de diversas formas sob o ponto de vista educativo e social.

APÊNDICE 2:

CARTILHA EDUCATIVA DESENVOLVIDA DURANTE A PESQUISA E COLOCADA À DISPOSIÇÃO DA COMUNIDADE



“O desenvolvimento sustentável depende de suas atitudes, reflita-as com carinho.”

Projeto Saneamento Rural

TRATAMENTO NATURAL DE ESGOTOS

- ZONA DE RAÍZES -

Simples e eficiente!!

SANAMENTO BÁSICO: COMPROMISSO COM A SAÚDE E O MEIO AMBIENTE”










“Saneamento básico: Compromisso com a saúde e o meio ambiente”

Fornecendo oxigênio pela raiz, as plantas criam condições ideais para as bactérias que se alimentam da matéria orgânica, além da retirada de nutrientes, como o nitrogênio e fósforo para o seu próprio crescimento. Já o material filtrante(areia) serve de substrato para as plantas e como um excelente mecanismo de filtração dos esgotos. Todos esse fatores interagem mutuamente propiciando um sistema simples, ecológico, barato e eficiente.



Figura 1: Implantação de um sistema wetland na Escola Municipal André Rebouças na zona rural do município de Campos Novos-SC, com a participação dos alunos.

VANTAGENS DO SISTEMA

- Alta durabilidade
- Baixa manutenção
- Requer pouco investimento para implantação
- Elimina até 99% dos coliformes fecais
- Remove até 90% de matéria orgânica
- Não produz mau cheiro nem insetos
- É um sistema natural
- Manutenção do ecossistema, podendo ser projetado dentro de parques, jardins e áreas verdes no intuito de adaptação paisagística

DESVANTAGENS

- Exige espaço a céu aberto
- As plantas sofrem se não houver alimentação contínua
- Se mal operadas pode haver escoamento superficial e ocasionar mau cheiro
- Requer pré-tratamento através de tanques sépticos

Materiais necessários

- Tubos PVC 100mm e 75mm
- Mudas de junco ou semelhantes;
- Lona plástica para vedação do sistema
- Brita nº 3
- Saibro ou cascalho
- Areia grossa

Métodos construtivos p/ esgotos domésticos

- Geralmente são utilizados os seguintes parâmetros:
- Área: 0,8 –4 m² por pessoa
- Profundidade: 0,7 metros
- Declividade: 1 % a 2% de calçamento
- Relação comprimento/largura: 1:4

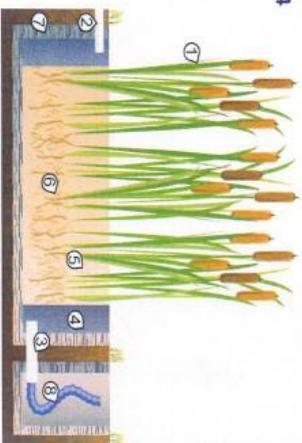


Figura 2: Esquema representativo de um filtro plantado de fluxo horizontal.

- 1) Macrófitas;
- 2) Tubulação de alimentação perfurada;
- 3) Tubulação de coleta perfurada;
- 4) Brita na zona de entrada e de saída;
- 5) Areia no leito filtrante;
- 6) Raízes e rizomas;
- 7) Impermeabilização da lateral e do fundo;
- 8) Tubulação de controle de nível.

Fonte: OLIJNYK, D.P.(2008).

APÊNDICE 3: IMAGENS DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE PESQUISA



Figura 1: Escavação dos filtros *wetlands*



Figura 2: Construção das tanques e filtros anaeróbios



Figura 3: Plantio das mudas com as crianças da escola



Figura 4: Filtro 1 e Filtro 2 em fase de acabamento



Figura 5: Primeira vivência com plantio das mudas



Figura 6: preparação de terraplanagem.



Figura 7: Retirada das mudas do ambiente natural



Figura 8: Filtro plantado com as mudas aparadas



Figura 9: Equipe participativa do projeto. Crianças e professores da escola