UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ANÁLISE E SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Renata Cornelli, M.Eng.

Porto Alegre
2014

RENATA CORNELLI

ANÁLISE E SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA. Área de concentração: Sistemas de Produção.

Orientadora: Lia Buarque de Macedo Guimarães, PhD. CPE

Porto Alegre
2014

RENATA CORNELLI

Esta tese foi julgada e considerada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

_____

Profª. Lia Buarque de Macedo Guimarães, PhD, CPE
Orientadora
PPGEP/UFRGS

_____

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr.
Coordenador
PPGEP/UFRGS

Porto Alegre, 30 de Abril de 2013.

Banca examinadora:

Profª. Ângela de Moura Ferreira Danilevcz, Drª.
PPGEP/UFRGS

Prof. Carlos Fernando Jung, Dr.
FACCAT

Profª. Gabriela Zubaran de Azevedo Pizzato, Drª.
Design/UFRGS

"...Confie em si mesmo!
QUEM ACREDITA SEMPRE
ALCANÇA!!"

Renato Russo – Mais uma vez

Agradecimentos

Minha gratidão,

Primeiro a Deus. Por estar sempre ao meu lado e nos momentos de fraqueza, nos quais pensei em desistir, nunca me abandonou.

Aos meus pais e irmã, pelo porto seguro constante.

Aos meus avós, principalmente ao Vô Zeferino, por me chamar de “seu orgulho” e é por ele que pretendo não parar por aqui.

Ao Rodrigo, por me fazer sempre estar com os pés no chão. Pelo amor e carinho.

Minha prima e amigona Pâmela, pelo incentivo e força na reta final.

Às meninas do NDES (Pri, Ângela e Gabi), nossas conversas, almoços e viagens. Sentirei uma saudade imensa.

À minha orientadora Prof. Lia, pela oportunidade, apoio e ensinamentos.

Aos professores do PPGEP da UFRGS, especialmente a Prof. Ângela Danilevicz, Prof. Amaral e Prof. Kliemann.

À prefeitura de São Marcos pela oportunidade de realizar este trabalho, em especial ao Arquiteto Joaquim e ao Engenheiro Ambiental Rodrigo Poggere.

Aos professores da banca pela contribuição.

À CAPES pelo incentivo financeiro.

RESUMO

Esta tese teve como objetivo principal identificar e avaliar alternativas de projetos sustentáveis de tratamento de esgoto. Para tanto, seguiu-se as seguintes etapas: i) revisão sistemática para levantar a literatura sobre métodos de tratamento de esgoto entre os anos 2002 e 2012; ii) levantamento da legislação federal e do estado do Rio Grande do Sul quanto aos parâmetros a serem atendidos em projetos de esgotamento , e da opinião da equipe técnica (responsável pelo tratamento de esgoto em concessionárias municipais e estaduais) sobre os requisitos legais e as prioridades no planejamento de ações de melhoria no controle; iii) levantamento da percepção ambiental dos moradores do município de São Marcos/RS e das soluções para os problemas de esgotamento sanitário da cidade. Eles propuseram quatro soluções para os problemas; iv) proposta de uma ferramenta computacional para auxiliar na seleção de alternativas sustentáveis (social, ambiental e economicamente) de tratamento de esgoto. Esta ferramenta foi desenvolvida para facilitar a tomada de decisão quanto ao melhor projeto, tendo em vista que são inúmeros os parâmetros (de cunho técnico, de legislação, ambientais, sociais - inclusive as expectativas dos moradores- e econômicos) a serem considerados em um projeto sustentável; v) teste da ferramenta, considerando as quatro alternativas de sistemas propostas pelos moradores de São Marcos/RS. A ferramenta foi considerada útil pelos técnicos da prefeitura apesar de terem proposto a exclusão de vários critérios (sociais e ambientais) já que eles (os técnicos) consideram os fatores econômicos os mais importantes. Não há razão para reduzir os 45 critérios da ferramenta, pois espera-se que ela seja um instrumento não só de tomada de decisão, mas também de conscientização para que os projetos sejam mais sustentáveis. Ela pode e deve ser testada em outros municípios de pequeno, médio e grande porte a título de validação.

Palavras-chave: métodos de tratamento de esgoto; sustentabilidade; seleção de alternativas; ferramenta computacional.

ABSTRACT

This thesis has as main objective the identification and evaluation of sewage treatment projects. It comprises the following: I) systematic literature review from 2002 to 2012, on articles discussing methods of sewage treatment; II) evaluation of the opinion of the technical staff (responsible for wastewater treatment in municipal and state utilities) about the parameters required by federal and state legislation and the priorities for an action and control plan; III) appraisal on the environmental perception of the residents of the municipality of Sao Marcos and their proposals for solving the dewatering problems; IV) proposal of a computational tool, auxiliary on the development of sustainable sewage treatment projects. A tool is necessary for handling the various variables (technical, economic, social and environmental) to be considered in order to achieve sustainability; V) testing of the tool, considering the four alternatives proposed by Sao Marcos residents. Technicians found the tool useful, although many criteria (social and environmental) were not necessary, since economics is the most important criteria. There is no reason to eliminate any of the 45 criteria, since the expectation is to use the tool as a means for introducing sustainability concepts in sewage treatment projects. The tool should be validated in other municipalities (small, medium and large).

Keywords: *sewage treatment methods; sustainability; alternatives selection; computational tool*

LISTA DE ABREVIATURAS

CHV - Carga Hidráulica Volumétrica
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONSEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente
COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CORSAN- Companhia Riograndense de Saneamento
CW ou SAC's- Sistemas Alagados Cosntruídos (*wetlands)*
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO- Demanda Química de Oxigênio
ETE- Estação de Tratamento de Esgoto
FASTE- Ferramenta de Análise de Sistema de Tratamento de Esgoto
IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MBR- Biorreator de membrana
N - Nitrogênio
P – Fósforo
PA- Planejamento Ambiental
OD – Oxigênio Dissolvido
O&M – Operação e Manutenção
PMSB- Plano Municipal de Saneamento Básico
POA- Processos Oxidativos Avançados
SAMAE – Sistema Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul

Lista de Figuras

Figura 1- Estrutura das etapas da pesquisa desenvolvida 19
Figura 2 - Doenças relacionadas ao esgoto 25
Figura 3 - Etapas da revisão sistemática 26
Figura 4 - Processo de seleção dos artigos 27
Figura 5 - Gráfico de Pareto com os métodos de tratamento levantados 29
Figura 6 - Ocorrência dos métodos por definição, operação e nível 31
Figura 7 - Correlação dos artigos selecionados 32
Figura 8 - Vantagens e desvantagens dos principais métodos de tratamento de esgoto obtidos com a revisão sistemática 37
Figura 9 - Composição qualitativa dos esgotos sanitários 46
Figura 10 - Progresso da legislação sobre lançamento de esgotos no Brasil e no Rio Grande do Sul. 47
Figura 11 - Comparativo entre as Resoluções CONAMA nº. 430/11 e CONSEMA nº. 128/06 e a importância dos principais parâmetros. 48
Figura 12 - Matriz Importância-Desempenho dos parâmetros de controle e sua importância em uma ETE. 53
Figura 13 - Conceitos de percepção ambiental 60
Figura 14 - Pesquisa sobre percepção ambiental realizada no Portal da Capes 61
Figura 15- Resumos dos estudos sobre percepção ambiental 66
Figura 16 - Localização do Município de São Marcos 67
Figura 17 - Mapa da rede hidrográfica do Município de São Marcos 68
Figura 18 - Arroio Gravatá. a) Nascente; b) Ainda limpo; c) Já poluído; d) Com manchas de contaminação 69
Figura 19 - Método de trabalho adotado no estudo 69
Figura 20 - Transformação das prospostas do tácito para o formal 71
Figura 21 - Dados importantes relacionados à pesquisa 75
Figura 22- Resumo das principais ferramentas para a seleção de sistemas de tratamento de esgoto 85
Figura 23 - Método utilizado no desenvolvimento da ferramenta para a seleção de alternativas de tratamento de esgoto 87
Figura 24 - Sistema de Lodos Ativados Convencional 88
Figura 25 - Banhado construído 89
Figura 26 - Reator UASB 89
Figura 27 - Lagoas de Estabilização 91
Figura 28 - Reator com Biofilmes 91

Figura 29 - Critérios qualitativos adotados na avaliação dos sistemas de tratamento de esgoto 97
Figura 30 - Município de São Marcos 112
Figura 31 - Cenário 01- Canalização e cobertura do arroio 114
Figura 32 - Cenário 02- Sistema de separador total 115
Figura 33 - Cenário 03 - Redes paralelas que serão ligadas a ETE 116
Figura 34 - Cenário 04 - Miniestações de tratamento de esgoto ao longo do arroio 116

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Aplicação da ferramenta “Design Macroergonômico” para a tabulação dos dados da questão 1: Em sua opinião, dos parâmetros listados abaixo, quais são os principais a serem controlados em uma Estação de Tratamento de Esgotos Domésticos? Enumere-os: 1 (mais importante) a 20 (menos importante) sem repetir a numeração... 51

Tabela 2 - Resposta da pergunta 2 sobre a dificuldade de tratamento dos parâmetros: “Dos citados na questão anterior, explicar quais (também em ordem de importância) você acha mais difícil controlar”? 52

Tabela 3 - Frequência dos métodos de tratamento de esgoto utilizados pelos especialistas consultados 52

Tabela 4: Eficiência na remoção de nutrientes e patógenos de alguns métodos de tratamento de esgoto..... 53

Tabela 5 - Caracterização da população entrevista em São Marcos..... 70

Tabela 6 - Relação da variável “sexo” (feminino-p1 e masculino-p2) com as respostas obtidas..... 71

Tabela 7 - Relação da variável “escolaridade” (ensino médio-p1, fundamental-p2 e superior-p3) com as respostas obtidas 72

Tabela 8 - Relação da variável “tempo de moradia na cidade” (só trabalha na cidade ou mora nela há menos de 10 anos-p1e mora na cidade há mais de 10 anos- p2) com as respostas obtidas 73

Tabela 9 - Resultados da Análise Multicriterial, via MAUT, de nove sistemas de tratamento de esgoto, avaliados por 10 especialistas 97

Tabela 10 - Custo da implantação de Estações de Tratamento em Caxias do Sul (RS)117

Tabela 11 - Custo da instalação de redes e ramais em diferentes municípios gaúchos 117

Tabela 12 - Comparação dos custos dos cenários 118

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

1.2 TEMA E OBJETIVOS 16
1.3 JUSTIFICATIVA 17
1.4 DELINEAMENTO DA PESQUISA 18
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO 20
1.6 REFERÊNCIAS 20

2. ARTIGO 1 – MÉTODOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA 23

2.1 INTRODUÇÃO 23
2.2 MÉTODO 26
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES 28
2.4 CONCLUSÃO 38
2.5 REFERÊNCIAS 39

3. ARTIGO 2 – A OPINIÃO DE ESPECIALISTAS SOBRE A DIFICULDADE E A IMPORTÂNCIA EM ALCANÇAR OS PARÂMETROS DE LANÇAMENTO DE ESGOTOS EXIGIDOS PELA LEGISLAÇÃO 42

3.1 INTRODUÇÃO 42
3.2 ESGOTO SANITÁRIO E SUA COMPOSIÇÃO 44
3.3 EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO 46
3.4 AVALIAÇÃO DA OPINIÃO DA EQUIPE TÉCNICA DE CONCESSIONÁRIAS RESPONSÁVEIS PELO TRATAMENTO DE ESGOTO 49
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 51
3.6 CONCLUSÃO 54
3.7 REFERÊNCIAS 55

4. ARTIGO 3 – PERCEPÇÃO AMBIENTAL DOS MORADORES DA CIDADE DE SÃO MARCOS-RS SOBRE AS CONDIÇÕES DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO 58

4.1 INTRODUÇÃO 58
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS 61
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES 70
4.4 CONCLUSÃO 76
4.5 REFERÊNCIAS 77

5. ARTIGO 4 – FERRAMENTA DE SUPORTE PARA A TOMADA DE DECISÃO DE ALTERNATIVAS SUSTENTAVEIS DE TRATAMENTO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO 81

5.1 INTRODUÇÃO 82
5.2 FERRAMENTAS PARA A ESCOLHA DE TECNOLOGIA A SER UTILIZADA NO TRATAMENTO DE ESGOTO 83
5.3 MÉTODO 86
5.3.1 – Etapa 1 – Identificação de alternativas ambientalmente viáveis 87
5.3.2 – Etapa 2 – Identificação de alternativas tecnicamente viáveis 92
5.3.3 – Etapa 3 – Conhecer a opinião da população sobre o esgotamento sanitário do Município 93

5.3.4 – Etapa 4 – Desenvolver uma ferramenta para suporte da avaliação de alternativas sustentáveis 94
5.4 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA 99
5.5 VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA 104
5.6 CONCLUSÃO 105
5.7 REFERÊNCIAS 106

6. ARTIGO 5 – ALTERNATIVAS PARA O PROBLEMA DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA CIDADE DE SÃO MARCOS-RS: UMA ANÁLISE COM BASE EM FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO 109

6.1 INTRODUÇÃO 109
6.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 111
6.3 COLETA DE DADOS 113
6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 118
6.5 CONCLUSÃO 121
6.6 REFERÊNCIAS 122

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 124

7.1 CONCLUSÃO 124
7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 125

APÊNDICE A 126

INSTRUMENTO DE LEVANTAMENTO UTILIZADO NO ARTIGO 3 126

APÊNDICE B 127

INSTRUMENTO DE LEVANTAMENTO UTILIZADO NO ARTIGO 4 127

APÊNDICE C 129

INSTRUMENTO DE LEVANTAMENTO UTILIZADO NO ARTIGO 2 129

APÊNDICE D 130

FASTE (FERRAMENTA PARA ANÁLISE DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO) 130

APÊNDICE E 134

ADAPTAÇÃO DA FASTE PARA OS CENÁRIOS PROPOSTOS PELOS HABITANTES DO MUNICÍPIO DE SÃO MARCOS/RS 134

1. INTRODUÇÃO

Tanto a crescente escassez de água no mundo quanto o aumento desordenado da população nas áreas urbanas têm dado motivo para a preocupação e para a necessidade de práticas adequadas de gestão das águas. Rapoport (2004) destaca a dificuldade em obter água nas grandes cidades e como os custos tanto para a captação quanto para o tratamento e para o transporte são agravados pelo aumento da degradação dos mananciais. Além disso, ressalta a importância da conservação e do uso racional deste insumo.

Apesar de ser imprescindível para a saúde e para o meio ambiente, o saneamento básico no Brasil está longe de ser adequado. Mais da metade da população não conta, sequer, com redes para a coleta de esgotos e 80% dos efluentes gerados são lançados diretamente nos recursos hídricos sem nenhum tipo de tratamento. Esse quadro de deficiência na barreira sanitária tem forte influência nos indicadores de saúde, que estão muito abaixo dos padrões mínimos da dignidade humana em várias regiões brasileiras (GONÇALVEZ,2003).

Muito são os fatores a serem considerados sobre a problemática do não tratamento do esgoto. Há o caso da proliferação de doenças e vetores que aumenta a cada ano. A quantidade de água potável vem diminuindo e os órgãos responsáveis pelo tratamento da água, coleta e tratamento de efluentes têm utilizado, quando ocorre, alternativas de alto custo e pouca eficiência (DINIZ, 2014).

Outro fator relevante é que o lançamento de esgoto, mesmo quando tratado, em corpos d'água pode resultar na poluição destes últimos. Com relação aos nutrientes nitrogênio e fósforo, presentes no esgoto bruto e nos efluentes de vários processos de tratamento, destaca-se o problema de eutrofização, a qual pode causar danos aos corpos receptores, podendo-se enumerar: problemas estéticos e recreacionais; condições anaeróbias no fundo do corpo d'água; eventuais condições anaeróbias no corpo d'água como um todo; eventuais mortandades de peixes; maior dificuldade e elevação nos custos de tratamento da água; problemas com o abastecimento de águas industrial; toxicidade das algas; modificações na qualidade e quantidade de peixes de valor comercial; redução na navegação e capacidade de transporte. Além disso, em relação a amônia, a mesma pode causar problemas de toxicidade aos peixes, implicando no consumo de oxigênio dissolvido (BRAGA, 2005).

Em termos de águas subterrâneas, a maior preocupação é com o nitrato, que pode contaminar águas utilizadas para abastecimento, causando problemas de saúde pública (metemoglobinemia). O desenvolvimento da metemoglobinemia com base no

nitrato presente nas águas potáveis depende de sua conversão bacteriana a nitrito durante a digestão que ocorre no trato gastrointestinal (SILVA *et al.*2002).

Outra preocupação é com os resíduos de excreção humana pois ela contém micro poluentes, tais como: produtos farmacêuticos, hormônios sintéticos e naturais, que não são removidos através do tratamento biológico de águas residuais e muitas vezes são muito potentes, especialmente os agentes hormonais que podem causar alterações na morfologia e no comportamento de algumas espécies (LARSEN *et al.* 2001).

A caracterização diretamente das alterações prejudiciais na qualidade das águas naturais está relacionada ao uso que se faz do recurso hídrico. Nessa vertente, a Resolução 357, de março de 2005, do CONAMA (alterada pela Resolução 430 de 2011) classifica os cursos d'água e explicita alguns usos, tais como: abastecimento público, manutenção das espécies aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças e aquicultura (LIBÂNIO, 2005).

A Cúpula Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, que aconteceu em 2002 na África do Sul, articulou várias metas para a próxima década (conhecidos como os 8 objetivos do milênio) e dentre elas, pode-se citar o objetivo 7 e a meta 7C que indica a importância de "Reduzir pela metade até o ano de 2015, a proporção de pessoas sem acesso ao saneamento básico" (ONU,2002). Dados do "Objetivos do Desenvolvimento do Milênio" informe de 2013, mostram que de 1990 a 2011, 1,9 milhões de pessoas- em diversas partes do planeta- ganharam acesso a latrinas, banheiros ou outras instalações sanitárias melhoradas, entretanto, é necessário redobrar estes esforços para que, até 2015, mais de um milhão de pessoas tenham acesso a este benefício e, assim, seja cumprida a meta de saneamento.

No Brasil, dados do ano de 2012 do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento Básico (BRASIL, 2012) relatam que:

- 34 milhões de brasileiros não tem acesso a água encanada;
- 103 milhões de pessoas não estão conectadas às redes de esgoto;
- 38,7% dos esgotos gerados são tratados;
- o média de perdas de água, na distribuição, é de 36,9%;
- o consumo de água por habitante, em 2012, foi de 167,5 litros por dia (aumento de 4,9% com relação a 2011);

- analisando os investimentos realizados pelos estados, a maior participação é da Região Sudeste com 45, 3%, seguida pela Região Norte com 37,1% (totalizando 82,4% dos investimentos realizados). O menor investimento regional ficou na Região Sul com 0,6%

Assim sendo, fica clara a importância de se implantar sistemas de tratamento de esgoto que atinjam uma parcela maior da população mas, para que isso aconteça, esses sistemas devem ser caracterizados pelo baixo custo e alta eficiência, causando pouco impacto para alcançar os padrões de qualidade exigidos pela legislação vigente (SILVA *et al.* 2002). Coura e Van Haadel (1999) advertem que os padrões exigidos pelos órgãos ambientais não são fáceis de serem alcançados, e ressaltam, por exemplo, que o efluente de um reator anaeróbio não atende a esses padrões exigidos. É necessário que o mesmo passe por um pós-tratamento para se adequar aos padrões mínimos exigidos com relação às concentrações de matéria orgânica residual, sólidos suspensos totais, nutrientes (nitrogênio-N e fósforo-P) e organismos patogênicos.

1.2 TEMA E OBJETIVOS

O tema desta tese é o tratamento de esgotos sanitários urbanos. O objetivo geral é identificar e avaliar alternativas de sistemas sustentáveis de tratamento de esgoto, com foco em municípios de pequeno porte. Diferentes sistemas foram identificados e analisados de acordo com características técnicas, ambientais e econômicas, que foram traduzidas como critérios de sustentabilidade. Salienta-se que os sistemas de tratamento são distintos e, por consequência, atendem de forma diferenciada a esses critérios de sustentabilidade. Cabe ressaltar, ainda, que são muitos os critérios a serem atendidos e é difícil levantar e lidar com tanta informação, bem como tomar decisões não tendenciosas quando há pressão por menores custos. Assim, entende-se que a contribuição desta tese recai, principalmente, no atendimento aos anseios das equipes responsáveis pelo planejamento do esgotamento sanitário de pequenos municípios brasileiros, de maneira a subsidiá-los com informações estruturadas, no processo de tomada de decisão em relação a alternativas de sistema, por meio de uma ferramenta computacional. Assim sendo, os técnicos podem selecionar a melhor alternativa, não apenas com foco nos custos financeiros, mas considerando, também, os recursos disponíveis e os impactos técnicos, sociais e ambientais locais.

Para que seja possível alcançar o objetivo geral deste trabalho, é necessário atingir cinco objetivos específicos:

i. levantar, por meio de uma revisão sistemática, os artigos sobre métodos de tratamento de esgoto entre os anos 2002 a 2012, de maneira a identificar os mais citados na literatura;

ii. identificar os parâmetros técnicos que regem o lançamento de esgoto, por meio do conhecimento de especialistas na área e por meio da legislação vigente. A partir da utilização de uma Matriz Importância-Desempenho (SLACK, 1993) tornou-se possível assimilar aqueles mais complexos de serem gerenciados;

iii. levantar a percepção ambiental dos moradores do município de São Marcos sobre a situação do esgotamento sanitário na cidade;

iv. desenvolver uma ferramenta computacional com critérios de sustentabilidade para a seleção de alternativas de tratamento de esgoto e,

v. avaliar, com base na ferramenta desenvolvida, de alternativas para o problema do esgotamento sanitário propostas pelos moradores do município de São Marcos-RS.

1.3 JUSTIFICATIVA

A importância da escolha deste tema se dá pela cobrança da sociedade e de uma legislação vigente rigorosa (Lei Federal 11.445/2007 e Decreto Federal 8211/2014 que altera o 7217/2010) sobre saneamento básico. A legislação citada anteriormente, trata do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), que deve ser elaborado pelos municípios contemplando as áreas de abastecimento de água; esgotamento sanitário; limpeza urbana; e ao manejo dos resíduos sólidos de forma adequada, para a proteção da saúde pública e conservação do meio ambiente.

Este documento técnico (PMSB) deve apresentar o diagnóstico detalhado (de cada uma das áreas citadas), para que possam ser: assinados contratos com concessionárias, definição das tarifas e contrapartidas; identificação das deficiências e das necessidades, por meio de indicadores; realização de estudos financeiros para prestação do serviço; designação de entidade regulatória e de fiscalização; definição de mecanismos de avaliação sistemática; e estabelecimento de metas de curto, médio e longo prazos para a universalização do sistema.

Ainda, de acordo com o Decreto Federal nº 8.211/2014, a partir do exercício financeiro de 2015, será condicionado o acesso dos municípios a recursos orçamentários

da União, ou a recursos de financiamentos geridos ou administrados por órgão ou entidade da administração pública federal, à existência de plano de saneamento básico.

Com base no exposto, esta pesquisa se justifica pela contribuição acadêmica de uma ferramenta computacional para auxiliar na escolha adequada de sistema de tratamento de esgotos sanitários urbanos e pelo atendimento à legislação ambiental (tanto em âmbito federal quanto estadual), bem como pela contribuição de sustentabilidade, pois a ferramenta considera os aspectos ambientais, sociais e econômicos aliados às estratégias e características peculiares de cada município.

1.4 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Uma vez definidos os objetivos desta pesquisa, torna-se necessário estabelecer o delineamento pelo qual os objetivos serão alcançados, os métodos abordados e a estrutura deste trabalho.

1.4.1 Método de Pesquisa

O método de pesquisa utilizado neste trabalho é determinado de acordo com os estudos desenvolvidos e que compõem esta tese. Assim, quanto à natureza, este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, pois busca gerar conhecimentos que possam contribuir para fins práticos, buscando soluções para problemas concretos (CERVO; BERVIAN, 2001).

Quanto à abordagem do problema, esta tese é classificada como pesquisa qualitativa e quantitativa pois este tipo de pesquisa apresenta foco na perspectiva do indivíduo ou do processo que está sendo estudado (SILVA; MENEZES, 2001).

Quanto aos seus objetivos, esta tese é classificada como exploratória, uma vez que busca familiarizar-se com a problemática em estudo, abordando levantamento bibliográfico e estudo de campo, como forma a se aprofundar da realidade (GIL,2008; MARCONI E LAKATOS,2009). A Figura 1 apresenta os objetivos, a revisão teórica e o método de pesquisa de cada artigo.

Estudos	Objetivos	Revisão Teórica	Método de Pesquisa
Artigo 1	levantar, por meio de uma revisão sistemática, os artigos sobre métodos de tratamento de esgoto entre os anos 2002 a 2012, de maneira a identificar os mais citados na literatura;	1. Tipos de tratamento de esgotos 2. Tratamento de esgoto doméstico	1. Abordagem: qualitativa e quantitativa 2. Procedimento técnico: revisão sistemática de literatura
Artigo 2	identificar de parâmetros técnicos que regem o lançamento de esgoto, por meio do conhecimento de especialistas	1. Composição do esgoto doméstico 2. Parâmetros de	1. Abordagem: qualitativa e quantitativa 2. Procedimento técnico:

	na área e por meio da legislação vigente. A partir da utilização de uma Matriz Importância-Desempenho (SLACK, 1993) tornou-se possível identificar aqueles mais complexos de serem gerenciados;	qualidade da água	Pesquisa Documental e Pesquisa-ação
Artigo 3	levantar da percepção ambiental dos moradores do município de São Marcos sobre a situação do esgotamento sanitário na cidade;	1. Problemática do não tratamento de esgoto 2. Percepção Ambiental	1. Abordagem: qualitativa e quantitativa 2. Procedimento técnico: Pesquisa-ação
Artigo 4	desenvolver uma ferramenta computacional com critérios de sustentabilidade para a seleção de alternativas de tratamento de esgoto e,	1. Ferramenta para avaliação de tratamento de esgoto 2. Viabilidade técnica, econômica, social e ambiental	1. Abordagem: qualitativa e quantitativa 2. Procedimento técnico: Pesquisa-ação
Artigo 5	avaliar, com base na ferramenta desenvolvida, alternativas para a solução do problema de esgotamento sanitário propostas pelos moradores do município de São Marcos-RS.	1. Tratamento de esgoto de municípios de pequeno porte. 2. Aplicação de ferramenta	1. Abordagem: qualitativa 2. Procedimento técnico: Pesquisa-ação

Figura 1- Estrutura das etapas da pesquisa desenvolvida

1.421 Método de Trabalho

A presente tese foi desenvolvida a partir da adoção de diferentes métodos de trabalho, de acordo com o que demandou cada um dos cinco artigos desenvolvidos. No primeiro artigo apresenta um levantamento dos métodos de tratamento de esgotos domésticos mais citados na literatura e a sua importância. Foi feita uma revisão sistemática que selecionou 274 estudos publicados no período de 2002 a 2012. Os tratamentos foram classificados segundo a definição, operação e nível, e evidenciadas as vantagens e desvantagens de cada um.

No segundo artigo, a Resolução federal do CONAMA n^0. 357 de 2005 (alterada pela Resolução do Conama n^0. 430 de 2011) foi comparada com a Resolução estadual do CONSEMA n^0. 128 de 2006 buscando verificar as semelhanças/diferenças entre os parâmetros de qualidade estipulados e a importância dada a cada um. Após esta análise, foi aplicado um questionário em empresas responsáveis pelo tratamento de esgoto de diferentes municípios buscando conhecer a dificuldade enfrentada para atender a legislação.

O terceiro artigo contempla uma pesquisa de campo com moradores da cidade de São Marcos, RS, na qual foram utilizadas entrevistas e questionários com o intuito de conhecer e quantificar a percepção dos habitantes no que se refere às condições de saneamento básico (principalmente do tratamento de esgotos domésticos).

Tendo por base os artigos anteriores, o quarto artigo propõe uma ferramenta para auxiliar na seleção da (s) alternativa (s) sustentáveis de saneamento mais vantajosa (s), com foco em municípios de pequeno porte. Para tanto, foram consultados técnicos da prefeitura e da empresa de saneamento (CORSAN) da cidade de São Marcos.

A ferramenta foi testada considerando quatro alternativas elencadas por habitantes da cidade de São Marcos e os resultados são apresentados no quinto artigo.

1.4.3 Delineamento do Trabalho

Este trabalho teve como finalidade desenvolver uma ferramenta suporte à tomada de decisão quanto ao sistema de tratamento de esgotos mais sustentável. A ferramenta visa atender à legislação e os preceitos de sustentabilidade e foi prototipada em plataforma Excel. Ela foi testada considerando alternativas elencadas por habitantes de um município de pequeno porte, e mostrou-se sensível aos critérios definidos com base na literatura e opinião de *experts*. Não foi realizado teste de usabilidade da ferramenta, que precisa, primeiro, ser testada em outros municípios. A escolha pelo Município de São Marcos/RS ocorreu tanto pelo interesse do mesmo em atender à legislação de saneamento, dentro do prazo estabelecido, quanto pela contribuição que a pesquisa poderia trazer. Outros municípios contatados apresentaram uma gama de entraves políticos e negaram o fornecimento dos dados, o que limitou o estudo a um único município.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta tese está organizada em sete capítulos principais. O primeiro capítulo aborda a introdução do trabalho e nele são apresentados o tema de estudo, objetivos, justificativa, método e limitações/delimitações do tema abordado.

Nos capítulos dois a seis são apresentados os artigos propostos e respectivos resultados conforme Figura 1. O sétimo capítulo apresenta as considerações finais obtidas com o desenvolvimento dos artigos e a proposição de novos estudos a partir dos assuntos que foram abordados nesta tese.

1.6 REFERÊNCIAS

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G. **Introdução a Engenharia Ambiental**. São Paulo; Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n^0. 357,** de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a Classificação dos Corpos de Água e Diretrizes Ambientais para o seu Enquadramento bem como Estabelece as Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes e dá outras providências. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf >. Acesso em: 10 jun. 2012.

_____.Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n^0. 430,** de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as Condições e Padrões de Lançamentos de Efluentes, Complementa e Altera a Resolução CONAMA n^0. 357 de 17 de março de 2005, no Conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol_lanceflue_30e31mar11.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2013.

_____. **Lei nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.937, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

_____**Decreto nº 7.217**, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília.

_____**Decreto nº 8.211**, de 21 de março de 2014. Altera o Decreto nº 7.217 de 21 de junho 2010, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos** – 2012. Brasília: MCIDADES. SNSA, 448 p

CERVO, A.L.; BERVIAN, P.A. **Metodologia Científica.** 5 ed. São Paulo: Prentice Hall, 242p., 2002.

COURA, M.A., VAN HAANDEL, A.C. **Viabilidade técnica e econômica do digestor anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) no sistema anaeróbio/aeróbio.** In: Anais: 20.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais. Rio de Janeiro: Abes. 1999.

DINIZ, L. T. **Municípios podem diversificar saneamento básico nos mananciais com alternativas tecnológicas**. 2014. Disponível em: http://observasaude.fundap.sp.gov.br/Lists/Noticias3/Attachments/13/Munic%C3%ADpios%20podem%20diversificar%20saneamento%20b%C3%A1sico%20nos%20mananciais%20com%20alternativas%20tecnol%C3%B3gicas.doc?Mobile=1&Source=%2F_layouts%2Fmobile%2Fdispform.aspx%3FList%3Dcb5d603b-f6c3-4f5a-9c2a-de110fc62580%26View%3D6bf234bc-826a-495c-adff-ee18e3f44054%26ID%3D13>. Acesso em: 02 jun. 2014.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 175p., 2008.

GONÇALVES, R. F. (coordenador). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 438p. (2003)

LARSEN, T. A. *et al*. Peer reviewed: re-engineering the toilet for sustainable wastewater management. **Environmental Science & Technology,** v. 35, n. 9, p. 192A-197A, 2001.

LIBÂNIO, M**. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. Alínea e Átomo, 2005.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 315p., 2009.

ONU. 2002. Declaração de Joanesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/07/unced2002.pdf. Acesso em: 05 set. 2012.

ONU 2013. Objetivos de desenvolvimento do milênio. Informe 2013. Disponível: http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Resources/Static/Products/Progress2013/English2013.pdf. Acessado em: 13 jan. 2014.

RAPOPORT, B. **Águas cinzas: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reúso domiciliar e condominial.** Fundação Oswaldo Cruz, 2004.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual de Meio Ambiente. **Resolução do CONSEMA n^{0}. 128,** de 24 de novembro de 2006. Dispõe sobre a fixação de padrões de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: < http://www.sema.rs.gov.br/upload/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CONSEMA%20n%C2%BA%20128_2006%20%20Fixa%C3%A7%C3%A3o%20de%20Padr%C3%B5es%20de%20Emiss%C3%A3o%20de%20Efluentes%20L%C3%ADquidos.pdf >. Acesso em: 02 abr.2010.

SILVA R.L.B.; BARRA C.M.; MONTEIRO T.C.N.; BRILHANTE O.M. **Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e possíveis consequências para a saúde pública no Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil.** Cad. Saúde Pública 2002.

SILVA, E.L.; MENEZES, E.M. **Metodologia de Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 3 ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 121p.; 2001.

SLACK, N. *et al.* Vantagem competitiva em manufatura. **São Paulo: Atlas**, v. 2, 1993.

2. ARTIGO 1 – MÉTODOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Renata Cornelli
Fernando Gonçalves Amaral
Lia Buarque de Macedo Guimarães

RESUMO

A água é considerada um recurso natural renovável, porém limitado. Isso ocorre porque sua qualidade vem sendo ameaçada pelas atividades humanas, como: esgotos domésticos e industriais, fertilizantes e pesticidas, além da poluição ambiental. Além disso, a disponibilidade de água doce está diminuindo devido ao acelerado crescimento populacional. Tentando minimizar a contaminação deste recurso, as estações de tratamento de esgotos (ETE) são de suma importância, pois, além de conservar o meio ambiente, melhoram a qualidade de vida da população. Assim, o objetivo deste estudo foi de levantar e identificar na literatura os métodos mais utilizados no tratamento de esgotos domésticos e classificá-los segundo critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais. Para tanto, foi utilizado o método de revisão sistemática da literatura a partir das bases de dados Scielo, ASCE, BVS (Biblioteca de Vigilância Sanitária) e *Science Direct* entre os anos de 2002 e 2012. Os sistemas de tratamento foram classificados segundo sua definição (aeróbio, anaeróbio e outros), operação (física, química, biológica e outras) e nível de tratamento (pré-tratamento, primário, secundário, terciário e outros). Na revisão, o sistema de tratamento anaeróbio/UASB foi o mais mencionado, o tipo de operação biológica e o nível de tratamento secundário os mais utilizados.

Palavras-chave: revisão sistemática; tratamento; esgoto doméstico; critérios; técnico; econômico; ambiental; social.

2.1 INTRODUÇÃO

O composto químico mais abundante no planeta e essencial para o desenvolvimento da vida é a água, recurso natural responsável, também, pelo desenvolvimento de qualquer país (ROMERO *et al.* 2009). As reservas de água disponíveis, essencialmente de água doce, são em torno de 2,5%. Entretanto, somente 0,007% está acessível e pronta para consumo (REBOUÇAS, 1999). O Brasil possui posição privilegiada no mundo em relação aos recursos hídricos (MARENGO, 2007) com uma vazão média anual dos rios em territórios brasileiros de 180 mil m^3/s, o que corresponde a 12% da disponibilidade mundial de água doce (ANA, 2010).

Os recursos de água doce no planeta estão diminuindo rapidamente (BRUCH, 2011) e com o crescimento populacional e a aceleração das atividades humanas aumentando, os impasses com relação à água tendem a piorar, a menos que os processos de gestão de águas existentes sejam significativamente melhorados dentro de um curto espaço de tempo (DIAZ, 2006). A Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que em torno de 1 bilhão de pessoas não têm acesso a um melhor abastecimento de água e o acesso a qualquer tipo de saneamento falta a 2,4 bilhões de pessoas (ou seja, praticamente metade da população mundial) (BALLARD *et al.* 2008). Estima-se que até o ano de 2015, 2,7 bilhões de pessoas não terão acesso a água potável e esgoto (BDOUR *et al*. 2009). Como ter água em quantidade e qualidade suficiente é importante para a saúde, para o meio ambiente e, portanto, para a qualidade de vida, o tratamento de águas residuais passou a ser prioridade mundial (MUGA *et al.* 2009). Nas últimas duas décadas, a Europa tem testemunhado uma dificuldade crescente tanto em termos de escassez quanto em deterioração da qualidade dos corpos hídricos, e por isso vem pressionando os governos para que os recursos hídricos sejam utilizados de forma mais eficiente, incluído a adoção de práticas de reutilização de água (GHERMAND *et al.*2006).

A consciência pública sobre os problemas de poluição da água também tem crescido consideravelmente nas últimas décadas, aumentando, assim, o número de regulamentações cada vez mais rigorosas quanto à descarga de águas residuais (ZENG *et al.* 2007). A instalação de um sistema de coleta e tratamento de esgotos de confiança promove a melhoria da saúde global e do saneamento, e por consequência, a redução da propagação de doenças de veiculação hídrica, o que ajuda aliviar o sistema de saúde (MUGA *et al.* 2009). Grande parte das doenças que se alastram nos países em desenvolvimento é proveniente da água de má qualidade (FUNASA, 2006). Muitas dessas doenças que surgem do contato com as águas residuais são causadas por agentes patogênicos e os mais comuns nos esgotos são as bactérias, parasitas e vírus. Estes agentes causam desde diarreias até infecções e em longo prazo podem causar doenças graves e levar até a morte. A Figura 2 é uma adaptação das principais doenças citadas no site do Governo da Índia (2013) e por Barros (1995).

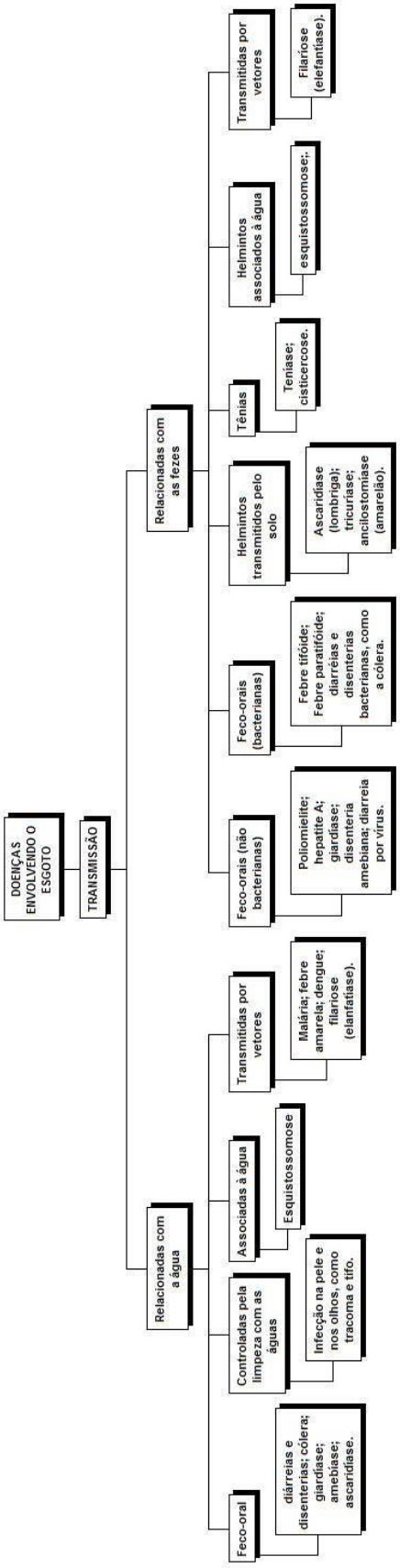


Figura 2 - Doenças relacionadas ao esgoto
Fonte: Adaptado de Barros, 1995.

A literatura refere diferentes formas de tratar ou reduzir a carga de poluentes e patógenos das águas residuais (NAVARRO; PALLADITO, 2006). Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de levantar, identificar e classificar os métodos mais utilizados e sua importância no tratamento de esgotos domésticos no período de 2002 a 2012, conforme detalhado a seguir.

2.2 MÉTODO

Quanto aos seus objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória, uma vez que foi realizado um levantamento qualitativo e quantitativo das publicações acerca do tema "tratamento de esgotos domésticos". Do ponto de vista de procedimentos técnicos, é classificada como pesquisa bibliográfica.

Para o levantamento e análise das publicações, utilizou-se o método de revisão sistemática de literatura que é um meio de identificar, interpretar e avaliar as questões de pesquisa (KITCHENHAM, 2004), de revisar as tendências evidentes sobre um determinado tema (KITCHENHAM, 2004), identificar as lacunas/falhas existentes na pesquisa, e propor/fornecer uma estrutura de modo a orientar novas investigações.

Foi utilizado o método de revisão proposto por Sampaio e Mancini (2007) e adaptado de Domholdt (2005), Law e Philp (2002) e Magee (1998), tendo sido consideradas as bases de dados *Scielo,* ASCE, BVS (Biblioteca de Vigilância Sanitária) e *Science Direct* entre os anos de 2002 e 2012. A escolha deste período pode ser justificada tendo em vista que no ano de 2002 aconteceu a Conferência da ONU- Rio +10 na cidade de Johanesburgo (África do Sul) e, em 2012, a Rio +20 na cidade do Rio de Janeiro (Brasil), mostrando assim como se comportaram as pesquisas em tratamento de esgotos. A busca, conduzida em julho de 2012, resultou em 3.934 artigos identificados mediante o emprego da palavras- chave "*sewage treatment*". A Figura 3 apresenta as etapas que compõem a revisão sistemática.

Passos	Aplicação no estudo
1. Definir a pergunta científica	Quais tipos de tratamento são utilizados em esgotos domésticos/municipais?
2. Buscando as evidências	As bases de dados consultadas foram: *ScienceDirect,* Scielo, Asce e BVS buscando publicações com as seguintes palavras-chave "*sewage treatment"*. **(continua)**

Figura 3 - Etapas da revisão sistemática

3. Revisando e selecionando	Resultaram da etapa 2, 3.934 artigos. Para refinar a busca, limitou-se

estudos	ao período de 2002 a 2012. Excluindo ainda tratamento de efluente industrial, tratamento e disposição de lodo. A seleção dos estudos ocorreu pela avaliação dos títulos e dos resumos. Dos 3.934 artigos, resultaram 10 artigos na ASCE, 16 na BSV, 22 na Scielo e 226 na *Science Direct* (ver Figura 5).
4. Analisando a qualidade metodológica dos estudos	Os artigos que apresentavam propostas de método de tratamento de esgotos domésticos foram comparados e organizados em três critérios: definição (aeróbio, anaeróbio e outros), operação (física, química, biológica e outras) e por nível (pré-tratamento, primário, secundário, terciário e outros).
5. Apresentando os resultados	Os artigos dos métodos incluídos na revisão sistemática foram sintetizados e apresentados na Figura 7. Já na Figura 8, os métodos foram agrupados nos três critérios. A Figura 9 faz a correlação dos métodos e dos critérios analisados. E, na Figura 8 são apresentadas as vantagens e desvantagens dos principais métodos de acordo com nível técnico, econômico, social e ambiental**.** **(conclusão)**

Figura 3 - Etapas da revisão sistemática

Dos 3.934 artigos identificados, 274 estudos (226 da *Science Direct*, 22 da Scielo, 16 da BVS e 10 na ASCE) atendiam a todos os critérios de inclusão estabelecidos. O primeiro critério de exclusão foi pelo período limite de publicação (entre os anos de 2002 a 2012). O segundo critério foi pela leitura do título e do resumo, excluindo os artigos que tratavam de efluentes industriais, tratamento e disposição de lodo, restando os 274 utilizados (Figura 4).

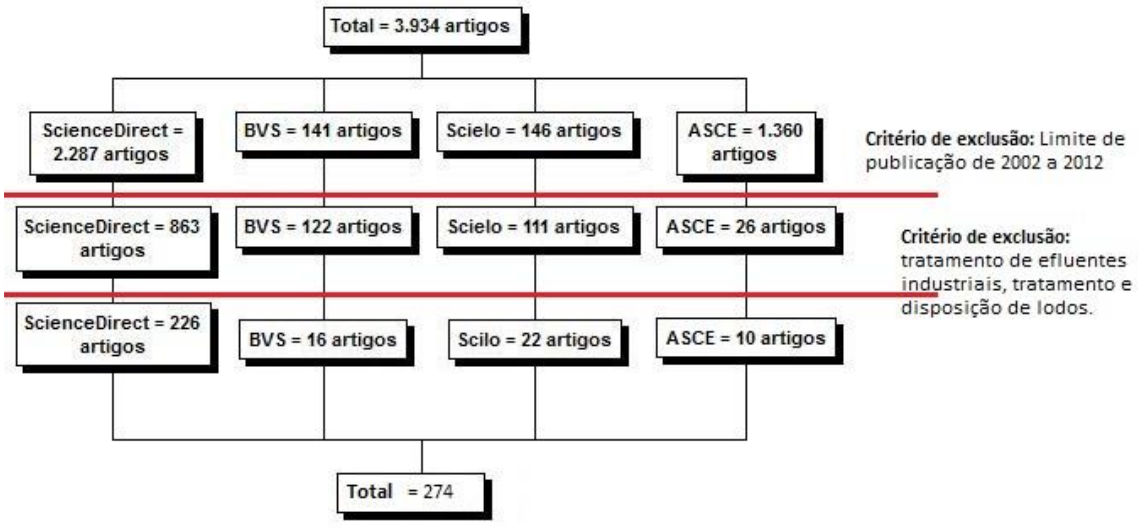


Figura 4 - Processo de seleção dos artigos

Em seguida, os métodos de tratamento apresentados nos 274 artigos selecionados foram classificados de três formas, baseado em Jordão e Pessôa (1995),

Gasi *et al.* (1988) e Von Sperling (2005): por definição Metcalf e Eddy, (2003), ou seja, aeróbio, anaeróbio e outros; por operação Metcalf e Eddy, (2003), ou seja, física, química, biológica e outras; e por nível (Jordão e Pessôa (1995) e Von Sperling (2005)), ou seja, pré-tratamento, primário, secundário, terciário e outros.

Além de terem sido classificados, foram analisadas as vantagens e desvantagens dos métodos segundo critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais. Os critérios técnicos abarcam a tecnologia utilizada para o desenvolvimento de determinada atividade – no caso deste estudo, o tratamento de esgoto doméstico; os econômicos tratam da eficiência econômica em uma "alocação e gestão mais eficientes dos recursos e por um fluxo regular do investimento público e privado; os sociais buscam reduzir substancialmente as diferenças sociais, construindo uma sociedade com maior equidade na distribuição de renda e bens, reduzindo a distância entre ricos e pobres; os critérios ambientais visam a manutenção da capacidade de sustentação dos ecossistemas, o que implica a capacidade de absorção e recomposição dos ecossistemas em face das agressões antrópicas. Os três últimos critérios compõem o conceito de desenvolvimento sustentável, definido pela ONU, no relatório “Nosso futuro Comum” (*UNITED NATIONS*, 2014) como a observância dos aspectos econômicos, sociais, espaciais, culturais e ambientais da sociedade, para que sejam preenchidas tanto as necessidades individuais quanto coletivas ao mesmo tempo preservando a biodiversidade e os ecossistemas naturais.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5 apresenta os métodos de tratamento que foram citados mais do que seis vezes na literatura revisada (totalizando 78% das ocorrências), sendo que 80% dos mais referenciados englobam o tratamento anaeróbio/UASB até o tanque séptico. Outros métodos menos discutidos pelos autores são o filtro *trickling*, filtro anaeróbio e anaeróbio, osmose reversa, outros reatores anaeróbios e aeróbios.

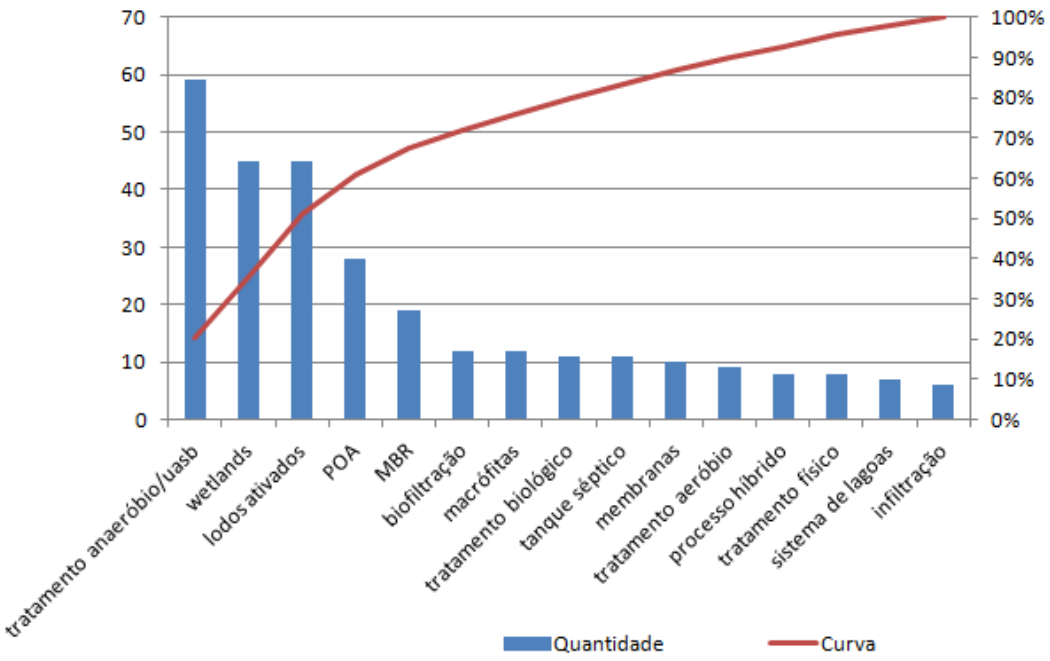


Figura 5 - Gráfico de Pareto com os métodos de tratamento levantados

2.3.1 Análise da Revisão Sistemática

Considerando os métodos de tratamento, quanto a definição, foram elencados o método anaeróbio (microrganismos anaeróbios), aeróbio (microrganismos aeróbios) e outros (utiliza tanto o anaeróbio como o aeróbio ou não se enquadra em nenhuma das outras duas definições). Quanto aos aspectos de operação: física (aplicação de forças físicas, como, gradeamento, mistura, floculação, sedimentação), química (por reações químicas ou adição de produtos químicos como, precipitação, adsorção, desinfecção), biológica (atividade biológica resultando em remoção de matéria orgânica carbonácea, nitrificação e desnitrificação) e outras (neste caso podem ser utilizadas uma ou mais características juntas). No que concerne à característica 'nível': preliminar (remoção de sólidos grosseiros como areia e gordura); primário (remoção de sólidos sedimentáveis e, em decorrência, parte da matéria orgânica); secundário (predominam mecanismos biológicos com o objetivo de remover a matéria orgânica e eventualmente nutrientes como nitrogênio e fósforo); terciário (remoção de poluentes específicos - usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis - ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário); e outros (que não se encaixam em apenas uma ou em nenhuma das outras características).

Quanto a definição, os métodos classificados utilizando tanto processos anaeróbios como aeróbios (ou não se enquadra em nenhuma das definições) são em maior número (36,5%), seguidos dos métodos unicamente anaeróbios (com 34,6%). Isto

pode estar relacionado ao alto desempenho, tecnologia simples, ser eficaz e ter baixa produção de lodo (conclusões obtidas a partir da Figura 10).

A operação que prepondera nos artigos é a biológica (66,1%) que sendo similar ao processo que ocorre nos sistemas naturais, poder ser utilizada na maioria dos efluentes gerados (seja de origem doméstica ou até mesmo industrial) com a ação de microrganismos (aeróbios e anaeróbios) permitindo também a tratabilidade de altos volumes de efluentes com custos relativamente baixos (CORDI *et al.* 1997). A base do processo biológico é o contato efetivo entre esses microrganismos e o material orgânico contido no líquido, possibilitando que a matéria orgânica seja utilizada como alimento pelos microrganismos. Seu largo emprego pode ser explicado por este processo ser o mais econômico (ver Figura 10) em meio aos aplicáveis na remoção de matéria orgânica, podendo ser amplamente utilizado no tratamento de efluentes, visto que promove, também, a redução de compostos como o nitrogênio amoniacal, sulfetos, sulfatos e nitratos.

O nível de tratamento mais utilizado é o secundário (65,5%) cujo principal objetivo é a remoção da matéria-orgânica dissolvida e em suspensão (a qual é em grande parte removida no tratamento primário). Após esta etapa de tratamento, o esgoto já apresenta características que permitem o seu lançamento no meio ambiente (VON SPERLING, 2005). Cabe ao tratamento secundário a remoção dos sólidos de decantabilidade mais lenta que persistem na massa líquida. Essas informações podem ser vistas na Figura 6.

A Figura 7 apresenta um resumo dos 274 artigos analisados e correlacionados, retomando as características determinadas e suas respectivas classificações. No eixo ‘definição’, número 1 (anaeróbio), 2 (aeróbio) e 3 (outros). No eixo ‘operação’, número 1 (física), 2 (química), 3 (biológica) e 4 (outros). No eixo ‘nível’, 1 (pré-tratamento), 2 (primário), 3 (secundário), 4 (terciário) e 5 (outros).

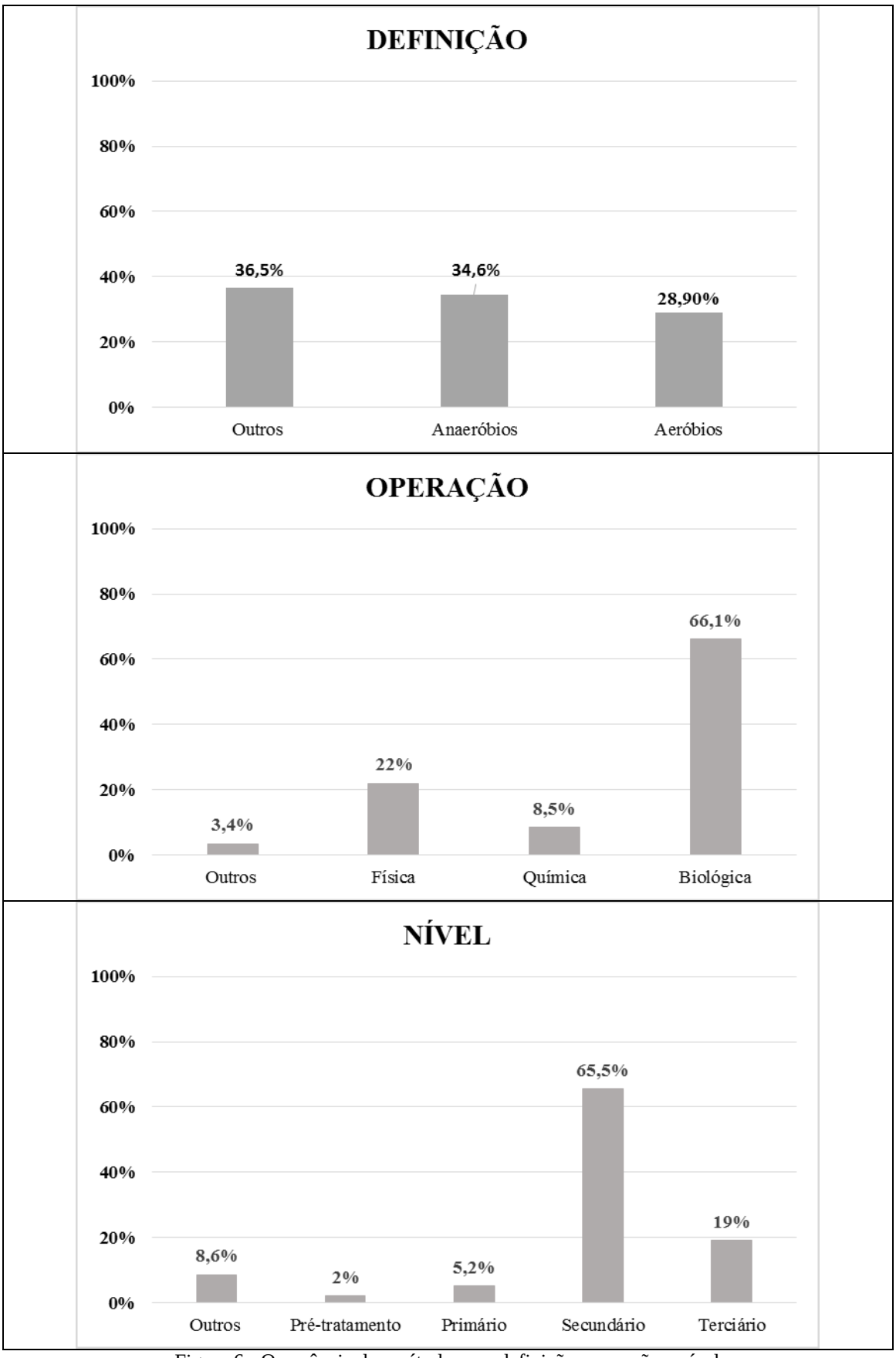


Figura 6 - Ocorrência dos métodos por definição, operação e nível

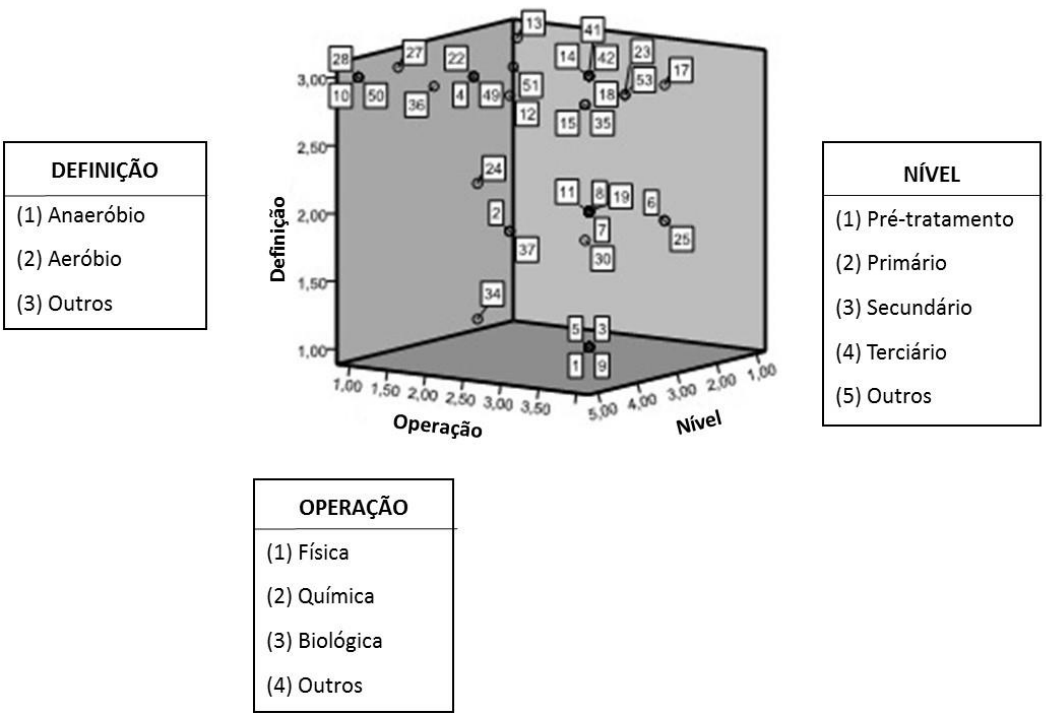


Figura 7 - Correlação dos artigos selecionados

Na Figura 7, cada um dos quadrados que aparecem no gráfico representa uma combinação composta de parâmetros classificados por definição, operação e nível. Por exemplo, a combinação 34 apresenta (1, 1, 2) significa respectivamente, anaeróbio, física, primário. Como algumas dessas combinações se repetem, no gráfico são inseridos números que correspondem às linhas da tabela em que a referida combinação apareceu.

Por ser uma quantidade expressiva de dados, muita das combinações não puderam estar representadas no gráfico. Contudo, o que se pode concluir é que as combinações que mais se repetem são: (1,3,3), (2,3,3) e (3,3,3), ou seja, anaeróbio-biológica-secundário (26,4%), aeróbio-biológica-secundário (20,8%) e outros-biológica-secundário com 7,6%.

Na Figura 8 são apresentadas as vantagens e desvantagens dos principais métodos de tratamento de esgotos citados na literatura revisada.

TIPO DE TRATAMENTO	DESCRIÇÃO	TÉCNICO		ECONÔMICO		SOCIAL		AMBIENTAL	
		Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Lodos Ativados	Constituído por reator e decantadores primário e secundário. O decantador primário serve para que a matéria orgânica em suspensão sedimentável seja retirada antes do tanque de aeração gerando, assim, uma economia no consumo de energia.	- necessita de pouca área; - método eficaz; - pode ser utilizado tanto para pequenas e grandes comunidades;	- necessita de controle laboral diário; - a operação delicada; - requer mão de obra qualificada; - requer área para descarte de lodo.	- menor custo da área	- elevado custo operacional; - custo adicional da área para descarte de lodo; - maior custo da mão de obra qualificada.	- pouca área utilizada, esta poderá ficar disponível para uso da comunidade - pode atender tanto pequenas quanto grandes comunidades.	- Dificuldade de encontrar mão de obra qualificada	- método altamente eficaz; - requer pouca área; - aplicável para pequenas e grandes comunidades.	- necessita de área para descarte de lodo
Wetlands	São banhados artificiais ou terras úmidas construídas para a remoção de poluentes através da filtração e da depuração da matéria orgânica por microrganismos formadores do biofilme aderido ao substrato presente no sistema	-baixa produção de odores; - tolerância a variações de cargas residuais; -fornece habitat para animais selvagens; - método eficaz na remoção de DBO e coliformes; - baixo consumo de energia; - construção, operação e manutenção simples; - não há lodo a ser tratado; - considerável redução de patógenos.	- requer maior quantidade de área; -requer um fornecimento de "água" contínuo; - é afetado pelas condições climáticas; - necessidade de tratamento prévio do esgoto; - necessidade de substrato; - susceptível a entupimentos; - necessidade de manejo das macrófitas.	- menor custo de energia; - menor custo de construção, implantação, operação e manutenção; - não há custo de tratamento de lodo; - possibilidade de ganho com a utilização da biomassa produzida.	- maior custo com a aquisição de área; -área do local ocupado teria uso limitado; - custo do tratamento prévio do esgoto; - custo de substratos; - custo de manutenção (entupimentos); - custo de manejo das macrófitas.	- odores (poucos) não afetam a comunidade; -fornece habitat para animais selvagens; - possibilidade da utilização da biomassa produzida.	- ocupação de maior quantidade de área; - área do local ocupado teria uso limitado; - há produção de odores - necessidade de manejo das macrófitas; - possibilidade de mosquitos, nos sistemas de águas superficiais.	- baixa produção de odores; -fornece habitat para animais selvagens; - baixo consumo de energia; - não há lodo a ser tratado; - possibilidade da utilização da biomassa produzida.	-necessita de fornecimento contínuo de "água"; - área do local ocupado teria uso limitado; -requer maior quantidade de área; - necessidade de tratamento prévio do esgoto; - necessidade de manejo das macrófitas; - possibilidade de mosquitos, nos sistemas de águas superficiais;
Processos Anaeróbios	O processo anaeróbio converte parte da matéria orgânica em gás carbônico e metano, por isso também é recomendada a existência de	- baixa produção de sólidos; - baixo consumo de energia; - preservação da biomassa contida no reator; - tolerância a	- as bactérias anaeróbias são susceptíveis à inibição por um grande número de compostos; - partida do processo lenta;	- menor custo de energia; - menor custo de área; - baixo custo de implantação e operação; - ganhos com a	- gastos com pós-tratamento; - gastos pois a bioquímica e microbiologia da digestão anaeróbia são complexas;	- pouca área utilizada, esta poderá ficar disponível para uso da comunidade - pode atender tanto pequenas	- complexidade da digestão anaeróbia o que pode influenciar no atendimento aos parâmetros da legislação; - existe a	- baixo consumo de energia; - baixa utilização de área; - pode ser utilizado tanto em grande quando em pequena escala;	- contaminação dos recursos hídricos pois remove de forma insatisfatória remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos

(continua)

(continuação)	queimadores de gases, Entre os sistemas de tratamento anaeróbio, existem as lagoas anaeróbias, os tanques sépticos, os filtros anaeróbios e os reatores de alta taxa, capazes de receber maiores quantidades de carga orgânica por unidade volumétrica, como os reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) ou RAFAs (Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente).	elevadas cargas orgânicas; - aplicável em pequena e grande escala; - baixo consumo de nutrientes; - requer pouca área; - alto desempenho; - tecnologia simples; - método eficaz; - baixa geração de lodo; - possibilidade de recuperação dos nutrientes.	- necessita pós-tratamento; - bioquímica e microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e requerem maiores estudos; - produção de maus odores; - possibilidade da geração de efluente com aspecto desagradável; - remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória.	produção de metano; - como há preservação da biomassa contida no reator (menor custo de substituição); - possibilidade de recuperação dos nutrientes (utilização em outros processos).	- perdas monetárias se o metano não for utilizado como energia e lançado para atmosfera.	quanto grandes comunidades - Pode utilizar o metano como biogás.	possibilidade de produção de maus odores; - possibilidade da geração de efluente com aspecto desagradável; - remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória; - metano não utilizado como energia é lançado para atmosfera.	- baixo consumo de nutrientes; - há pouco lodo a ser tratado; - possibilidade de recuperação dos nutrientes.	- metano não utilizado como energia é lançado para atmosfera.
UASB	Baseada na decomposição anaeróbia da matéria orgânica. Consiste em uma coluna de escoamento ascendente, composta de uma zona de digestão, uma zona de sedimentação, e o dispositivo separador de fases gás-sólido-líquido.	- método pouco eficaz na remoção de DBO; - tolerância a elevadas cargas orgânicas; -baixo consumo de energia; -não necessita de meio suporte; - construção, operação e manutenção simples; - baixíssima produção de lodo; - estabilização do lodo no próprio reator; - lodo com ótima desidratabilidade; - rápido reinício após período de paralisação.	- dificuldade em satisfazer padrões mínimos restritivos; - pouco eficaz na remoção de coliformes; - remoção de nitrogênio e fósforo praticamente nula; - possibilidade da geração de efluente com aspecto desagradável; - produção de maus odores; - a partida do processo é lenta; - sensível a variação de carga e compostos	- menos custo com área - baixo custo de implantação e operação; -baixo custo com energia; -possibilidade de ganhos econômicos com uso energético do biogás; - ganhos econômicos com construção, operação e manutenção simples; - não há gastos para estabilização do lodo pois isso é feito no próprio reator; - necessita de	- gastos com pós tratamento.	- por se de simples construção, operação e manutenção, pode ser utilizada a mão de obra local. - pouca área utilizada, esta poderá ficar disponível para uso da comunidade - Pode utilizar o biogás.	- dificuldade em satisfazer padrões mínimos restritivos para a segurança da comunidade; - possibilidade da geração de efluente com aspecto desagradável; - produz maus odores.	- baixa utilização de área -baixo consumo de energia; -possibilidade do uso energético do biogás; - baixíssima produção de lodo; - estabilização do lodo no próprio reator; - lodo com ótima desidratabilidade;	- dificuldade em satisfazer padrões mínimos restritivos para segurança da comunidade e do meio ambiente; - produção de maus odores; - remoção de nitrogênio e fósforo praticamente nula. - necessita de disposição final de lodo.

(continua)

(continuação)			orgânicos; - necessita pós-tratamento.	disposição final de lodo.					
MBR (biorreator de membrana)	Neste sistema, as membranas micro porosas realizam um processo de ultra filtração, permitindo apenas a passagem através dela de água, alguns íons e moléculas de baixo peso molecular, barrando os sólidos e bactérias.	-requer pouca área; -eficaz na separação sólido-líquido; - alta qualidade do efluente tratado; - tolerância a variações de carga; - baixa produção de lodo; - possibilidade de projeto modular (menor espaço ocupado); - eficaz na remoção de poluentes; - opera em temperatura ambiente; - combina-se com outros tratamentos; - remove nitrogênio; - menor volume de lodo gerador; - operação sem adição de produtos químicos; - fácil operação; - substituí o sistema de decantação e tratamento terciário.	- tecnologia importada aumentando a dificuldade em conseguir material de reposição; - geração de ruído em operações de alta pressão; - sistema MBR não elimina o contaminante, só o transfere de fase; - necessita de limpeza química para remoção de substâncias aderidas na membrana; - alto consumo de energia.	- menor custo com área pois ocupa pouco espaço; - não necessita de gastos com produtos químicos para operar;	- alto custo de implantação e operação; - tecnologia importada; - necessita de limpeza química para remoção de substâncias aderidas na membrana; - alto custo com energia.	- requer pouca área; - eficaz na remoção de poluentes; - operação sem adição de produtos químicos; - fácil operação.	- geração de ruído em operações de alta pressão; - necessita de limpeza química para remoção de substâncias aderidas na membrana.	- alta qualidade do efluente tratado; - utiliza pouca área; - produção pouco lodo; - eficaz na remoção de poluentes; - remove nitrogênio; - operação sem adição de produtos químicos.	- geração de ruído em operações de alta pressão; - sistema MBR não elimina o contaminante, só o transfere de fase; - necessita de limpeza química para remoção de substâncias que ficam aderidas na membrana; - alto consumo de energia.
Tanque séptico	O princípio do processo consiste, basicamente, em uma unidade onde se	- necessita de meio suporte; - tolerância a diferentes tipos e	- dificuldade em satisfazer padrões de lançamentos	- gastos com meio suporte; - baixo custo se construído por	- gastos com pós-tratamento - gastos com energia para	- pode ser usado por famílias individuais; - mão de obra	- Por ser um tratamento pouco eficaz, pode contaminar o	- fornece tratamento preliminar e reduz a carga de	- Por ser um tratamento pouco eficaz, pode contaminar o

(continua)

(continuação)	realizam, simultaneamente, várias funções: decantação, flotação, desagregação e digestão parcial dos sólidos sedimentáveis (lodo) e da crosta constituída pelo material flotante (escuma). O principal fenômeno que ocorre sobre o efluente é de ação física, através de decantação.	concentrações de esgoto; - fornece tratamento preliminar e reduz a carga de resíduos de sistema de tratamento à jusante; - pode ser usado por famílias individuais; - fácil operação e manutenção.	restritivos; - pouco eficaz na remoção de coliformes; - remoção de N e P praticamente nula; - possibilidade da geração de efluente com aspecto desagradável; - produção de maus odores, porém, controláveis; - riscos de entupimento; - não tolera efluentes com baixas concentrações de sólidos; - sistema de bombeamento exige inspeção e manutenção periódica; - deve ser verificado e limpo conforme a necessidade; - tratamento pouco eficaz.	gravidade; - é fácil de operar e repara e, por isso tem baixo custo;	operar bomba; - sistema de bombeamento exige inspeção e manutenção periódica (fazendo com que haja custo; - gastos com limpeza e manutenção -gastos com disposição final de lodo.	não necessita de muita qualificação pois é de fácil operação e manutenção; - pode ser construído em áreas rurais.	recurso hídrico no qual é lançado e consequentemente a população que tem acesso - há geração de odores porém controláveis	resíduos de sistema de tratamento à jusante; - pode ser usado por famílias individuais; - pode ser construído em áreas rurais.	recurso hídrico no qual é lançado e consequentemente a população que tem acesso - possibilidade da geração de maus odores, porém controláveis; - consumo de energia para operar bomba; - necessita área para disposição final de lodo.
Lagoas de estabilização	As lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou	- baixo consumo de energia; - simples de operar e manter; - tolerância a variações de cargas; - eficaz na remoção de patógenos; - pouco eficaz em climas frios;	- utilizada maior quantidade de área; - pouco eficaz em climas frios; - existe produção de odores; - necessita de manutenção para evitar reprodução de mosquitos e	- baixo custo com energia; - não há necessidade de mão de obra qualificada, podendo ser construído e mantido com materiais e mão-de-obra local; - não precisa de	- maior custo com área - pouco eficaz na remoção de metais pesados (gasto com pós-tratamento; - necessita gastos com manutenção para evitar reprodução de mosquitos e	- segurança na remoção de patógenos; - pode ser construído e mantido com materiais e mão-de-obra local; - pode receber criação de peixes; - lodo pode ser	- ocupação de maior quantidade de área; - área do local ocupado teria uso limitado; - incômodo devido a produção de odores; - pouco eficaz na remoção de metais pesados;	- tolerância a variações de cargas; -baixo consumo de energia; - eficaz na remoção de patógenos; - criação de peixes; - lodo pode ser utilizado como	- requer maior quantidade de área; - produção de odores; - pouco eficaz na remoção de metais pesados; - requer tratamento ou polimento para atender os padrões

(continua)

(continuação)	redução fotossintética das algas. De acordo com a forma predominante pela qual se dá a estabilização da matéria orgânica, as lagoas costumam ser classificadas em: facultativas, anaeróbias, aeradas e de maturação.	- pode ser construído e mantido com materiais e mão-de-obra local; - não requer equipamentos caros ou importados; - lodo pode ser utilizado como condicionador de solo e efluente pode ser utilizado para irrigação.	outros insetos; - pouco eficaz na remoção de metais pesados; - requer tratamento ou polimento para atender os padrões de lançamentos locais.	equipamentos caros ou importados; .	outros insetos; - necessidade de gastos para tratamento ou polimento para atender os padrões de lançamentos locais.	utilizado como condicionador de solo e efluente pode ser utilizado para irrigação.	- requer tratamento ou polimento para atender os padrões de lançamentos locais; - necessita de manutenção para evitar reprodução de mosquitos e outros insetos.	condicionador de solo e efluente pode ser utilizado para irrigação.	de lançamentos locais; - necessita de manutenção para evitar reprodução de mosquitos e outros insetos.
Biofilmes	A matéria orgânica é estabilizada por bactérias que crescem aderidas a um meio suporte (usualmente pedras ou material plástico).	- alta velocidade de sedimentação (melhorando a clarificação externa); - alta concentração de biomassa - grande área superficial para o crescimento de microrganismos; - grande transferência de massa resultando em conversão de matéria-orgânica; - reatores compactos; - alta idade do lodo e baixa formação de lodo excedente;	- formação do biofilme sobre o meio suporte requer um tempo inicial longo; - controle da espessura do biofilme é difícil; - o crescimento excessivo do biofilme causa o carregamento do meio suporte para fora do reator; - os distribuidores para fluidizar o sistema podem apresentar um custo elevado e problemas de entupimento.		- os distribuidores para fluidizar o sistema podem apresentar um custo elevado e problemas de entupimento.			- oferece grande área superficial para o crescimento de microrganismos; - alta idade do lodo e baixa formação de lodo excedente.	**(conclusão)**

Figura 8 - Vantagens e desvantagens dos principais métodos de tratamento de esgoto obtidos com a revisão sistemática

Fonte: OAS (1997), Massoud *et al* (2009), Von Sperling *et al* (2005), Couracci Filho (1999), Chernicaro (1997), Abdel-Halim e Rosenwinkel (2005), Meng *et al* (2009), Nywening e Zhou (2009), Churchouse e Wildgoose (1999), Li *et al* (2008), Alba (2006), Engineering Concepts Inc. (2010), Alaton *et al* (2002), Dezotti (2008), Gernjak (2003), Sanz(2002), Gulyas (1997), WHO (2011), Torrades *et al* (2003) e Mendonça (2004).

2.4 CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma revisão sistemática da literatura sobre tratamento de efluentes domésticos. A estratégia de busca nas bases de dados *Scielo, ASCE, BVS e Science Direct* entre os anos de 2002 e 2012 de várias áreas de engenharia, visou reunir estudos que evidenciassem diferentes métodos de maneira a agrupá-los segundo sua definição, tipo de operação e nível de tratamento. Os métodos identificados foram: tratamento anaeróbio/UASB, *wetlands*, lodos ativados, processos oxidativos avançados (POA), biorreator de membrana (MBR), biofiltração, macrófitas, tratamento biológico, tanque séptico, membranas, tratamento aeróbio, processo híbrido, tratamento físico, sistema de lagoas e infiltração. Isto permitiu conhecer as vantagens e desvantagens de cada um deles de forma a possibilitar uma escolha balizada em diferentes casos.

Quanto à definição (aeróbio, anaeróbio e outros), os métodos classificados utilizando tanto processos anaeróbios como aeróbios são os mais referenciados, e a operação de tratamento biológico e o nível de tratamento secundário (que remove a matéria orgânica) são comumente os mais utilizados.

Como delimitação, a seleção dos artigos foi concentrada na área de engenharia, logo, estudos nas áreas de saúde pública e ciências biológicas, não foram incluídos.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se:

- conhecer a opinião de especialistas em tratamento de esgoto sobre a importância dos padrões de qualidade de lançamento de esgotos para posterior identificação de métodos que melhor atendam aos parâmetros considerados críticos;

- realizar uma pesquisa buscando identificar a percepção ambiental dos moradores sobre e as melhorias propostas para o esgotamento sanitário de um município de pequeno porte;

- propor uma ferramenta computacional para auxiliar na tomada de decisão de projetos que sejam ambientalmente adequados, socialmente justos e economicamente viáveis de tratamento de esgoto.

2.5 REFERÊNCIAS

ABDEL-HALIM, W.; ROSENWINKEL, K. –H. Domestic wastewater treatment and sustainable re-use. Closing the loop. Empowers Regional Symposium: End user Owership and Involvement in IWRM Cairo, Egypt , November 13-17, 2005.

ALATON, I.A., BALCIOGLU, I.A., BAHNEMANN, D.W. Advanced oxidation of a reactive dyebath effluent: Comparison of O3, H2O2/UV-C and TiO2/UV-A processes (2002) Water Research, 36 (5), pp. 1143-1154. DOI: 10.1016/S0043-1354(01)00335-9

ALBA, A. R. F. GARCIA, P. L. GARCIA, R. R. VALIÑO, M. D. FERNANDEZ, S. V. GARCIA, J.M.S. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid: Edupubli. Bibloteca virtual, 2006. Disponível em:
http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2_tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf. Acesso em mar. 2010.

BALLARD, M.M., CLARKE, A.R., SATHER-KNUTSEN, A., BARKDOLL, B.D., AND MIHELCIC, J.R. Collaborative International Research: Technology Transfer & Efficiency of Wastewater Treatment Systems in Rural Communities of Bolivia. World Environmental and Water Resources Congress 2008 Ahupua'a. ASCE-American Society of Civil Engineers. doi:10.1061/40976(316)182

BARROS, R. T. V. *et al*. Saneamento. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. (Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios – volume 2).

BDOUR, A.N., HAMDI, M.R., TARAWNEH, Z. Perspectives on sustainable wastewater treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region. Desalination, v.237, pp. 162-174. 2009.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3. ed. rev. Brasília: FUNASA, 2006. Disponível em:<http://www.funasa.gov.br/internet/arquivos/biblioteca/eng/eng_saneam.pdf> Acesso em: 23 ago. 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. GEO Brasil: Recursos Hídricos. Componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília: MMA; ANA, 2007. 264 p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/SalaImprensa/projetos/livro_GEO.pdf>. Acesso em: 10 out. 2010.

BRUCH, I., FRITSCHE, J., BÄNNINGER, D., ALEWELL, U., SENDELOV, M., HÜRLIMANN, H., HASSELBACH, R., ALEWELL, C. Improving the treatment efficiency of constructed wetlands with zeolite-containing filter sands, Bioresource Technology, Volume 102, Issue 2, January 2011, Pages 937-941, ISSN 0960-8524, 10.1016/ j.biortech.2010.09.041.

CHERNICARO, C.A.L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Volume 5: Reatores anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. Belo Horizonte, 245 p., 1997.

CHURCHOUSE, S., WILDGOOSE, D., 1999, “Membrane Bioreactors Progress from The Laboratory to Full-Scale Use”, Membrane Technology, v. 1999, n. 111, pp. 04-08.

CORDI, L. *et al*. Montagem, partida e operação de um sistema de lodos ativados para o tratamento de efluentes: parâmetros físico-químicos e biológicos. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 5, n. 1, p. 97-115, 2008.

COURACCI FILHO, B. *et al*. Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo.In: CAMPOS, J. R. (Coord.) Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 321-356.)

DEZOTTI, M. Processos e técnicas de controle ambiental de efluentes líquidos. E-papers serviços editoriais Ltda, 2008.

DIAZ, J., AND BARKDOLL, B. Comparison of Wastewater Treatment in Developed and Developing Countries. Conference Proceeding Paper. World Environmental and Water Resource Congress 2006: Examining

the Confluence of Environmental and Water Concerns. ASCE- American Society of Civil Engineers. doi http://dx.doi.org/10.1061/40856(200)370)

DOMHOLDT, E. Rehabilitation research: principles and applications. Missouri: Elsevier Saunders, 2005.

ENGINEERING CONCEPTS INC. (EDITOR) (2010): CHAPTER 6. WASTEWATER COLLECTION SYSTEM ALTERNATIVES. In: Engineering Concepts Inc.; Kapoho Beach Lots (Editor); Farm Lots (Editor); Vacationland Estates Wastewater Feasibility Report (Editor) (2010): Chapter 6 - Wastewater Collection System Alternatives. Hilo. URL [Accessed: 17.08.2010].

GASI, T. M. T. Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. São Paulo: CETESB, 1988. 36 p. (Série Manuais, 3).

GERNJAK, W.; KRUTZLER, T.; GLASER, A.; MALATOS, S.; CACERES, J.; FÉRNANDEZ-ALBA, A.R. Photo-fenton treatment of water containing natural phenolic polluentes. Chemosphere, 50, p.71-78, 2003.

GHERMANDI, A., BIXIO, D., AND THOEYE, C. The role of free water surface constructed wetlands as polishing step in municipal wastewater reclamation and reuse. Sci. Total Environ., in press, doi:10.1016/j.scitotenv.2006.12.038..

GULYAS, H. Process for the removal of the recalcitrant organics from industrial wastewater. Water science and technology, vol. 36, n. 2-3, p. 9-16, 1997.

GOVERNO DA ÍNDIA. Disponível em: <http://www.in.gov/isdh/22963.htm>. Acesso: 20 ago. 2013.

JORDÃO, E.P. E PESSÔA, C.A.; Tratamento de esgotos domésticos, 3a edição; ABES, 1995.

KITCHNHAM, B.A. Procedures for performing systematic reviews, Keele University Technical Report TR/SE-0401 and NICTA Technical Report 0400011T.1, 2004.

LAW, M.; PHILP, I. Systematically reviewing the evidence. In: LAW M. Evidence-based rehabilitation: a guide to practice. Thorofare (NJ): SLACK Inc., 2002.

LI, N. N., FANE, A. G., HO, W.S. W., MATSUURA, T. Advanced membrane technology and aplications. U.S.A.: Wiley, 2008.

MAGEE, D.J. Systematic reviews (meta-analysis) and functional outcome measures. Apostila, Developmental Ed: Aindow, 1998.

MARENGO, J.A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade - Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI (Segunda Edicao). 2. ed. Brasilia: Ministerio do Meio Ambiente. vol. 1, 214 p. http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a06.pdf. 2007.

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. Journal of Environmental Management, 2009; 90: 652–659.

MENDONÇA, N. Tratamento de esgoto sanitário empregando reator de leito expandido em escala plena em zonas anaeróbias e aeróbias sobrepostas. Concepção, construção e operação. 2004. 201p. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo - São Carlos, 2004.

MENG, F. *et al*. Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material. Water Research, v. 43, p. 1489-1512, 2009.

METCALF & EDDY. Wastewater engineering treatment and reuse. 4 th ed. Mc GrawHill, 2003.

MUGA, H.E.; MIHELCIC, J.R.;NATHA, W.R.; MORALES, S.; GEMIO, G.; BALLARD, M.; FUCHS, V.J.; HANSON, C.M.; JOHNSON, E.M.; HOYT, A.M. Treatment Performance of Wastewater Lagoons in South Yungas Province of Bolivia. World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers © 2009 ASCE. Disponível em: <

http://scitation.aip.org/getpdf/servlet/GetPDFServlet?filetype=pdf&id=ASCECP000342041036000586000001&idtype=cvips&doi=10.1061/41036(342)586&prog=normal> Acesso: 11 nov.2011.

NAVARRO, A. F. AND PALLADITO, L.A.; Degradación de Efluentes Líquidos mediante Lechos Fluidizados, Actas del XXII Interamerican Congress of Chemical Engineering, 11b Pollution Remediation (106-032). Buenos Aires, Argentina 1 al 4 de Octubre (2006).

NYWENING, J.P.; ZHOU, H. Influence of filtration conditions on membrane fouling and scouring aeration effectiveness in submerged membrane bioreactors to treat municipal wastewater, Water Research, v. 43, p. 3548-3558, 2009.

ORGANIZATION OF AMERICAN STATES (OAS), Source book of alternative technologies for freshwater augmentation in Latin America and the Caribbean, Estados Unidos, 1997.

REBOUÇAS, A.C. Águas doces no Brasil - capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras Editora. Pg. 1-59. 1999.

ROMERO-AGUILAR, M.; COLÍN-CRUZ, A.; SANCHES–SALINAS, E.; ORTIZ-HERNÁNDEZ,M.L. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgânica. Revista Internacional de Contaminação Ambiental, V.25, n. 3, México, ago.2009. http://www.rad.unam.mx/ojs/index.php/rica/article/viewFile/21580/21594

SAMPAIO, R.F.; MANCINI, M.C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. Revista Brasileira de Fisioterapia, v.11, n.1, p.83-89, 2007.

SANZ, J.; LOMBRAÑA, J. I.; MA. DE LUIS, A.; ORTUETA, F.; VARONA, F. Analysis of the efficiency of three advanced oxidation processo n the generation of hydroxyl radicals in the treatment of phenol. Universidad del Pais Vasco (UPV/EHU). 15th. International Congress of Chemical and process Engineering, 2002.

TORRADES, F.; PÉREZ, M.; MANSILLA, H.D.; PERAL, J. Experimental design of fenton and photo-fenton reactions for the treatment of cellulose bleaching. Chemosphere, 53, p. 1211-1220, 2003.

UNITED NATIONS (2014) UN DOCUMENTS Gathering a body of global agreements. Our Common Future, Chapter 2: Towards Sustainable Development. Disponível em: <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm#I>. Acesso: 07 abril 2014.

VON SPERLIN, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos/ Marcos Von Sperling – 3. Ed.- Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). 2008. UN-Water Global Annual Assessment of Sanitation and Drinking Water. Pilot Report. Testing a New Reporting Approach, Geneva, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/emergencies/fs3_11.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2011

ZENG, G., GIANG, R., HUANG, G., XU M., AND LI J., Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. Journal of Environmental Management, 82 2 (2007), pp. 250–259 doi:10.1016/j.jenvman.2005.12.024

3. ARTIGO 2 – A OPINIÃO DE ESPECIALISTAS SOBRE A DIFICULDADE E A IMPORTÂNCIA EM ALCANÇAR OS PARÂMETROS DE LANÇAMENTO DE ESGOTOS EXIGIDOS PELA LEGISLAÇÃO

Renata Cornelli
Ângela Danilevcz
Lia Buarque de Macedo Guimarães

RESUMO

Este estudo buscou conhecer a opinião da equipe técnica (responsável pelo tratamento de esgoto em concessionárias municipais e estaduais) sobre os parâmetros exigidos pela Resolução do CONAMA nº 357/05 (complementada e alterada pela nº 430/11) e Resolução do CONSEMA nº 128/06 que tratam, respectivamente, dos padrões brasileiros e gaúchos de qualidade da água e lançamento de efluentes para esgotos domésticos. Objetivou, também, identificar um método de tratamento que melhor atenda aos parâmetros críticos de lançamento de esgoto tanto em relação à sua importância para o controle quanto à sua dificuldade de tratamento. Para tal, foi pesquisado, na literatura, a composição qualitativa dos esgotos domésticos e as consequências, para a saúde humana e para a animal, do não cumprimento de determinados parâmetros das Resoluções. A seguir, foi enviado um questionário, por e-mail, para mais de 40 concessionárias responsáveis pelo tratamento de esgoto em diversos estados Brasileiros. Com base em 10 respostas, foi possível organizar uma Matriz de Importância-Desempenho para alguns dos parâmetros analisados, o que apontou que o nitrogênio, o fósforo, os vírus e os protozoários devem ser priorizados no planejamento de ações de melhoria no controle. A luz dos resultados obtidos em estudo anterior, esses parâmetros foram analisados nos métodos de tratamento de esgoto priorizados e como resultado encontrado, o sistema de tratamento que melhor auxilia o atendimento aos padrões exigidos na legislação são as *wetlands, MBR,* sistemas de lagoas e biofilmes.

Palavras-Chave: Parâmetros de lançamento de efluentes; CONSEMA; CONAMA; Matriz Importância-Desempenho.

3.1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural renovável essencial para a sobrevivência de todas as espécies que habitam a Terra. Nos organismos humanos, a água representa 70% da massa

corporal funcionando como um veículo para a troca de substâncias e para a manutenção da temperatura do corpo. Além disso, é considerada solvente universal e uma das poucas substâncias que podem ser encontradas em três estados físicos: gasoso, líquido e sólido (LEGAN, 2007). Sua disponibilidade pode ser gradualmente reduzida devido à contaminação por diversos meios, incluindo as águas subterrâneas, o que representa um desequilíbrio ecológico, econômico e social (ESPONDA, 2001).

Com o crescimento da população e a aceleração das atividades humanas, os problemas relacionados à água tendem a piorar, a menos que os processos de gestão de águas sejam melhorados em um curto espaço de tempo (DIAZ, 2006). No Brasil, a maior carência está no saneamento básico, sendo que, dados do censo de 2010 do IBGE (IBGE, 2010) apontam que apenas 55,4% dos 57,3 milhões de domicílios estão ligados à rede geral de esgoto, 11,6% utilizam fossa séptica e os demais 32,9% não têm saneamento básico, perfazendo nesta última situação um total de 18,9 milhões de domicílios brasileiros. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico-IBGE (2008), somente 10% do esgoto gerado recebe algum tipo de tratamento, enquanto que os outros 90% são despejados in natura nos solos, rios, córregos e nascentes, constituindo-se na maior fonte de degradação do meio ambiente e proliferação de doenças.

Entre as doenças atreladas ao problema ‘esgoto’, estão as diarreicas que, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), mata em torno de 2,1 milhões de pessoas anualmente (MASSOUD, 2009). No site do Governo da Índia (ÍNDIA, 2013) consta uma relação extensa de doenças, dentre elas: c*ampilobacteriose* (infecção intestinal/ diarreia bacteriana), *criptosporidíase* (infecção por protozoária/diarreia),diarreia (*escherichia coli*), encefalite (inchaço e inflamação no cérebro), gastroenterite (inflamação do estômago e do intestino), giardíase (infecção intestinal), hepatite A, leptospirose, metahemoglobinemia (manifestação de intoxicação), poliomielite, *salmonelose* (intoxicação alimentar), *shingelose* (disenteria bacteriana), febre tifoide, febre paratifoide e *yersiniose* (peste bubônica).

Além das doenças, existe o problema ambiental do lançamento de esgotos, que, mesmo tratado, pode causar, dentre outras coisas, poluição nos corpos d´água receptores, devido à carga poluidora presente. Um dos exemplos é a eutrofização de águas naturais (lagos, estuários, represa...) causados por macro nutrientes como nitrogênio e fósforo. Como consequências da eutrofização, tem-se o crescimento acentuado de diversas algas, entre elas as cianofíceas, além de problemas associados à transparência, ao gosto, ao odor e à potabilidade, devido ao aumento da quantidade de nutrientes em corpos d´água (SINELLI, DA SILVA E SOBRINHO,2002).

A consciência pública sobre os problemas de poluição tem aumentado significativamente nas últimas décadas, levando a um aumento de regulações rigorosas sobre

a descarga de águas residuais (ZENG, 2007), sendo que, em países como o Brasil, verificam-se grandes avanços neste sentido (DIAZ, 2006).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é identificar um método de tratamento de esgoto que melhor atenda aos parâmetros críticos de lançamento de esgoto em relação a dois critérios: importância de controle e dificuldade de tratamento (segundo a opinião dos especialistas).

Na seção 2, é apresentado um breve levantamento sobre o esgoto sanitário e sua composição. A seção 3 busca mostrar a evolução da legislação quanto ao tratamento de esgoto. A seção 4 apresenta o método utilizado para avaliar a opinião da equipe técnica de concessionárias responsáveis pelo tratamento de esgoto, cujos resultados são apresentados e discutidos na seção 5. Para finalizar, a seção 6 traz as conclusões sobre o presente estudo.

3.2 ESGOTO SANITÁRIO E SUA COMPOSIÇÃO

Para a Organização Mundial de Saúde (OMS), o saneamento básico é o "gerenciamento ou controle dos fatores físicos que podem exercer efeitos nocivos no ser humano, prejudicando seu bem-estar físico, mental e social" (PHILIPPI JR; MALHEIROS, 2005). No Brasil, a lei Federal n.º 11.445 (BRASIL, 2007), conhecida como a Lei do Saneamento Básico, define saneamento como um "conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais". Dá aos mesmos as seguintes definições:

> a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;
> b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;
> c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;
> d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.

Além da deficiência de saneamento básico, existe o problema do aumento do consumo de água pela população e a consequente ampliação do volume de águas residuais não

reaproveitadas que, quando não tratadas de modo adequado, acabam poluindo as áreas receptoras, causando desequilíbrio ecológico ou destruindo recursos naturais. Essas águas, juntamente com as de escoamento superficial e as de possíveis drenagens subterrâneas, acabam por formar os esgotos, que podem ser classificados de acordo com a sua origem como (FERNANDES, 1997):

- esgoto sanitário ou doméstico ou comum;
- esgoto industrial;
- esgoto pluvial.

Jordão (2005) amplia esta classificação, incluindo os lodos das estações de tratamento da água.

A NBR 9648 (1986, p.1) trata do estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário (procedimento) e traz as seguintes definições:

- Esgoto sanitário: é o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária.
- Esgoto doméstico: é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas.
- Esgoto industrial: é o despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos.

Em complemento, Fernandes (1997) define esgoto pluvial como o que tem sua vazão gerada a partir da coleta de águas de escoamento superficial originadas das chuvas e drenos subterrâneos. Para Jordão (2005), o lodo é composto por coagulante, sólidos sedimentados além de bactérias e organismos.

A composição quantitativa dos esgotos de origem residencial constitui-se de aproximadamente 99,9% de água. O problema está nesta fração de 0,01% de sólidos (orgânicos, inorgânicos, suspensos e dissolvidos) bem como micro-organismos que fazem com que haja necessidade de se tratar os esgotos (UEHARA E VIDAL, 1989); (FERNANDES, 1997; NUNES, 2011). A Figura 9 ilustra esta relação.

Por ser a água o meio de transporte para que o ser humano consiga diariamente eliminar substâncias orgânicas, inorgânicas e biológicas, o corpo hídrico que recebe os esgotos termina por se deteriorar e por isso é muito importante conhecê-los para desenvolver e planejar um sistema de tratamento de esgoto de qualidade (UEHARA, 1989).

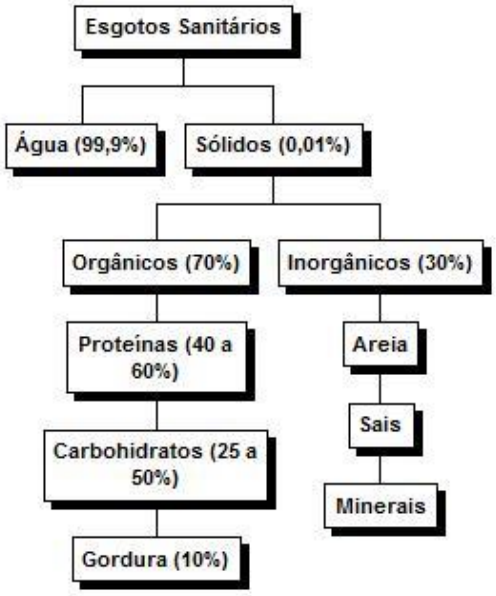


Figura 9 - Composição qualitativa dos esgotos sanitários
Fonte: UEHARA e VIDAL 1989)

3.3 EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Como forma de regulamentar as condições e os padrões de lançamento de efluentes líquidos, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) dispõe a Resolução nº. 357/05 alterada pela nº. 430/11. O Conselho Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (CONSEMA) dispõe a Resolução nº. 128/06.

A Figura 10 apresenta um resumo das principais leis e resoluções relacionadas ao lançamento de esgoto no Brasil e no Rio Grande do Sul, com base em pesquisa bibliográfica e no estudo de Andreazza *et al.* (1994).

Item	Ano	Descrição
Código das águas (Decreto 24.643/34 e Decreto-lei 852/38)	1934	Considerado o marco da legislação sobre águas do país, incluindo algumas normas de proteção contra a poluição (Artigo 109 e 110).
Código Penal Brasileiro (Decreto-lei 2848)	1940	Estabelece a proteção da água potável contra o "envenenamento, corrupção e poluição".
Código Nacional da Saúde (Decreto 49.974-A)	1960	Estabeleceu restrições e obrigações por parte das industrias no sentido de um controle do lançamento dos resíduos líquidos.
Decreto Federal 50.877	1960	Primeira legislação específica sobre a poluição das águas
Código Florestal (Lei 4771)	1965	Neste código foi mencionado pela primeira vez às faixas de proteção as margens dos rios.
Código da Pesca (Decreto-Lei 221)	1967	Estabeleceu o Código de Pesca.
Código de	1967	Instituiu o Código de Mineração.

Mineração (Lei 227)		
Conselho Nacional de Controle da Poluição Ambiental (Decreto-Lei 303)	1967	Criou o Conselho Nacional de Controle da Poluição Ambiental e introduziu a expressão meio ambiente.
Secretaria Especial do Meio Ambiente	1973	Criou a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA) com o objetivo de elaborar, controlar e fiscalizar normas e padrões relativos à preservação do meio ambiente.
Decreto-Lei 1.413	1975	Estabeleceu o zoneamento urbano para áreas críticas de poluição.
Decreto-Lei 76.389	1975	Dispõe sobre medidas de prevenção e controle de poluição industrial.
Portaria 013/Minter	1976	Estabeleceu um critério de classificação das águas interiores, fixando padrões de qualidade e parâmetros a serem observados.
Lei 6.803	1980	Estabeleceu diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição.
Resolução do CONAMA n^0. 20	1986	Estabeleceu a seguinte classificação das águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional:
Resolução do CONAMA n^0. 10	1988	Estabeleceu competências e objetivos das Áreas de proteção ambiental (APA's) impondo a obrigatoriedade de sistema de coleta e tratamento de esgotos em áreas urbanizadas das mesmas.
Lei das águas n^0. 9.433	1997	Estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) com o objetivo de assegurar a disponibilidades de águas em padrões de qualidade adequados.
Lei Estadual n^0. 12.307	2003	Dispõe sobre a Política Estadual de Saneamento e dá outras providências.
Resolução do CONAMA n^0. 357	2005	Dispõem sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para seu enquadramento e dá outras providências
Resolução do CONSEMA n^0. 128	2006	Dispõem sobre padrões de emissão de efluentes líquidos em águas superficiais do Rio Grande do Sul
Resolução do CONSEMA n^0. 129	2006	Dispõe sobre a definição de Critérios e Padrões de Emissão para Toxicidade de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul.
Lei Federal n^0. 11.445	2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.
Resolução CONAMA n^0. 396	2008	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.
Resolução CONAMA n^o. 397	2008	Altera o inciso II do § 4o e a Tabela X do § 5º, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA no 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.
Resolução do CONSEMA n^0. 245	2010	Dispõe sobre a fixação de procedimentos para o licenciamento de Sistemas de Esgotamento Sanitário, considerando etapas de eficiência, a fim de alcançar progressivamente os padrões de emissão e os padrões das Classes dos corpos hídricos receptores, em conformidade com os Planos de Saneamento e de Recursos Hídricos.
Resolução CONAMA n^0. 430	2011	Dispõe sobre condições e padrão de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357/05.
Resolução do CONSEMA n^0. 276	2013	Dispõe sobre excepcionalidade nos sistemas de tratamento de esgotos sanitários, no que diz respeito aos padrões e condições para a emissão de efluentes líquidos domésticos em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul

Figura 10 - Progresso da legislação sobre lançamento de esgotos no Brasil e no Rio Grande do Sul.
Fonte: Adaptado de Andreazza *et al.* (1994)

No ano de 2011, houve a publicação da Resolução nº. 430 do CONAMA alterando a Resolução nº. 357/05 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes em

nível federal. Já no ano de 2013, a nova Resolução do CONSEMA nº. 276/13 fez com que houvesse uma migração das Resoluções nº. 128 e 129 para a CONAMA nº 430/11 (sendo esta a que hoje vigora no Rio Grande do Sul). A título de comparação entre as resoluções federal e estadual, a Figura 11 apresenta os parâmetros e valores máximos de emissão de esgotos doméstico-sanitários da resolução do CONAMA nº. 430/11 e da resolução do CONSEMA nº. 128/06, evidenciando a importância dos principais e as consequências do seu não atendimento.

Parâmetros	**CONAMA Nº 430/11 (V. Máx.)**	**CONSEMA Nº 128/06 (V. Máx)**	**Importância**
Ferro dissolvido mg/L Fe	15		• Tem pouco significado sanitário nas concentrações usualmente encontradas nas águas naturais • Em pequenas concentrações causam problemas de cor na água • Em certas concentrações causam sabor e odor.
Ferro total mg Fe/L		10	
Fósforo			• Não apresenta problemas de ordem sanitária nas águas de abastecimento. • O fósforo é outro elemento indispensável para o crescimento das algas e, em concentrações elevadas em lagos e represas pode levar a eutrofização; • O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica.
Fluoreto total mg/L F	10	10	
Lítio Total mg Li/L		10	
Manganês dissolvido mg/L Mn	1,0	1,0	• Tem pouco significado sanitário nas concentrações usualmente encontradas nas águas naturais • Em pequenas concentrações causam problemas de cor na água • Em certas concentrações causam sabor e odor.
Nitrogênio Amoniacal total mg/L N	20,0		• O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento das algas e, em concentrações elevadas em lagos e represas pode levar a eutrofização; • Na conversão da amônia a nitrito e deste o nitrato, implica no consumo de OD no meio (o que pode afetar a vida aquática) • O nitrogênio na forma de amônia livre é diretamente tóxico aos peixes

Figura 11 - Comparativo entre as Resoluções CONAMA nº. 430/11 e CONSEMA nº. 128/06 e a importância dos principais parâmetros.
Fonte: CONAMA nº. 430/11, CONSEMA nº. 128/06, VON SPERLING (1996), Fernandes (1997), Jordão (2005), Metcalf & Eddy (2003).

O Artigo 21 da Resolução 430/11 do CONAMA traz ainda as seguintes condições para o lançamento de esgotos sanitários:

I - Condições de lançamento de efluentes:

a) pH entre 5 e 9;

b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone *Inmhoff*. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

e) substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e

f) ausência de materiais flutuantes.

3.4 AVALIAÇÃO DA OPINIÃO DA EQUIPE TÉCNICA DE CONCESSIONÁRIAS RESPONSÁVEIS PELO TRATAMENTO DE ESGOTO

Nesta seção serão apresentadas as opiniões dos técnicos sobre os parâmetros de tratamento de esgoto.

3.4.1 Questionário Aplicado nas Concessionárias Municipais e Estaduais Responsáveis pelo Tratamento de Esgoto

Para o levantamento da realidade enfrentada pelos técnicos responsáveis pelo tratamento de esgoto das cidades, foi elaborado um questionário buscando conhecer a opinião dos mesmos e entender as dificuldades encontradas por eles em atender a legislação vigente. Para isso foi elaborado um questionário com 3 perguntas, que foi enviado, por e-mail, às concessionárias responsáveis pelo tratamento de esgoto de diversas cidades (conforme apêndice C). Dos mais de 40 enviados, 10 questionários foram respondidos pelo responsável

pelo tratamento de esgoto de cada localidade participante: Distrito Federal (1), Minas Gerais (1), Rio Grande do Sul (3), Rio de Janeiro (2), Santa Catarina (1) e São Paulo (2).

As perguntas do questionário são: 1) Em sua opinião, dos parâmetros listados abaixo, quais são os principais a serem controlados em uma Estação de Tratamento de Esgotos Domésticos (ETE)? Enumere-os: 1 (mais importante) a 20 (menos importante) sem repetir a numeração. 2) Dos citados na questão anterior, explicar quais (também em ordem de importância) você acha mais difícil controlar? 3) Sobre os diversos tipos de tratamento de esgotos, cite 3 que para você atendem a legislação federal (Conama 357/05 alterada com a 430/11)?

Para organizar as respostas obtidas, foi utilizada uma adaptação do método de Design Macroergônomico desenvolvido por Fogliatto e Guimarães (1999). Neste método, são priorizados os Itens de Demanda (ID) elencados pelo usuário. Essa ordem de menção foi incorporada aos pesos de importância usando uma função recíproca. Com isso, um ID mencionado pelo usuário recebeu peso de importância 1/N, onde N é a ordem na qual a demanda surgiu (conforme mostram as Tabelas 1 e 2).

3.4.2 Utilização da Matriz Importância-Desempenho (SLACK)

De forma a ilustrar as relações entre as perguntas 1 e 2, utilizou-se a Matriz Importância-Desempenho de Slack e Hill (1993). Ela foi desenvolvida com o objetivo de direcionar as ações estratégicas de produtos considerando a visão dos consumidores, concorrentes e a própria estratégia empresarial (SLACK, 1993). De início, os autores restringiram a utilização da matriz nas áreas de produção (mais especificamente em melhorias do processo produtivo) porém, estudos relatam que ela também pode ser útil para a avaliação do posicionamento das empresas com relação aos seus concorrentes. No caso do presente estudo, ela foi utilizada para avaliar o questionário aplicado aos técnicos responsáveis pelo tratamento dos esgotos. Assim, a primeira escala - de Importância- indica quais são os parâmetros (na opinião dos respondentes) mais importantes a serem controlados em uma ETE de esgotos domésticos (ver Tabela 1). Já a segunda escala – de Desempenho- indica quais são os parâmetros mais difíceis de serem controlados em uma ETE de esgotos domésticos (ver Tabela 2).

Slack (1993) ainda divide a figura em quatro zonas que serão adaptadas conforme segue:

- Zona adequada: os parâmetros que se encontram nesta área devem ser considerados satisfatórios, pois eles se posicionam acima da fronteira inferior de aceitabilidade.

- Zona de melhoramento: quaisquer parâmetros nesta área devem ser considerados necessitados de um programa de melhoria;

- Zona de ação urgente: Os parâmetros posicionados nesta área são importantes, porém necessitam melhorar o seu desempenho;

- Zona do excesso: os parâmetros, nesta área, têm seu desempenho muito melhor do que poderia ser necessário ou suficiente, podendo significar, sim ou não, que recursos em demasia estão sendo usados para atingi-lo.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Resultados do Questionário

As Tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos para as perguntas 1 e 2 do questionário enviado para avaliação da opinião da equipe técnica de concessionarias responsáveis pelo tratamento de esgoto de 10 concessionárias municipais de diversas cidades do país.

Tabela 1 - Aplicação da ferramenta "Design Macroergonômico" para a tabulação dos dados da questão 1: Em sua opinião, dos parâmetros listados abaixo, quais são os principais a serem controlados em uma Estação de Tratamento de Esgotos Domésticos? Enumere-os: 1 (mais importante) a 20 (menos importante) sem repetir a numeração.

PARÂMETRO	IMPORTÂNCIA	Relativizar (%)	Escala de 9
DBO**	14,50	16,12	9
DQO**	11,33	12,60	7,0
Nitrogênio total**	8,06	8,96	5,0
Turbidez*	6,56	7,29	4,1
pH**	4,96	5,51	3,1
Odor*	4,21	4,68	2,6
Fósforo**	3,99	4,44	2,5
Bactérias ***	3,94	4,38	2,4
Carbono Orgânico total**	3,76	4,18	2,3
Sólidos totais **	3,67	4,08	2,3
Protozoários***	3,26	3,62	2,0
Temperatura*	2,97	3,30	1,8
Vírus***	2,96	3,29	1,8
Cor*	2,88	3,20	1,8
Óleos e graxas**	2,74	3,05	1,7
Alcalinidade **	2,35	2,61	1,5
Fungos***	2,03	2,26	1,3
Material inorgânico**	1,69	1,88	1,0
Cloretos**	1,49	1,66	0,9

*Físicos, **Químicos e ***Biológicos

Tabela 2 - Resposta da pergunta 2 sobre a dificuldade de tratamento dos parâmetros: "Dos citados na questão anterior, explicar quais (também em ordem de importância) você acha mais difícil controlar"?

PARÂMETRO	IMPORTÂNCIA	Relativizar (%)	Escala de 9
Nitrogênio total**	8,33	19,75	9
Processos microbiológicos***	5	11,86	5,40
Protozoários***	5	11,86	5,40
Vírus***	5	11,86	5,40
Fósforo total**	4,75	11,26	5,13
Odor*	4,17	9,89	4,51
Fungos***	2,5	5,93	2,70
Sólidos Totais**	2,5	5,93	2,70
Bactérias***	1,67	3,96	1,80
Cloreto**	1,25	2,96	1,35
DBO**	1	2,37	1,08
Material Inorgânico**	1	2,37	1,08

*Físicos, **Químicos e ***Biológicos

A Tabela 3 traz a frequência apontada para a questão 3: " Sobre os diversos tipos de tratamento de esgotos, cite 3 que para você atendem a legislação federal Conama nº. 430/11?"

Tabela 3 - Frequência dos métodos de tratamento de esgoto utilizados pelos especialistas consultados

MÉTODOS DE TRATAMENTO	Frequência apontada
Lodos Ativados	5,83
Sistema de lagoas	2,67
Fossa séptica/filtro anaeróbio	2,33
UASB	2,00
Pré-tratamento + emissário submarino	1,83
Digestor anaeróbio+filtro biológico +banhado	1,33
Disposição no solo	1,17

3.5.2 Análise das Respostas Encontradas Utilizando a Matriz Importância-Desempenho de Slack

A título de avaliar os resultados das Tabelas 1 e 2 foi utilizada a matriz importância-desempenho, cujos resultados estão na Figura 12.

A título de avaliar os resultados das Tabelas 1 e 2 foi utilizada a matriz importância-desempenho, cujos resultados estão na Figura 12.

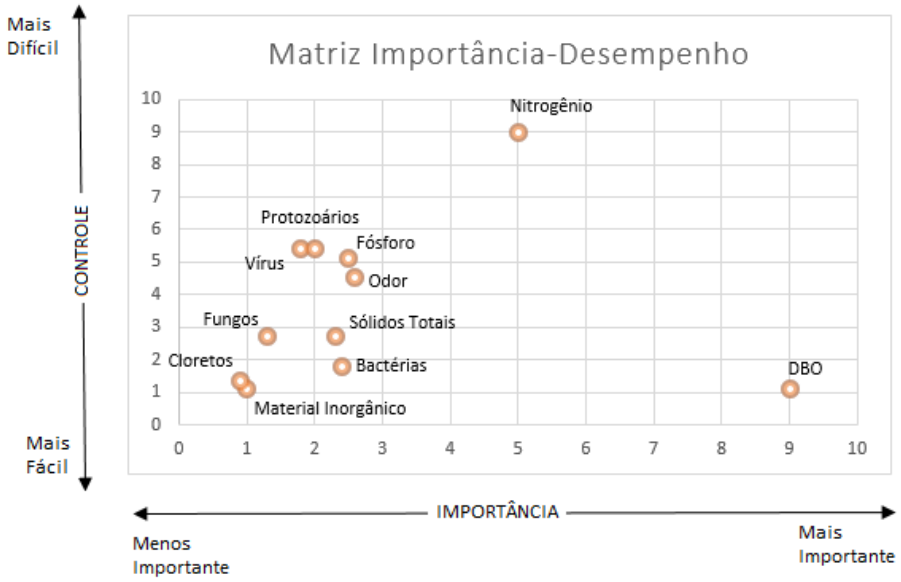


Figura 12 - Matriz Importância-Desempenho dos parâmetros de controle e sua importância em uma ETE.

Com base na Figura 12, foi constatado que os parâmetros que precisam de atenção são: nitrogênio, fósforo, vírus e protozoários (agrupados em Nutrientes- para nitrogênio e fósforo- e Patógenos - vírus e protozoários). Estes parâmetros foram, então, comparados com os métodos de tratamento citados na questão 3 a título de verificar qual (ou quais) desses métodos poderiam auxiliar no atendimento ao parâmetro a ser controlado. Essa comparação foi feita também com figura de estudo anterior acrescendo na Tabela 4 a eficiência na remoção de determinado parâmetro de acordo com o método de tratamento.

Tabela 4: Eficiência na remoção de nutrientes e patógenos de alguns métodos de tratamento de esgoto

	Nutrientes	**Eficiência na remoção de nutrientes**	**Patógenos**	**Eficiência na remoção de patógenos**
Lodos ativados	Atende	N <60% [5] P <35%	Parcialmente	Entre 75 e 95%[5]
Processos anaeróbios	Parcialmente	N <60%[5] P <35%	Não Atende	Entre 70 e 90%[5]
Wetlands	Atende	Entre 57 e 92% [2]	Atende	Entre 90 e 99%[5]
MBR	Atende	N ≈76% [1] P ≈58%	Atende	100%[4]
Tanque séptico	Parcialmente	N <30% P <35% [5]	Parcialmente	Entre 70 e 90%[5]
POA (processos oxidativos avançados)	Não atende	Não satisfatório [3]	Atende	Não satisfatório [3]
Sistema de lagoas	Atende	N≈75 e 90% e P≈50 e 60%[5]	Atende	Entre 99 e 99,9%[5]
Biofilme	Atende	N≈76 e 96%[6]	Atende	≈90%[5]

Fonte: (1) Ersu *et al.* (2008), (2) Philippi e Sezerino (2004), (3)Moravia *et al.* (2011), (4) Tsutiya *et al.* (2001), (5) Von Sperling (2005) e (6) Whang *et al.* (2008).

Assim, comparado o atendimento à legislação com a eficiência do método, os que constam como mais eficientes tanto na remoção de nutrientes quanto de patógenos são: *wetlands,* MBR, sistemas de lagoas e biofilmes. Ficou claro, também, que são poucas as empresas de saneamento que utilizam algum dos métodos encontrados. A tendência e utilizar somente sistema de lagoas, o que pode ser uma resposta à dificuldade encontrada em atender aos padrões exigidos pela legislação vigente.

3.6 CONCLUSÃO

Este artigo calcou-se em duas investigações: 1) pesquisa bibliográfica para conhecer as leis e normas existentes sobre esgoto sanitário doméstico e verificar a vigência das mesmas, tendo como base manuais do Ministério da Saúde, artigos científicos e teses que pudessem evidenciar os instrumentos legais sobre os padrões de emissões de efluentes líquidos no Brasil (federal-CONAMA) e no Estado do Rio Grande do Sul (estadual-CONSEMA) e; 2) levantamento da opinião de especialistas responsáveis pelo tratamento de esgoto de concessionárias municipais e estaduais quanto à legislação e, também, o conhecimento dos mesmos sobre os parâmetros de lançamentos de esgoto, a importância dos mesmos e a dificuldade para controlá-los. Os resultados obtidos quanto a importância dos parâmetros e a dificuldade em atendê-los produziu uma matriz de Importância-Desempenho, que evidenciou que o nitrogênio e fósforo (nutrientes) além de vírus e protozoários (patógenos) são os parâmetros mais importantes e difíceis de controlar.

Essas informações foram de grande valia pois somente assim foi possível comparar os resultados encontrados neste estudo com os resultados encontrados no estudo anterior realizado por Cornelli *et al.* (2014A) que trata dos métodos de tratamento de esgoto (vantagens e desvantagens). Essas informações foram comparadas, resultando que os melhores sistemas são as *wetlands, MBR,* sistemas de lagoas e biofilmes. Comparando esses resultados com as informações prestadas pelas companhias de saneamento, poucas delas utilizam um desses dois métodos (utilizam somente o sistema de lagoas). Isso mostra que não são realizados estudos para verificar qual o melhor método que atende parâmetros críticos. Muitas vezes são utilizadas alternativas caras ou que precisam de constante acompanhamento técnico especializado tornando-as inviáveis, ainda mais quando se trata da aplicação em municípios de pequeno porte e por isso a importância de buscar uma alternativa considerada sustentável (nos aspectos econômicos, ambientais e sociais).

3.7 REFERÊNCIAS

ANDREAZZA, A. M. P., BINOTTO, R. B., MARQUES, D. M. L. M., SCHWARZBOLD, A. (1994). Qualidade da água na legislação ambiental brasileira. In: Qualidade de águas continentais no Mercosul. ABRH Publicação no. 2, dez 1994. 420 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9.649:** Projeto de Redes Coletoras de Esgoto, Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 9648**: Estudo de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário, Rio de Janeiro, 1986.

BRASIL. **Lei Federal n°11.445,** de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as leis n° 6.766 de 19 de dezembro de 1979; 8.036 de 11 de maio de 1990; 8.666 de 21 de junho de 1993; 8.987 de 13 de fevereiro de 1996; revoga a lei n° 6.528 de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm >. Acesso em: 06 jul.2011.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n°357/2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http: http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf >. Acesso em: 13 ago.2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n°430/2011.** Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Disponível em: <http: http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646 >. Acesso em: 13 ago.2012.

CORNELLI, R.; AMARAL, F.G.; DANILEVICZ, A.M.D.; GUIMARÃES, L.B.M. [*Working paper]* **Métodos de Tratamento de efluentes domésticos: Uma revisão sistemática**. 2014A.

DIAZ, J., AND BARKDOLL, B**. Comparison of Wastewater Treatment in Developed and Developing Countries.** Conference Proceeding Paper. World Environmental and Water Resource Congress 2006: Examining the Confluence of Environmental and Water Concerns. ASCE- American Society of Civil Engineers. doi http://dx.doi.org/10.1061/40856(200)370)

ERSU, C.B. *et al*. Comparison of recirculation configurations for nutrient removal in a membrane bioreactor. Water Research, v. 42, p. 1651-1663, 2008.

FERNANDES, C. Esgoto Sanitário. João Pessoa, Ed. Universitária. 1997.

FOGLIATTO, F.; GUIMARÃES, L.B.M. *Design* Macroergonômico: uma proposta metodológica para projeto de produto. **Produto & Produção.** v3, n.3, 1999, p. 1-15.

GOVERNO DA ÍNDIA. Disponível em: <http://www.in.gov/isdh/22963.htm>. Acesso: 20 ago. 2013.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. Saneamento básico. 2007. Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Resultado do Censo 2010 publicados no Diário Oficial da União do dia 04/11/2010:** Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_dou/RS2010.pdf. Acesso em: 10 fev.2013.

_____ **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico -2008.**. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1691&id_pagina=1 >. Acesso em 22 ago.2012.

JORDÃO, E.P. Tratamento de esgotos domésticos. 4 Ed. RJ. 2005.

LEGAN, L. Soluções Sustentáveis Permacultura na Agricultura Familiar. Pirenópolis, GO: Mais Calango Editora. Pirenópolis, GO: Ecocentro IPEC (Instituto de Permacultura e Ecovilas do Cerrado), 2007. P.61-63

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. Journal of environmental management, v. 90, n. 1, p. 652-659, 2009.

METCALF, L.; EDDY, H. P.; TCHOBANOGLOUS, Georg. Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse. McGraw-Hill, 2010.

MORAVIA, W.G. *et al*. Evaluate of advanced oxidative process by Fenton reagent under optimized conditions for landfill leachate treatment of with emphasis on collective parameters and characterization of sludge generated. Química Nova, v. 34, n. 8, p. 1370-1377, 2011.

PHILIPPI, L. S. & SEZERINO, H. P. Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas. 1ª ed. Florianópolis/SC. Ed. do Autor 2004. 144p.

PHILIPPI JR., A.; MALHEIROS, T.F. **Águas Residuárias: Visão de Saúde Pública e Ambiental.** In: SANEAMENTO, SAÚDE E AMBIENTE. Fundamentos para um Desenvolvimento Sustentável, 2005, Barueri, SP.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente. Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução n°128/2006**. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CONSEMA, 2006. Disponível em: < http://www.sehabs.rs.gov.br/conteudo/4937/?Resolu%C3%A7%C3%A3o_CONSEMA_N%C2%BA_128%2F2006>. Acesso em: 10 mai. 2011.

_____. Secretaria do Meio Ambiente. Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução n°129/2006**. Dispõe sobre a definição de critérios e padrões de emissão para toxicidade de efluentes líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CONSEMA, 2006. Disponível em: < http://www.sema.rs.gov.br/upload/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CONSEMA%20n%C2%BA%20129_2006%20-%20Dispoe%20sobre%20a%20defini%C3%A7%C3%A3o%20crit%20e%20padroes%20emissao%20toxic%20efluent%20liqu%20lan%C3%A7ados%20nas%20aguas%20superf%20RS.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2011.

_____. Secretaria do Meio Ambiente. Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução n°245/2010**. Dispõe sobre a fixação de procedimentos sobre licenciamento de Sistemas de Esgotamento Sanitário, considerando etapas de eficiência a fim de alcançar progressivamente os padrões de emissão e os padrões das Classes dos corpos hídricos receptores, em conformidade com os Planos de Saneamento e de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 2010. Disponível em: < http://www.sema.rs.gov.br/upload/Resolucao%20CONSEMA%20245-2010.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2011.

_____. Secretaria do Meio Ambiente. Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução n°276/2013**. Dispõe sobre excepcionalidade nos sistemas de tratamento de esgotos sanitários, no que diz respeito aos padrões e condições para a emissão de efluentes líquidos domésticos em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CONSEMA, 2013. Disponível em: < http://www.sema.rs.gov.br/upload/Resolução%20CONSEMA%20nº%20276_2013%20-Dispoe%20sobre%20excepcionalidade%20nos%20sitemas%20tratamento%20esgotos%20sanitarios_padroes%20e%20condiçoes%20emissao%20efluentes%20liquidos%20domesticos.pdf>. Acesso em: 10 out. 2013.

SINELLI, P. H. *et al*.Remoção de fósforo de efluente de tratamento anaeróbio por processo físico-químico. In: **Gestión inteligente de los recursos naturales: desarrollo y salud**. FEMISCA, 2002. p. 1-8.

SLACK, N. *et al*.Vantagem competitiva em manufatura. **São Paulo: Atlas**, v. 2, 1993.

TSUTIYA, M.T., SCHNEIDER, R. P. **Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso.** ABES, 2001, 234p.

UEHARA, M. Y.; VIDAL, W. L. **Operações e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas**. São Paulo, CETESB (série manuais). 1989. 89p.

UEHARA, M. Y. **Operação de lagoas anaeróbias e facultativas**. São Paulo. 1989.91p.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG, 1996.

ZENG, Y. *et al*. Feasibility investigation of oily wastewater treatment by combination of zinc and PAM in coagulation/flocculation. **Journal of hazardous materials,** v.147, n.3, p. 991-996, 2007.

4. ARTIGO 3 – PERCEPÇÃO AMBIENTAL DOS MORADORES DA CIDADE DE SÃO MARCOS-RS SOBRE AS CONDIÇÕES DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Renata Cornelli
Lia Buarque de Macedo Guimarães

Artigo submetido em 11/08/2014 para publicação na revista Engenharia Sanitária e Ambiental

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo de como os habitantes do município de São Marcos, na Encosta Superior do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, percebem as condições de esgotamento sanitário da cidade e, no caso de haver algum problema, como o mesmo poderia ser solucionado. Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com 35 habitantes das proximidades ou que conhecem o Arroio Gravatá, onde hoje é lançada grande parte dos esgotos da cidade, tanto pluvial quanto sanitário. A análise qualitativa e quantitativa mostrou que 68% dos moradores residem na cidade há mais de 3 décadas e, com isso, conseguem notar que os despejos sem controle têm impacto negativo tanto no arroio quanto no meio ambiente e na qualidade de vida em geral. Foram propostas quatro soluções para os problemas: canalização total do arroio e tratamento somente no final (50%); despoluição do arroio sendo que o esgoto deve ser coletado e tratado somente no final da cidade (30,56%); colocação de canaletas nas laterais do arroio que serviriam para a contenção do esgoto e para levá-lo até a estação de tratamento (11,11%); e recuperação do arroio com mini estações de tratamento ao longo dele (8,33%).

Palavras-chave: percepção ambiental; esgotamento sanitário; degradação ambiental; Arroio Gravatá.

4.1 INTRODUÇÃO

Apesar da importância para a saúde e para o meio ambiente, o saneamento básico no Brasil está longe de ser adequado. O relatório da Organização Mundial de Saúde (2007) estimava que em 2007 já existissem cerca de 1,1 bilhões de pessoas sem acesso à água segura e 2,6 bilhões sem saneamento adequado. Esse quadro de deficiência na barreira sanitária tem forte influência nos indicadores de saúde que, em várias regiões brasileiras, estão muito abaixo dos padrões mínimos da dignidade humana (GONÇALVEZ, 2003). Sem o

esgotamento sanitário adequado, grande parte da população Brasileira se utiliza de meios como a ligação clandestina de galerias de águas pluviais e o lançamento *in natura* (a céu aberto) para lançar seu esgoto doméstico (somente 37,5% do esgoto gerado recebe o tratamento adequado-SNIS, 2011). Essas formas inadequadas de encaminhar os esgotos sanitários trazem sérias consequências para o meio ambiente e para a saúde pública, poluindo mananciais e contaminando águas naturais, que nem sempre passam por estações de tratamento eficientes antes do abastecimento público (GIESTA *et al.* 2005).

Com base em dados de maio 2013, a *World Health Organization* (WHO, 2013) prevê que, em 2015, cerca de 2,4 bilhões de pessoas (um terço da população mundial) ficarão sem acesso a saneamento adequado. Como a meta de água potável já foi superada em 2010, WHO fez uma chamada consolidada de ação para enfrentar o desafio de melhorar o sistema de saneamento. Em 2007, a Lei n^0. 11.445 estabeleceu diretrizes nacionais para o Saneamento Básico e conceitos importantes para os atores do setor, dentre eles, o de esgotamento sanitário e o de drenagem e manejo de águas pluviais:

> **esgotamento sanitário:** constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até seu lançamento final no meio ambiente;

> **drenagem e manejo das águas pluviais urbanas:** conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.

A proteção dos ambientes naturais também depende das pessoas de diferentes grupos socioeconômicos, que tem diferentes percepções culturas e valores e dão importância diferente ao ambiente em que vivem (SOARES, 2005). Cada indivíduo percebe e responde de maneira diferente frente às ações sobre o meio em que vivem (BERGMAM, 2007; FAGGIONATTO, 2007), pois as dimensões culturais e sociais são mediadoras e avaliadoras das atitudes dos indivíduos frente ao ambiente (MOSER, 1998).

A importância da pesquisa em percepção ambiental para o planejamento do ambiente foi ressaltada em 1973 pela Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO). Isso se deve ao fato de ser uma investigação sobre valores, necessidades, atitudes e expectativas que determinados indivíduos possuem com relação ao seu meio vivencial. Existem diferentes conceitos de "percepção ambiental", alguns descritos na Figura 13, mas é importante ressaltar que todos eles levantam as questões da relação do ser humano com o meio ambiente, como cada pessoa percebe, o quanto conhece do seu próprio meio, o que espera, como utiliza e qual sua ação cultural sobre esse meio (CUNHA E LEITE, 2009).

ANO	AUTOR	CONCEITO
1972	Mayfield *et al*.	A percepção está relacionada com a individualidade de cada pessoa. Na percepção, o ser humano tem uma imagem do mundo de acordo com suas preferências e mostra que existe uma conexão entre o meio, o comportamento espacial e experiências passadas.
1975	Moscovici, S.	Percepção é uma ferramenta que pode medir o saber individual de determinados grupos.
1977	Whyte, A. V.T.	Em meados da década de 70 foi publicado um estudo intitulado "*Guidelines for fields studies in environmental perception".* Neste estudo, utilizado ainda nos dias de hoje, define a percepção ambiental como um meio pelo qual se busca compreender os fenômenos naturais com o objetivo de otimizar a utilização dos recursos naturais e também para se ter uma resposta mais eficaz quanto aos riscos ambientais.
1980	Tuan, Y.F.	Percepção é uma atividade para entender o mundo.
1983	Davidoff, L.F	Percepção é um processo de organizar e interpretar dados sensoriais recebidos buscando desenvolver a consciência do ambiente que no qual o ser humano está inserido.
1999	Del Rio, V. & Oliveira, L.	A percepção ambiental busca compreender as relações comportamento-ambiente.
1999	Ferrara, L.	Percepção é informação na medida em que a informação gera informação: usos e hábitos são signos do lugar informado que só se revela na medida em que é submetido a uma operação que expõe a sua linguagem. A essa operação dá-se o nome de percepção ambiental.
2004	Faggionatto, S.	A percepção ambiental pode ser definida como uma tomada de consciência do ambiente pelo ser humano, ou seja, o ato de perceber o ambiente em que se está inserido.
2004	Merigueti, B.A.	Cada indivíduo percebe, responde e reage de uma maneira diferente às ações sobre o ambiente em que vive. As respostas ou manifestações ai decorrentes são resultados das percepções (individuais e/ou coletivas), dos processos cognitivos, dos julgamentos e das expectativas de cada pessoa e dos grupos envolvidos.
2006	Marczwski, M.	A percepção ambiental é uma atividade mental de interação do indivíduo com o meio, que ocorre através de mecanismos propriamente ditos, e principalmente cognitivos. A percepção ambiental do meio natural tem sido progressivamente abalada nas últimas décadas em função da crescente urbanização e do êxodo rural. As pessoas que nascem e crescem em ambientes totalmente construídos tendem a perder muito de sua sensibilização e percepção com o meio natural, deixando de, com ele, criar vínculos fortes o suficiente para que possa ser construída uma valoração mental dos elementos.
2007	Pacheco, E. & Silva, H.P.	A percepção ambiental é relevante para que se possam compreender as interações entre o ser humano e o ambiente, suas expectativas, suas satisfações e insatisfações, julgamentos e condutas.
2011	Nikolopoulou *et al*.	É importante avaliar a percepção dos atores sociais frente as condições ambientais locais; o que permite o desenvolvimento de campanhas de sensibilização pelo poder público na busca pela proteção da população suscetível a doenças oriundas de condições precárias de saneamento.

Figura 13 - Conceitos de percepção ambiental

O objetivo do presente estudo é analisar qualitativa e quantitativamente a percepção dos moradores das proximidades do Arroio Gravatá, no município de São Marcos, Rio Grande do Sul, sobre as questões do esgotamento sanitário da cidade, buscando conhecer

quais os usos atuais e do passado para o arroio. Enquanto resultados, espera-se a identificação de possíveis soluções, a fim de fornecer subsídios para ações em projetos ambientais e sanitários voltados para esta região.

Este artigo se desdobra em quatro seções. A primeira contextualiza o problema de pesquisa, enquanto a segunda contém os procedimentos metodológicos, tais como: referencial teórico sobre percepção ambiental, descrição da área em estudo e o modo de desenvolvimento da pesquisa. A terceira seção apresenta o estudo de caso e a discussão dos resultados obtidos. Por fim, a quarta seção traz as considerações finais e as recomendações para trabalhos futuros

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção contém os procedimentos metodológicos necessários para o desenvolvimento do estudo, desdobrando-se na pesquisa bibliográfica sobre estudos de percepção ambiental, descrição da área em estudo e no modo em como a pesquisa foi desenvolvida.

4.2.1 Levantamento Bibliográfico sobre Estudos de Percepção Ambiental

Para maior conhecimento sobre os estudos de percepção ambiental foi realizada uma busca no Portal de Periódicos da CAPES. Para isso, foi utilizada a ferramenta de busca avançada, e os critérios selecionados conforme Figura 14. Ao finalizar a pesquisa, chegou-se ao resultado de 33 artigos.

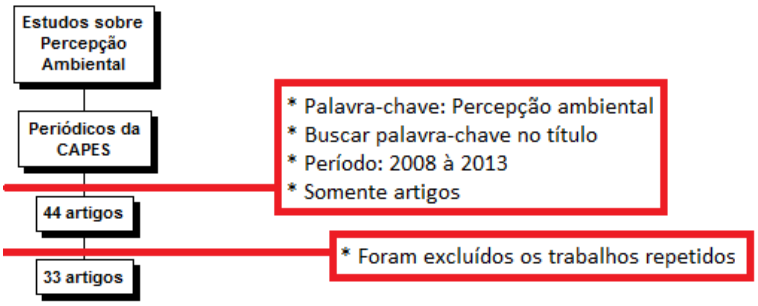


Figura 14 - Pesquisa sobre percepção ambiental realizada no Portal da Capes

Em seguida, os 33 trabalhos foram lidos e resumidos conforme Figura 15:

Ano	Autores	Título	Resumo
2008	Hoeffel, J.L.; Fadini, A.A.B.; Machado, M.K.; Reis, J.C.	Trajetórias do Jaguary - Unidades de conservação, percepção ambiental e turismo: Um estudo na apa	A Área de Proteção Ambiental Cantareira (APA Cantareira) tem passado por diversas transformações, associadas à expansão urbana e turística. Observa-se, nesta pesquisa, que os grupos sociais atuantes nessa região apresentam diferentes

		do sistema Cantareira, São Paulo	perspectivas sobre meio ambiente e desenvolvimento, o que tem gerado conflitos de uso pelos recursos naturais, e que não existem planos regionais que apontem soluções efetivas para os problemas socioambientais em curso. Assim, foram realizadas 357 entrevistas com questões semiestruturadas que abordaram a relação dos atores sociais com a área de estudo e suas percepções e responsabilidades sobre problemas socioambientais regionais.
2008	Villar, L.M. *et al*.	A percepção ambiental entre os habitantes da região noroeste do estado do Rio de Janeiro	Este estudo foi desenvolvido no ano de 2005 buscando avaliar a percepção ambiental de 243 indivíduos residentes do Município de Itaperuna, localizado na região Noroeste do Rio de Janeiro, Brasil. As questões abordavam a relação indivíduo/ambiente; ações individuais em favor da área ambiental; preocupação com o impacto ambiental e consumo; hábitos pessoais e ambiente.
2008	Braga Junior, W. Romaniello, M.M.	Direito ambiental: percepção dos agentes envolvidos na destinação final das embalagens de agrotóxicos, de acordo com a Lei n^0. 9974/00, na região Cafeeira do município de Lavras, no sul de Minas Gerais.	Esse trabalho procura discutir a aplicação da Lei no 9.974/00 (prevenção ao impacto ambiental causado pelo descarte incorreto das embalagens de agrotóxicos) na região cafeeira no Município de Lavras, no Sul de Minas Gerais, através da percepção dos agentes envolvidos na comercialização e destinação final das embalagens de agrotóxicos (produtores, revendas autorizadas e Ministério Público). Realizou-se a coleta dos dados por questionário semi estruturado, através de perguntas pré-elaboradas. Os entrevistados foram produtores rurais do município de Lavras-MG totalizando 89 pessoas.
2008	Venancio, T.A. Vidal, C.M.D. Moisa, R.E.	Avaliação da percepção da importância da gestão ambiental em postos de combustíveis localizados na cidade de Irati, Paraná	A presente pesquisa objetivou avaliar a percepção da importância da gestão ambiental em postos de combustíveis. Foram realizadas entrevistas com 24 questões objetivas, referentes ao tema proposto aplicadas aos responsáveis por cinco postos de combustíveis (P1, P2, P3, P4 e P5) na cidade de Irati- PR e concluiu-se que houve muitas divergências em relação a esta percepção, o que se reflete na situação ambiental das empresas.
2009	Brandalise, L.T. *et al*.	A percepção e o comportamento ambiental dos universitários em relação ao grau de educação ambiental	Este estudo buscou descobrir se a percepção ambiental está associada ao grau de educação ambiental que a pessoa recebe. Para isso, foi aplicado um conjunto de questões a 575 universitários de 15 cursos distintos
2009	Marin, A.	A percepção no logos do mundo estético: contribuições do pensamento de Merleau-Ponty aos estudos de percepção e educação ambiental	O presente trabalho gira em torno do conceito de percepção expresso nas obras de Merleau-Ponty e seus possíveis significados para a educação ambiental. Nesse sentido, o presente texto pretende ser a explanação de caminhos percorridos pela Fenomenologia da percepção e por obras estéticas de Merleau-Ponty, com o objetivo de elucidar possíveis desdobramentos para os estudos sobre percepção ambiental no campo e para uma revisão dos desafios da educação ambiental na atualidade.
2009	Hein, N. Kroenke, A. Rocha, I.	Percepção ambiental dos graduandos em engenharia de produção em uma Universidade do Vale do Itajaí - SC	Este trabalho apresenta os resultados de um pré-teste a respeito da educação ambiental que foi realizado com alunos do curso de Engenharia de Produção em uma Universidade do Vale do Itajaí, em Santa Catarina. A coleta dos dados foi feita por meio de questionário aplicado em uma amostra não probabilística de 95 alunos (total de 188) do curso de Engenharia de Produção do período matutino em um campus. O instrumento foi aplicado coletivamente no campus, nas salas de aula das referidas instituições, no mês de abril de 2008.
2010	Freitas, M.R. *et al*.	Em busca da conservação ambiental: A contribuição da percepção ambiental para a formação e atuação dos profissionais da química	Portanto, este estudo teve como objetivo identificar e analisar a percepção ambiental de estudantes de graduação e professores do curso de Química da Universidade Federal de Lavras, representando os temas "Definição Ambiental"e "Relação entre Química e Meio Ambiente".A aplicação do questionário gerou 19 questionários de docentes e 102 questionários de graduandos. A análise e interpretação dos dados foram realizadas através das seguintes etapas: caracterização do perfil dos participantes da pesquisa, análise da definição de ambiente (questões 1 e 4), análise da relação entre Química e ambiente (questão 2) e análise referente à disciplina Química Ambiental

			(questão 3).
2010	De Sousa, R.G. Dos Santos, M.L.	Percepção ambiental dos usuários da Fazenda Santa Branca Ecoturismo (APA - Ribeirão João Leite), Teresópolis (GO)	O objetivo do trabalho foi entender as diferentes posturas comportamentais dos usuários da Fazenda Santa Branca, em Teresópolis-GO, em relação ao ambiente natural e ao trabalho de educação ambiental (EA)realizado na fazenda, com base na aquisição e análise de informações de seu estado cognitivo. No período de outubro a dezembro de 2008 foram aplicados 252 questionários por meio de abordagem direta e sistêmica dos usuários, sendo 185 direcionados para os visitantes, 30 para os integrantes das atividades de EA e 37 para os funcionários.
2010	Pedrini, A. Costa, E.A. Ghilardi, N.	Percepção ambiental de crianças e pré-adolescentes em vulnerabilidade social para projetos de educação ambiental	Em 2008 foram estudadas 48 crianças e pré-adolescentes de 4 a 12 anos em vulnerabilidade social, de uma entidade privada da cidade do Rio de Janeiro, quanto a sua percepção ambiental e representações sociais em relação ao meio ambiente. As representações sociais foram obtidas por desenhos e categorizadas. A instituição visitada é privada e desenvolve trabalho de acolhimento, cuidado, desenvolvimento de crianças e adolescentes submetidos a violências sociais e sexuais, a despeito das imensas dificuldades financeira a que a entidade está submetida.
2010	Ribas, A. Schmid, A. Ronconi, E.	Topofilia, conforto ambiental e o ruído urbano como risco ambiental: a percepção de moradores dos Setores Especiais Estruturais da cidade de Curitiba	O principal objetivo desta pesquisa é estudar e entender como a poluição sonora é percebida pelos setores especiais estruturais de Curitiba e pela população com relação ao som (ruído), saúde (auditivo) e meio ambiente (urbano). Foram realizadas 100 medições em pontos arbitrários e entrevistados 100 moradores destes locais
2010	Tirelli, I.C.S.	A percepção da prática da educação ambiental nas escolas públicas regulares vinculadas à Diretoria de Ensino da Região de Guaratinguetá – SP: um estudo de caso	Este trabalho caracteriza-se como um estudo de caso e pesquisas para verificar se a realização da prática educativa ambiental eficaz está ou não está diretamente relacionado para a formação acadêmica de aperfeiçoamento do professor. Para isso, foram aplicados dois instrumentos de pesquisa sendo um questionário com catorze questões fechadas e uma entrevista com sete questões abertas em 77 escolas públicas regulares vinculadas à Diretoria de Ensino da Região de Guaratinguetá – SP entre os anos de 2007 e 2008 sobre as práticas relacionadas ao ano de 2006.
2011	Tibola, J.A. Dreher, M.T. Rocha, P.R.Z.	A degradação ambiental na percepção dos acadêmicos de um curso de administração: uma leitura do discurso a práxis	O objetivo deste estudo é conhecer a percepção dos acadêmicos do curso de Administração da Universidade Paranaense (UNIPAR), de Francisco Beltrão/PR, em relação à degradação ambiental do município e identificar disciplinas e conteúdos que os sensibilizam para a importância do tema. Para isso, consultou-se os planos de ensino e aplicou-se um questionário a 201 acadêmicos do curso de administração (de uma população de 278).
2011	Soares, A.S.; De Azevedo, F.F.	Consumo e conservação no ecoturismo das UC's área de proteção ambiental Jenipabu e reserva de desenvolvimento sustentável estadual Ponta do Tubarão(RN): a percepção dos atores que nelas atuam	A pesquisa buscou averiguar as relações entre conservação e consumo e suas influências no ecoturismo realizado nas UCs de uso sustentável selecionadas para este estudo. Para tanto se teve como percurso metodológico uma abordagem qualitativa sob uma perspectiva crítica, baseada em pesquisa bibliográfica e documental e realização de entrevistas semiestruturadas com três grupos de agentes, a saber: gestores/técnicos, comunidade e ecoturistas envolvidos com o ecoturismo nas UCs selecionadas. O estudo foi realizado utilizando-se duas unidades de análise principais (consumo e conservação) subdivididas em doze categorias.
2011	Demmer, B.C. Pereira, Y.C.C.	Educação ambiental e estudo da paisagem: A percepção para a responsabilidade socioambiental	Este artigo descreve as intervenções pedagógicas desenvolvidos no programa Cidadania Socioambiental: Multiplicando Sonhos ", que atende crianças e adolescentes em situação de vulnerabilidade social na cidade de Itajaí / SC. As ações foram destinados a equipar o grupo para que, em face da análise de questões sociais e ambientais que teriam autonomia para atuar como agentes de mudança no contexto em que vivem a partir da compreensão da interdependência e complementaridade que existe entre a paisagem natural e cultura, abordando o ensino de Ciências naturais na sua interdisciplinaridade, como protagonista no processo de

			formação dos indivíduos.
2011	Costa, R.G.S Colesanti, M.M	A contribuição da percepção ambiental nos estudos das áreas verdes	Neste estudo foi apresentado o conceito de áreas verdes e em seguida foi exposto o estudo de percepção e as principais características para as áreas verdes mostrando também as mudanças de atitude com relação à natureza entre os séculos XV e XVIII.
2011	Mendes Nascimento, D.A. *et al*.	Avaliação da percepção ambiental de moradores da malha urbana de Presidente Prudente	Estudo realizado com 153 pessoas com idades entre 6 e 70 anos e em sua maioria moradores da periferia de Presidente Prudente buscando estimar o nível de percepção ambiental sobre as questões ambientais.
2011	Rocha, A.P. *et al*.	Percepção ambiental na área de proteção ambiental de Macaé de Cima: Perspectivas para o Ecoturismo.	Em 2001 foi criada a Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima (APAMC), localizada no distrito de Lumiar em Nova Friburgo, RJ. Está área vem passando por conflitos devido ao choque de diferentes visões, quanto ao seu uso, desde sua implantação (como a chegada do turismo e a desvalorização das práticas agrícolas tradicionais). Como instrumentos de pesquisa, foram entrevistas estruturadas e semiestruturadas, recursos de imagens (oficinas, mapas mentais) e questionários com os atores envolvidos com APAMC, baseando-se nos métodos qualitativos de obtenção e interpretação dos dados.
2011	Campos, R.F. Filetto, F.	Análise do perfil, da percepção ambiental e da qualidade da experiência dos visitantes da Serra do Cipó (MG)	O objetivo deste trabalho foi conhecer o perfil dos visitantes da região da Serra do Cipó e avaliar a qualidade da experiência da visita. Esta região possui duas Unidades de Conservação: O Parque Nacional da Serra do Cipó e, em seu entorno, a Área de Proteção Ambiental (APA) Morro da Pedreira. Em 2009 foram aplicados e analisados 134 questionários com o propósito de buscar informações que contribuam com o planejamento turístico do local.
2011	Kamiyama, A. *et al*.	Percepção ambiental dos produtores e qualidade do solo em propriedades orgânicas e convencionais	Este trabalho buscou avaliar as práticas de manejo e conservação do solo adotadas por produtores orgânicos e convencionais nas regiões dos municípios de Socorro (Serra da Mantiqueira e Mogiana) e Ibiúna, situados no Estado de São Paulo. O principal objetivo dessa pesquisa foi verificar o grau de adoção de práticas conservacionistas pelos produtores e avaliar a qualidade do solo na agricultura orgânica e convencional. Foi elaborado e aplicado um questionário, com visitas locais para verificação das práticas conservacionistas e ocorrência de erosão, em 30 propriedades (sendo 16 com sistemas orgânicos e 14 com sistemas convencionais, entre julho e setembro de 2008).
2011	Pinheiro, I.S. *et al*.	A percepção ambiental de uma comunidade da caatinga sobre o turismo: visões e perspectivas para o planejamento turístico com vistas a sustentabilidade	Esta pesquisa insere-se na perspectiva de aplicar uma estratégia de participação social para planejamento do Turismo. Para tanto, realizou-se uma análise da percepção ambiental da comunidade de Tenente Laurentino Cruz-RN, entendendo que as visões, opiniões e expectativas das pessoas que vivem na localidade caracterizam-se como relevantes subsídios na proposição de ações e políticas de organização do município para o Turismo. Como metodologia utilizada foi realizada uma pesquisa bibliográfica e documental, bem como utilização de observações e aplicação de questionários junto aos 231 moradores das zonas urbana e rural de Tenente Laurentino Cruz e mais 04 secretários municipais, nos meses de maio a junho de 2010.
2012	Brotto, D.S. *et al*.	Percepção ambiental do mergulhador recreativo no Município do Rio de Janeiro e adjacências: subsídios para a sustentabilidade do ecoturismo marinho	O estudo caracterizou e avaliou a percepção ambiental de mergulhadores recreativos e os possíveis impactos negativos que essa prática pode causar na zona costeira do município e adjacências para subsidiar a otimização dessa atividade. A amostragem consistiu em 35 questionários respondidos por mergulhadores recreativos e sete por gestores de escolas e operadoras do mesmo município. Os dados foram digitalizados em planilhas eletrônicas para sua análise estatística pelo Programa *Statistica.* Os mergulhadores recreativos analisados são na maioria adultos de 20-40 anos.
2012	Campos, M.C.C.	Percepção ambiental: experiência em escolas de ensino fundamental em Humaitá (AM)	O objetivo deste trabalho foi avaliar a percepção ambiental de estudantes de escolas de ensino fundamental do município de Humaitá, Amazonas. Foram escolhidas, aleatoriamente quatro escolas, sendo 64 estudantes da Escola Municipal Irmã

			Carmen, 67 estudantes da Escola Municipal Dom Bosco, 47 estudantes da Escola Estadual Álvaro Botelho Maia Bosco e 57 estudantes da Escola Estadual Duque de Caxias, entre os anos de 2009 e 2011. Em todas as escolas foram utilizadas as mesmas metodologias, que consistiram na solicitação de atividades (redação e desenhos) sobre suas percepções de meio ambiente, as quais foram registradas antes e após as oficinas teóricas e práticas, possibilitando, assim, avaliar as possíveis diferenças das percepções ambientais dos alunos.
2012	Randow, P.C.B.D. Maroti, P.S.	Percepção ambiental por diferentes grupos socioculturais de interação: o caso da Universidade Federal de Sergipe, campus prof. José Aloísio de Campos	A pesquisa visa a caracterização do campus Prof. José Aloísio de Campos da Universidade Federal de Sergipe (UFS), a partir da percepção ambiental de grupos de estudantes e técnicos administrativos, professores, as pessoas ao redor e gestores. Foram utilizados questionários e entrevistas não padronizadas, associadas a carta de teste do mapa da mente, uma técnica usada para encontrar as imagens que as pessoas carregam em suas cabeças, em relação às relações espaciais e da paisagem, bem como as suas atitudes em relação à área em questão. O universo amostral da área de pesquisa é bastante elevado. Segundo o relatório estatístico da UFS para o ano de 2009, no campus Prof. José Aloísio de Campos existem 13.732 alunos de graduação, 807 professores de ensino superior com quadro permanente e 1.163 servidores técnico-administrativos com quadro efetivo. Na impossibilidade de investigar todos os sujeitos dos grupos de interação com o referido campus, foram amostrados dez indivíduos de cada grupo, exceto o grupo de gestores, composto por dois indivíduos. Desse modo, foram amostrados no total 42 indivíduos.
2012	Rodrigues, M.L. *et al*.	A percepção ambiental como instrumento de apoio na gestão e na formulação de políticas públicas ambientais	Este artigo buscou discutir como o uso da percepção ambiental pode ser relevante para a gestão ambiental municipal. Foram aplicados questionários junto à população local do Distrito de Paranapiacaba e Parque Andreense, Município de Santo André-SP, buscando coletar a percepção acerca do meio ambiente e de instrumentos da gestão ambiental local. No total, 230 moradores maiores de 18 anos foram entrevistados.
2012	Américo, J.H.P. *et al*.	Condições ambientais de propriedades agrícolas e percepção ambiental de produtores rurais do município de Dobrada- SP-Brasil	O objetivo do presente trabalho foi realizar investigações junto a diversos produtores rurais no município de Dobrada - SP, procurando avaliar os principais problemas ambientais em suas propriedades agrícolas, e como estes são tratados de acordo com o grau de conscientização dos agricultores e pecuaristas. Para levantamento dos dados, foi aplicado um questionário (contendo 26 questões) junto aos proprietários rurais abrangendo um total de 30 propriedades, incluindo pequenas, médias e grandes, enfocando os principais problemas relacionados à degradação ambiental.
2012	De Sousa, A.R.P. Araújo, J.L.L. Lopes, W.G.R.	Percepção ambiental no turismo do parque ecológico cachoeira do urubu nos municípios de Esperantina e Batalha no Estado do Piauí	Neste estudo realizado em 2010, foram aplicados 80 questionários aos visitantes (com idades entre 18 e 60 anos) do Parque Ecológico Cachoeira do Urubu no Piauí. Nele continha 36 perguntas abertas e fechadas, que abordavam aspectos relativos a simbologia, experiência, nível de conservação, limpeza, expectativa da visita, infraestrutura e atrativos naturais
2012	de Lucena, M.M.A. ; Freire, E.M.X.	Percepção ambiental e usos da fauna de uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) no semiárido brasileiro	Este trabalho teve como objetivos identificar o perfil socioeconômico e analisar a percepção ambiental (PA) da comunidade do entorno dessa Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) para conhecer os significados e atitudes que regem as relações estabelecidas pela comunidade com os elementos naturais e a Unidades de Conservação (UC). Foi empregado o instrumento da PA, na forma de questionários abertos e fechados aplicados a 90 entrevistados (dentre os 434 moradores da comunidade), e os dados foram analisados através do método Análise de Conteúdo.
2012	Carrenho, C.R.; de Figueiredo, R.S.; Sabino, J.	Percepção de atores sociais quanto ao uso de tecnologias alternativas e mitigadoras de impacto ambiental por	O objeto de estudo foca em parte na comunidade e nos turistas da cidade de Bonito no Mato Grosso do Sul, para avaliar o grau de comprometimento, na visão desses atores, dos empreendimentos hoteleiros, quanto ao uso de ecotécnicas como ações mitigadoras de impactos ambientais, sediados em

		empreendimentos hoteleiros em Bonito, Mato Grosso do Sul	espaços urbano e rural, no município de Bonito, Estado de Mato Grosso do Sul. A investigação é caracterizada como exploratória descritiva, com base em aspectos qualitativos, dividida em três momentos. O estudo foi realizado no período de novembro de 2008 a janeiro de 2009 e com uma amostra de 110 pessoas sendo estratificada em 80 turistas e 30 atores sociais.
2012	Guimarães, S.S.M; Inforsato, E.C.	A percepção do professor de Biologia e a sua formação: a Educação Ambiental em questão	O presente artigo apresenta os resultados de uma pesquisa cujo objetivo foi identificar as percepções dos professores de Biologia do município de Piracicaba, SP, e dos alunos concluintes de um curso de licenciatura em Ciências Biológicas em relação à presença da Educação Ambiental em sua formação inicial, a fim de discutir a inserção da temática na universidade em geral e, especificamente, na licenciatura em Ciências Biológicas. Na primeira parte da pesquisa, a amostra contou com 24 professores de escolas públicas e particulares do município e 24 formandos de um curso de Ciências Biológicas. O instrumento utilizado foi um questionário semiestruturado, com questões abertas sobre a presença da temática ambiental na formação inicial de professores e formandos. Os dados foram tabulados e discutidos à luz do referencial teórico adotado. Na segunda parte, 2 questões geradoras foram utilizadas e 4 professores e 4 formandos foram entrevistados.
2013	Carvalho, B.C. Da Costa, V. C.	Educação ambiental na visão ecoturística: turismo, percepção ambiental e desenvolvimento no município de Rio das Ostras (RJ)	Essa pesquisa tem como objetivo analisar as relações entre o ecoturismo e a educação ambiental, além de identificar suas possibilidades e potencialidades na conservação da natureza, tendo como área de estudo o município de Rio das Ostras (RJ) no Parque dos Pássaros, que é uma Unidade de Conservação do tipo Integral, e se organiza de forma orientada pelo ecoturismo, além de abrigar o Núcleo de Educação Ambiental da cidade.
2013	Tavares, G.G. *et al*.	Lugar e percepção ambiental: estudo da vivência ambiental da comunidade das escolas municipais Ayrton Senna e Moacyr Romeu Costa, Anápolis/GO (2013)	Esta pesquisa se encontra em andamento e se propõe a expor reflexões inicias sobre estudo da percepção ambiental de crianças residentes em áreas da periferia urbana da cidade de Anápolis, Goiás/Brasil. O objetivo do trabalho consiste em apresentar a proposta teórica e metodológica da pesquisa.
2013	Costa, C.C.	Percepção ambiental dos policiais do pelotão de Polícia Militar Ambiental do Estado de Sergipe	O trabalho buscou conhecer, por meio da aplicação de um questionário, a percepção ambiental dos policiais do Pelotão de Polícia Militar Ambiental do Estado de Sergipe. Nele foram feitas perguntas sobre as características do policial militar ambiental (gênero, idade, graduação militar, escolaridade e tempo de serviço no PPAmb), características do comportamento nas ocorrências (predileção por ocorrência, atendimento a solicitações, dificuldades no atendimento à ocorrência) e percepção ambiental (afinidades com o meio ambiente, comportamento ambiental, conhecimento sobre meio ambiente, prioridade na soltura de animais silvestres e interesse na participação de cursos ambientais).

Figura 15- Resumos dos estudos sobre percepção ambiental

4.2.2 O Local de Estudo

O município de São Marcos está situado na Encosta Superior do Nordeste do estado do Rio Grande do sul, conforme marcado na Figura 16. Possui uma área total de 263,7 km², sendo 16,44 km² de área urbana e tendo como limites ao Norte, o município de Campestre da Serra; ao Sul, Caxias do Sul; no leste, também Caxias do Sul e, a oeste, Flores da Cunha e Antônio Prado (ver Figura 19). A população total de São Marcos pelo Censo realizado em

2010 é de 20.103. Deste total, 49,35% é constituído de homens e 50,65% de mulheres. Ainda segundo o IBGE (2010) população urbana é de 17.598 habitantes e a rural é de 2.505.

A rede hidrográfica do município é composta pelos Rios Das Antas e São Marcos e pelos Arroios Ranchinho, Leão, Cafundó, Gravatá, Federal, Frei Caneca, Studulski e Redondo. A rede hidrográfica do município de São Marcos pode ser observada na Figura 17. Destes, os principais arroios que recebem carga poluidora segundo a prefeitura são: o Gravatá (que corta o centro da cidade) e seus afluentes, (afluentes do Rio Cafundó) e as nascentes do Frei Caneca, que por sua vez são afluentes do Rio das Antas.

Figura 16 - Localização do Município de São Marcos

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), 2013.

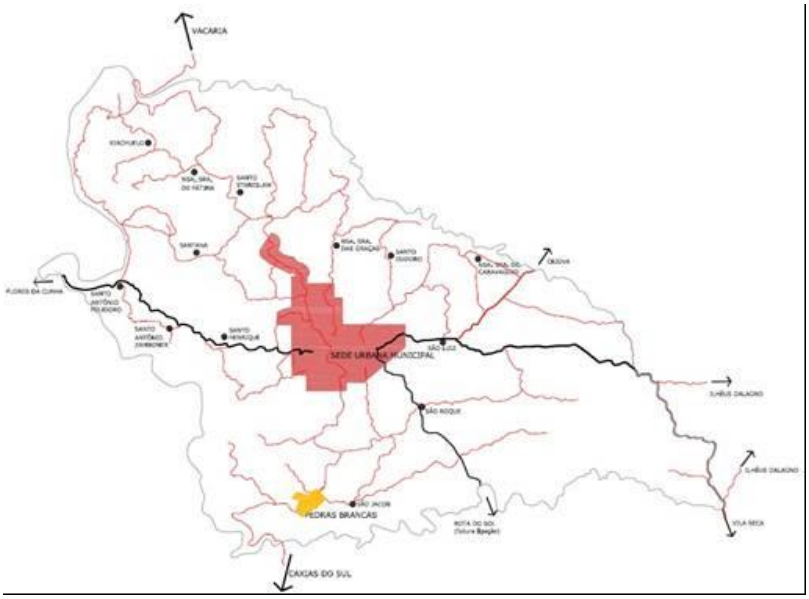


Figura 17 - Mapa da rede hidrográfica do Município de São Marcos
Fonte: IBGE, 2010.

A escolha pelo Arroio Gravatá acontece, pois o mesmo cruza toda a cidade de São Marcos (tendo o seu ponto crítico localizado no Bairro Centro). O arroio tem suas nascentes a leste da área urbana do município a uma altitude de 845m atravessando o centro urbano, seguindo para noroeste até desaguar no Arroio Cafundó a uma altitude de 650m e sua largura média não ultrapassa os 10m. A Figura 18 traz as fotos da nascente e de outros pontos do arroio. O Gravatá recebe o efluente líquido da porção norte do município, e às suas margens moram aproximadamente 170 famílias.

Figura 18 - Arroio Gravatá. a) Nascente; b) Ainda limpo; c) Já poluído; d) Com manchas de contaminação

4.2.3 O Método de Pesquisa

A Figura 19 resume as etapas seguidas para alcançar os objetivos propostos neste estudo. Foram realizadas visitas semanais no período de dois meses para observação direta pelos pesquisadores. Posteriormente, foram feitas 35 entrevistas semiestruturadas (TRIVINOS, 1987; MANZINI, 2003) com base em 6 questões para levantar a percepção dos moradores sobre o Arroio Gravatá, que recebe a maior parte do esgoto gerado na cidade. As questões são as que seguem: i) Você sabe de onde vem a água que você utiliza em casa? ii) Você sabe para onde vai a água depois de utilizada na sua casa (o esgoto)? iii) Qual sua percepção sobre o esgotamento sanitário na cidade de São Marcos? iv) Quais usos eram dados ao Arroio Gravatá antigamente? v) Quais usos são dados ao Arroio Gravatá atualmente? vi) Quais são as soluções para o problema de esgotamento sanitário?

A amostragem foi aleatória, incluindo 20,6% dos moradores mais antigos residentes às margens do Arroio, pois se considerou que eles conheciam tanto a realidade atual quanto a passada e conviveram com as mudanças na cidade decorrentes do aumento da população.

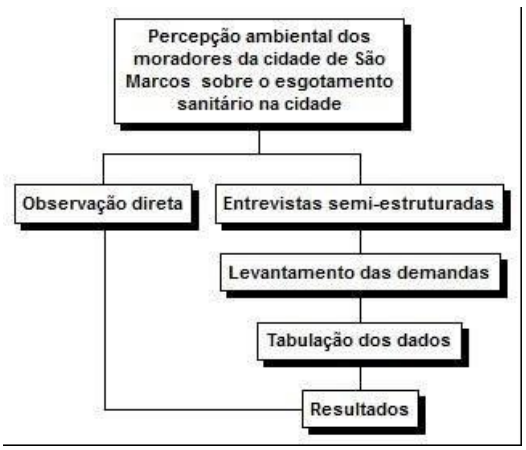


Figura 19 - Método de trabalho adotado no estudo

As entrevistas foram transcritas e as respostas organizadas por tipo e por incidência com a ajuda da ferramenta da qualidade conhecida por QFD *(Quality Deployment Function)* que foi desenvolvida na década de 60 pelo japonês Yoki Akao. Esta ferramenta é conhecida por ouvir, traduzir e transmitir a voz do cliente de maneira priorizada (CHENG E MELO FILHO, 2007). No estudo desta tese, "a voz do cliente" ou a "voz dos moradores" foi ouvida com o intuito de levantar o problema e buscar possíveis soluções para o mesmo. Assim, o 1° nível (o tácito) é a voz do cliente, enquanto o 2° nível (formal) é a tradução do tácito. Os percentuais de respostas para cada uma das 6 questões foram avaliados estatisticamente por meio de análise de proporções. A análise de resíduos ajustados foi usada para avaliar diferenças estatísticas entre as respostas em função das variáveis demográficas

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 5 apresenta os dados demográficos da amostra entrevistada no município de São Marcos. 80% dos entrevistados residem na cidade há mais de 10 anos, sendo que a maioria é do sexo masculino com mais de 40 anos de idade (74,3%). O nível de escolaridade da população pode ser considerado alto já que 45% dos homens e 53% das mulheres possuem nível superior. 48,6% estão matriculados ou já terminaram algum curso superior ou possuem até mesmo pós-graduação. Existe correlação entre idade e escolaridade, sendo que os indivíduos com até 35 anos têm maior nível de escolaridade, tendo chegado ao nível superior (ver estatística), enquanto os acima de 60 anos possuem somente o ensino fundamental.

Tabela 5 - Caracterização da população entrevista em São Marcos

Variável	Classe	n	%
Sexo (n=35)	Masculino	20	57,1
	Feminino	15	42,9
Faixa Etária (n=35)	Até 30 anos	3	8,6
	Entre 31 e 40 anos	6	17,1
	Acima de 40 anos	26	74,3
Escolaridade (n=35)	Fundamental (completo e incompleto)	11	31,4
	Médio (completo e incompleto)	7	20
	Superior (completo e incompleto)	17	48,6
Quanto tempo mora na cidade (n=35)	Até 10 anos	7	20
	Acima de 10 anos	28	80

A Figura 20 traz a transformação das demandas do 1° nível: "voz dos moradores" (tácito) no 2° nível (formal):

DEMANDAS		
Sugestões	**1° nível (Tácito)**	**2° nível (Formal)**

50%	*Jogar todo o esgoto para dentro do arroio. Cobrir e tratar no final.*	O esgoto deve ser enviado para o arroio e mesmo será canalizado. O tratamento será feito somente ao final dele.
	O esgoto deve ser lançado no arroio, terminar de fechar e fazer uma ETE no final.	
	Cobrir todo o Gravatá. O esgoto pode ser jogado dentro dele. Cobrir e tratar tudo no final	
30,56%	*Separar o esgoto de casa do esgoto pluvial e tratar somente o que for necessário no final.*	Sistema de separador absoluto e tratar o esgoto somente no final.
	Fazer um sistema para separar os esgotos, assim vai despoluir o arroio, coletar e tratar o que for preciso.	
11,11%	*Construir canais na beira do rio para levar o esgoto para o tratamento no final. Depois ele pode voltar para o rio.*	Canaletas paralelas ao arroio para levar o esgoto até a ETE.
	Separar o esgoto do arroio com canaletas nas laterais que vão levar ele para tratar.	
8,33%	*Construir pequenas estações de tratamento ao logo do rio e só jogar nele o esgoto tratado.*	Construção de Mini ETE's ao longo do Gravatá.
	Dividir a cidade em partes e enviar para mini ETE's o esgoto a ser tratado. Depois lançar no Gravatá.	

Figura 20: Transformação das propostas do tácito para o formal.

Tabela 6 - Relação da variável "sexo" (feminino-p1 e masculino-p2) com as respostas obtidas

Questões	Variáveis	p1 (%)	p2 (%)	p-value	Significância
iii) Qual sua percepção sobre o esgotamento sanitário na cidade de São Marcos?	Não existe esgotamento			0,500	Não significante
	As pessoas jogam de tudo no rio			0,500	Não significante
	Só se preocupam com a água e não com o esgoto			0,222	Não significante
	Mau cheiro			0,896	Não significante
	Alagamento			0,722	Não significante
	A responsabilidade é da corsan	0	10	0,104	Significante *
	Só tem afastamento			0,190	Não significante
	Pode tratar mas vai ter custo			0,190	Não significante
	Esgotamento subdimensionado			0,583	Não significante
	Água podre			0,879	Não significante
	Vetores de doença			0,916	Não significante
	O arroio é um esgoto/destruíram			0,445	Não significante
	Não levam a sério questões voltadas ao MA			0,500	Não significante
	Equipe técnica para organizar			0,583	Não significante
iv) Quais usos eram dados ao Arroio Gravatá antigamente?	Banho			0,783	Não significante
	Pesca			0,423	Não significante
	Lavar roupa			0,962	Não significante

	Brincar			0,844	Não significante
	A água era limpa/tinha vida			0,300	Não significante
v) Quais usos são dados ao Arroio Gravatá atualmente?	Receber/Transportar esgoto			0,380	Não significante
	Receber outros resíduos			0,651	Não significante
	Construir 2 redes paralelas ao arroio para ligar na ETE			0,364	Não significante
vi) Quais são as soluções para o problema de esgotamento sanitário?	Fazer a separação total (pluvial e sanitário), despoluir o rio e tratar o esgoto no final			0,414	Não significante
	Canalizar todo o arroio e tratar o esgoto somente no final			0,838	Não significante
	Recuperar o arroio com mini estações de tratamento ao longo dele	0	10	0,104	Significante *

*diferença significativa a 0,1, **. diferença significativa a 0,05, ***. diferença significativa a 0,001

Tabela 7 - Relação da variável "escolaridade" (ensino médio-p1, fundamental-p2 e superior-p3) com as respostas obtidas

Questões	**Variáveis**	**p1 (%)**	**p2 (%)**	**p3 (%)**	**p-value**	**Significância**	**Resíduo Ajustado**
iii) Qual sua percepção sobre o esgotamento sanitário na cidade de São Marcos?	Não existe esgotamento				0,165	Não significante	
	As pessoas jogam de tudo no rio				0,64	Não significante	
	Só se preocupam com a água e não com o esgoto				0,4	Não significante	
	Mau cheiro	42,9	100	61,1	0,027	Significante *	P (2,5)
	Alagamento				0,311	Não significante	
	A responsabilidade é da corsan				0,458	Não significante	
	Só tem afastamento				0,615	Não significante	
	Pode tratar mas vai ter custo				0,615	Não significante	
	Esgotamento subdimensionado				0,682	Não significante	
	Água podre				0,276	Não significante	
	Vetores de doença	0	40	0	0,004	Significante **	P (3,4) – S (2,2)
	O arroio é um esgoto/destruíram				0,208	Não significante	
	Não levam a sério questões voltadas ao MA	0	0	38,9	0,016	Significante **	S (2,9)

	Equipe técnica para organizar				0,071	Não significante	
iv) Quais usos eram dados ao Arroio Gravatá antigamente?	Banho				0,075	Não significante	
	Pesca				0,214	Não significante	
	Lavar roupa				0,065	Não significante	
	Brincar	28,6	70	22,2	0,038	Significante **	P (2,5)
	A água era limpa/tinha vida	42,9	60	11,1	0,022	Significante **	P (2,3) – S (2,7)
v) Quais usos são dados ao Arroio Gravatá atualmente?	Receber/Transportar esgoto				0,494	Não significante	
	Receber outros resíduos				0,951	Não significante	
	Construir 2 redes paralelas ao arroio para ligar na ETE				0,502	Não significante	
vi) Quais são as soluções para o problema de esgotamento sanitário?	Fazer a separação total (pluvial e sanitário), despoluir o rio e tratar o esgoto no final				0,756	Não significante	
	Canalizar todo o arroio e tratar o esgoto somente no final				0,213	Não significante	
	Recuperar o arroio com mini estações de tratamento ao longo dele				0,458	Não significante	

*diferença significativa a 0,1; ** diferença significativa a 0,05; *** diferença significativa a 0,001

Tabela 8 - Relação da variável "tempo de moradia na cidade" (só trabalha na cidade ou mora nela há menos de 10 anos-p1e mora na cidade há mais de 10 anos- p2) com as respostas obtidas

Questões	Variáveis	p1 (%)	p2 (%)	p-value	Significância
iii) Qual sua percepção sobre o esgotamento sanitário na cidade de São Marcos?	Não existe esgotamento	71,4	57,143	0,755	Não significante
	As pessoas jogam de tudo no rio	14,3	21,429	0,336	Não significante
	Só se preocupam com a água e não com o esgoto	14,3	10,714	0,605	Não significante
	Mau cheiro	57,1	71,4	0,233	Não significante
	Alagamento	42,8	57,1	0,249	Não significante
	A responsabilidade é da Corsan	0	7,1	0,233	Não significante
	Só tem afastamento	0	3,6	0,306	Não significante
	Pode tratar, mas vai ter custo	0	3,6	0,306	Não significante

	Esgotamento subdimensionado	14,3	3,6	0,863	Não significante
	Água podre	0	3,6	0,306	Não significante
	Vetores de doença	0	14,3	0,144	Não significante
	O arroio é um esgoto/destruíram	14,3	14,3	0,500	Não significante
	Não levam a sério questões voltadas ao MA	28,6	17,9	0,737	Não significante
	Equipe técnica para organizar	0	7,1	0,233	Significante **
iv) Quais usos eram dados ao Arroio Gravatá antigamente?	Banho	0	57,1	0,003	Significante **
	Pesca	14,3	57,1	0,021	Significante **
	Lavar roupa	0	53,6	0,005	Significante **
	Brincar	0	46,4	0,011	Significante **
	A água era limpa/tinha vida	0	39,3	0,023	Significante **
v) Quais usos são dados ao Arroio Gravatá atualmente?	Receber/Transportar esgoto	57,1	96,4	0,002	Significante ***
	Receber outros resíduos	0	21,4	0,089	Significante *
	Construir 2 redes paralelas ao arroio para ligar na ETE	14,3	7,1	0,727	Não significante
vi) Quais são as soluções para o problema de esgotamento sanitário?	Fazer a separação total (pluvial e sanitário), despoluir o rio e tratar o esgoto no final	28,6	28,6	0,500	Não significante
	Canalizar todo o arroio e tratar o esgoto somente no final	57,1	57,1	0,500	Não significante
	Recuperar o arroio com mini estações de tratamento ao longo dele	0	7,1	0,233	Não significante

*diferença significativa a 0,1, **. diferença significativa a 0,05, ***. diferença significativa a 0,001

A Figura 21 resume os dados mais importantes obtidos neste estudo analisando as variáveis independentes consideradas.

		3) Qual sua percepção sobre o esgotamento na cidade se São Marcos?						**4) Quais usos eram dados ao Arroio Gravatá antigamente?**					**5) Quais usos são dados ao Gravatá atualmente?**		**6) Quais são as soluções para o problema de esgotamento sanitário em SM?**
		A responsabilidade do tratamento é da Corsan	Não existe esgotamento na cidade	Mau cheiro	Vetores de doenças	Alagamentos	As questões sobre MA não são levadas a sério	Banho	Pescar	Lavar roupa	Brincar	A água era limpa/tinha vida	Receber e transportar esgoto	Receber outros resíduos	Recuperar o arroio com mini-ETE's ao longo dele
Sexo	Fem.														
	Masc.	X													X

Idade															
Escolari-dade	Fund.			X	X						X	X			
	Médio														
	Sup.			X			X								
Tempo de moradia	Até 10 anos		X												
	Mais de 10 anos			X		X		X	X	X	X	X	X	X	

Figura 21 - Dados importantes relacionados à pesquisa

De acordo com a Figura 21, o efeito que mais se percebe é da variável "tempo de moradia". Os habitantes mais antigos (que moram há mais de 10 anos na cidade) relatam que o mau-cheiro e os alagamentos são provenientes da falta do esgotamento. Cabral (2001) afirma que o tempo de permanência no local é um importante fator de inclusão das populações dentro do conceito de comunidades tradicionais. Confirmando o estudo de Alves e Nishida (2003), no qual mostra que os tempos maiores de fixação de residências na área estudada sugerem que existe um sentimento de vínculo e pertinência ao ambiente. No estudo feito por Rodrigues *et al.* (2012) e por Lucena e Freire (2011), percebe-se também que o tempo de moradia é um fator importante já que mostra que moradores residentes há mais tempo no local tem uma maior consciência dos problemas, neste caso dos decorrentes da falta de esgotamento sanitário. Por sua vivência, demonstram um maior conhecimento sobre as mudanças ocasionadas com o aumento da população e a falta de preocupação com esgoto gerado e descrevem que antigamente a água do arroio era limpa e tinha vida e o mesmo era utilizado para tomar banho, pescar, lavar roupa e brincar. Esses mesmos moradores descrevem que hoje o Gravatá é utilizado somente para receber e transportar esgoto e outros tipos de resíduos (resíduos recicláveis, móveis usados, animais mortos, ...) que diariamente são lançados em seu leito.

Interessante notar que formas mais sofisticada de recuperação do arroio só foram mencionadas por homens (idade e escolaridade). Fernandez (2004) relata a existência de inúmeras causas de alteração ambiental podendo ser elas naturais ou provenientes de intervenção antrópica (não naturais). É comprovado cientificamente que o desenvolvimento tecnológico e as diferentes culturas das comunidades têm contribuído para que essas alterações no e do ambiente se intensifiquem, especialmente no ambiente urbano.

Nota-se que tanto os moradores com ensino fundamental quanto os de nível superior tem consciência de mau-cheiro e os alagamentos são oriundos da falta do esgotamento corroborando com Lermen (2008) para quem o nível de escolaridade não justifica a percepção ambiental. No entanto, o nível de escolaridade tem impacto na avaliação política da questão ambiental. As pessoas de nível superior entendem que o meio ambiente não é levado a sério e tem consciência de que a CORSAN (Companhia Rio-grandense de Saneamento) é responsável pelo tratamento do esgoto da cidade sugerindo que a recuperação do arroio

aconteça por meio de miniestações de tratamento de esgoto ao longo dele. No estudo desenvolvido por Campos e Filetto (2011), relata que pessoas com um bom nível de escolaridade são normalmente mais receptivas e conscientes das necessidades de conservação ambiental e das atratividades ecoturísticas e, se orientados, podem apresentar alto grau de comprometimento para a conservação ambiental (BARROS E DINES, 2000). Um outro estudo realizado por Hoeffel *et al.* (2008), traz as ideias de Fucks (1998) no qual apresenta para essa vocação universalista do meio ambiente alguns questionamentos e fundamenta sua análise na combinação entre as variáveis renda e escolaridade e no interesse e na mobilização em torno da proteção ambiental. Assim, ainda para Fucks (1998), a associação dessas variáveis reporta a três tipos de considerações com respeito à consideração ambiental:

a. o meio ambiente não se apresenta como questão relevante para as classes sociais que ainda não têm asseguradas as condições básicas de sobrevivência;

b. ainda que o meio ambiente possa ser considerado um bem de uso comum, cuja proteção interessa ao conjunto da sociedade, os custos e os benefícios de sua proteção são desigualmente distribuídos, variando em função dos recursos de que dispõem os diversos grupos para atuar no contexto da política local; e

c. a universalidade do meio ambiente expressa o projeto de um determinado grupo no sentido de tornar universais seus valores e interesses.

4.4 CONCLUSÃO

Este estudo apresentou a percepção sobre o esgotamento sanitário da cidade de São Marcos no Rio Grande do Sul. Foram realizadas 35 entrevistas entre os meses de junho e agosto de 2013 com os moradores das margens do Arroio Gravatá.

Os participantes relatam a importância e a consciência da falta de esgotamento na cidade. Narram com saudosismo os usos do Gravatá no passado (brincar, pescar, lavar roupas) ao ver no que ele se tornou nos dias de hoje (corpo receptor de todo o esgoto e resíduos diversos gerados na área urbana da cidade).

Diversas sugestões para minimizar os impactos da poluição no Arroio foram abordadas, como: canalização e cobertura total do arroio para o tratamento somente no final (50%); sistema de separador total para despoluir o arroio sendo que o esgoto deve ser coletado e tratado somente no final da cidade (30,56%); colocação de canaletas nas laterais do arroio

que serviriam para a contenção do esgoto e para levá-lo até a estação de tratamento (11,11%); e recuperação do arroio com mini estações de tratamento ao longo dele (8,33%).

Para melhorar a situação atual, a proposta para trabalhos futuros se dará por meio de projetos de educação ambiental (tentando conscientizar e educar a população para preservar o arroio), propor projetos para despoluir e tratar o esgoto gerado na cidade visando diminuir os impactos causados.

4.5 REFERÊNCIAS

ALVES, R. R. N.; NISHIDA, A.K. **Aspectos socioeconômicos e percepção ambiental dos catadores de caranguejo-uçá Ucides cordatus (L. 1763) (Decapoda, Brachyura) do estuário do rio Mamanguape, Nordeste do Brasil.** Interciencia, v. 28, n. 1, p. 36-43, 2003.

AMÉRICO, J. H. P. *et al*. Condições ambientais de propriedades agrícolas e percepção ambiental de produtores rurais do município de Dobrada-São Paulo, Brasil. **Holos Environment**, v. 12, n. 2, p. 241-249, 2012.

BARROS. M. I. A. de; DINES, M. Mínimo impacto em áreas naturais: uma mudança de atitude. In: SERRANO, C. (Org.). **A educação pelas pedras**: Ecoturismo e Educação Ambiental. São Paulo: Chronos, 2000. p.47-84.

BERGMAN, M. **Análise da percepção ambiental da população ribeirinha do Rio Santo Cristo e de estudantes e professores de duas escolas públicas, município de Giruá, RS.** 2007. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007. Disponível em:< http://hdl.handle.net/10183/10950>. Acessado em: 12 jan.2009.

BRANDALISE, L. T. *et al.* A percepção e o comportamento ambiental dos universitários em relação ao grau de educação ambiental. **Gestão e Produção, São Carlos**, v. 16, n. 2, p. 273-285, 2009.

BRASIL. Lei nº. 11.445 de 5 de Janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico;** altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

BROTTO, D.S.; PEDRINI, A.G.; BANDEIRA, R.R.C.; ZEE, D.M.W. Percepção ambiental do mergulhador recreativo no Município do Rio de Janeiro e adjacências: subsídios para a sustentabilidade do ecoturismo marinho. **Revista Brasileira de Ecoturismo**, São Paulo, v.5, n.2, mai/ago-2012, pp.297-314.

CABRAL A.L. **Aspectos socioculturais e implicações ambientais das formas de uso e ocupação do espaço estuarino do rio Timbó, Estado de Pernambuco, Brasil.** Dissertação. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 110pp.

CAMPOS, M. C. C. *et al.* Percepção ambiental: experiência em escolas de ensino fundamental em Humaitá (AM) Environmental perception: experience in elementary schools in Humaita (AM). **Ambiência**, v. 8, n. 1, p. 35-46, 2012.

CARRENHO, C. R. *et al.* Percepção de atores sociais quanto ao uso de tecnologias alternativas e mitigadoras de impacto ambiental por empreendimentos hoteleiros em Bonito, Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 8, n. 2, 2012.

CARVALHO, B.C. *et al.* Educação Ambiental na visão ecoturística: turismo e desenvolvimento local no município de Rio das Ostras (RJ). **Revista Brasileira de Ecoturismo**, São Paulo, v.6, n.1, jan/abr-2013, pp.171-190.

CHENG, L.C. MELO FILHO L.D. **Desdobramento da Função Qualidade na Gestão de Desenvolvimento de Produtos.** São Paulo: Blucher, 2007

COSTA, R. G. S. *et al.* A Contribuição da Percepção Ambiental nos Estudos das Áreas Verdes. **Ra'e Ga-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 22, 2011.

CUNHA, A. S da; LEITE, E. B. **Percepção Ambiental: Implicações para a Educação Ambiental**. Sinapse Ambiental. 2009. pp. 66-79. 2001.

DAVIDOFF, L.F. **Introdução à psicologia.** São Paulo: MacGraw-Hill do Brasil. 1983.

DE LUCENA, M. M. A. *et al.* Percepção Ambiental sobre uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), pela Comunidade Rural do Entorno, Semiárido brasileiro. 2011.

DEL RIO, V.; OLIVEIRA, L. (ORGS.). **Percepção ambiental: a experiência brasileira**. São Paulo: Studio Nobel. 1996.

DEMMER, B.C.; PEREIRA, Y.C.C. Educação ambiental e estudo da paisagem: a percepção para a responsabilidade socioambiental. **Olhar de professor**, Ponta Grossa, 14(2): 255-272, 2011. Disponível em: <DOI: 10.5212/OlharProfr.v.14i2.0003>. Acesso: 24 nov. 2013.

DE SOUSA, R. G. *et al.* Percepção ambiental dos usuários da Fazenda Santa Branca Ecoturismo (APA-Ribeirão João Leite), Teresópolis (GO).

DE SOUSA, A.R. P. *et al.* Percepção ambiental no turismo do parque ecológico Cachoeira do Urubu nos municípios de Esperantina e Batalha no Estado do Piauí. **Ra'e Ga-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 24.

FAGGIONATO, S. **Percepção ambiental.** 2004. Disponível em: http://educar.sc.usp.br. Acesso em: 01 de set. 2013.

FAGGIONATTO, S. **O que tem a ver percepção ambiental com a educação ambiental?** São Paulo. 2007. Disponível em: <http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt4.html#percepcao>. Acesso em: 06 de junho de 2013.

FERNANDEZ, F. A. dos S. **O poema imperfeito: crônicas de Biologia, conservação da natureza, e seus heróis.** 2. ed. Curitiba: UFPR, 2004.

FERRARA, L. **Olhar periférico: linguagem, percepção ambiental.** 2 ed. São Paulo: Editora da USP, 1999.

FREITAS, M. R. *et al*. Em busca da conservação ambiental: a contribuição da percepção ambiental para a formação e atuação dos profissionais da química. **Química Nova**, v. 33, n. 4, p. 988-993, 2010.

FUCKS, M. Arenas de ação e debate públicos: conflitos ambientais e a emergência do meio ambiente enquanto problema social no Rio de Janeiro. **DADOS – Revista de Ciências Sociais**. Rio de Janeiro, Vol.41, n° 1, 1998, pp. 87 – 113.

GIESTA, J. P.; NETO, C. O. A.; SCUDELARI, A. C. Efeitos da implantação de sistemas de esgotamento sanitário sobre doenças infecciosas e parasitárias em um bairro da cidade de Natal / RN**.** In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 23, 2005, Campo Grande. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Saneamento ambiental Brasileiro: Utopia ou realidade? Rio de Janeiro, 2005. p.1-9. Disponível em: < http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online>. Acessado em: 01 mar. 2009.

GONÇALVES, R. F., (coordenador). **Desinfecção de efluentes sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, Rima, 438p. (2003).

GUIMARÃES, S. S. M. *et al*. A percepção do professor de biologia em questão. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 3, p. 737-754, 2012.

HEIN, N. *et al*. Percepção ambiental dos graduandos em Engenharia de Produção. **Tecno-Lógica**, v. 13, n. 2, p. 70-74, 2009.

HOEFFEL, J. L. *et al.* Trajetórias do Jaguary–Unidades de conservação, percepção ambiental e turismo: um estudo na APA do Sistema Cantareira, São Paulo. **Ambiente & sociedade**, v. 11, n. 1, p. 131-148, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico.** Rio de Janeiro. 2010.

KAMIYAMA, A. *et al.* Percepção ambiental dos produtores e qualidade do solo em propriedades orgânicas e convencionais. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 176-184, 2011.

LERMEN, H.S. **Percepção ambiental dos moradores da Vila Parque Santa Anita –POA.** 2008. Disponível em: < http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15430/000678473.pdf?sequence=1>. Acesso em: 03 set. 2013.

MANZINI, E.J. **Considerações sobre a elaboração de roteiro para entrevista semi-estruturada**. In: MARQUEZINE: M. C.; ALMEIDA, M. A.; OMOTE; S. (Orgs.) Colóquios sobre pesquisa em Educação Especial. Londrina: eduel, 2003. p.11-25.

MARCZWSKI, Maurício. **Avaliação da percepção ambiental em uma população de estudantes do ensino fundamental de uma escola municipal rural: um estudo de caso**. 2006. Disponível em: < http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/8617>. Acesso em: 03 ago. 2013.

MARIN, A. A percepção no logos do mundo estético: contribuições do pensamento de Merleau-Ponty aos estudos de percepção e educação ambiental. 2009.

MAYFIELD, R. *et al*. **Environmental, perception and behaviour.** London: Oxford Press, 1972.

MENDES NASCIMENTO, D. A. *et al.* Avaliação da Percepção ambiental de moradores da malha urbana de Presidente Prudente. In: **Colloquium Exactarum**. 2011.

MERIGUETI, B.A. *et al.* **Programa de conscientização da sociedade voltado a importância do uso racional de água para a região metropolitana de Vitória –ES.** Vitória. 2004.

MOSCOVICI, S. **Sociedade contra a natureza**. Trad. ALVES, E. F. Petrópolis: Vozes, 1975.

MOSER, G. **Psicologia ambiental.** Estudos de Psicologia (Natal), v. 3, n. 1, p. 121-130, 1998.

NIKOLOPOUPLOU, M; KLEISSL, J; LINDEN, P. F; LYKOUDIS, S. **Pedestrians' perception of environmental stimuli through field surveys: Focus on particulate pollution**. Science of The Total Environment, v.409, n.13, p. 2493-2502, 2011.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **The world health report 2007: a safer future: global public health security in the 21st century**. Genebra, Suécia, 2007.

PACHECO, E. & SILVA, H.P. **Compromissos Epistemológicos do Conceito de Percepção Ambiental.** Rio de Janeiro: Departamento de Antropologia. Museu Nacional e Programa EICOS/UFRJ.2007.

PEDRINI, A. Percepção ambiental de crianças e pré-adolescentes em vulnerabilidade social para projetos de educação ambiental. Socially vulnerable children and pre-adolescents. **Ciência & Educação**, v. 16, n. 1, p. 163-179, 2010.

PINHEIRO, I. F. S. *et al.* A Percepção ambiental de uma comunidade da caatinga sobre o turismo: visões e perspectivas para o planejamento turístico com vistas a sustentabilidade. **Sociedade & Natureza**, v. 23, n. 3, p. 467-482, 2011.

RANDOW, P. C.B. D. *et al.* Percepção ambiental por diferentes grupos socioculturais de interação: o caso da Universidade Federal de Sergipe, campus prof. José Aloísio de Campos. **Revista Gestão Universitária na América Latina-GUAL**, v. 5, n. 2, p. 298-325, 2012.

RIBAS, A. *et al.* Topofilia, conforto ambiental e o ruído urbano como risco ambiental: a percepção de moradores dos Setores Especiais Estruturais da cidade de Curitiba. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 21, n. 1, 2010.

ROCHA, A.P.; DI MAIO, A.C.; CAMPOS, L.G. Percepção ambiental na Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima: perspectivas para o ecoturismo. **Anais** do VIII Congresso Nacional de Ecoturismo e do IV Encontro

Interdisciplinar de Ecoturismo em Unidades de Conservação. **Revista Brasileira de Ecoturismo**, São Paulo, v.4, n.4, 2011, p. 581.

RODRIGUES, M. L. *et al.* A Percepção Ambiental Como Instrumento de Apoio na Gestão e na Formulação de Políticas Públicas Ambientais. **Saúde e Sociedade**, v. 21, 2012.

ROMANIELLO, M.M. *et al*. Direito Ambiental: Percepção Dos Agentes Envolvidos Na Destinação Final Das Embalagens De Agrotóxicos De Acordo Com A Lei 9.974/00 Na Região Cafeeira Do Município De Lavras No Sul De Minas Gerais. In: **46th Congress, July 20-23, 2008, Rio Branco, Acre, Brasil**. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 2008.

SNIRH. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: < http://www2.snirh.gov.br/home/webmap/viewer.html>. Acesso em: 10 jun. 2013.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2011**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2013.

SOARES, A.S.; AZEVEDO, F.F. Consumo e conservação no Ecoturismo das UCs Área de Proteção Ambiental Jenipabu e Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão (RN): a percepção dos atores que nelas atuam. **Anais** do VIII Congresso Nacional de Ecoturismo e do IV Encontro Interdisciplinar de Ecoturismo em Unidades de Conservação. **Revista Brasileira de Ecoturismo,** São Paulo, v.4, n.4, 2011, p. 533.

UNESCO. Expert Panel on Project 13: Perception of Environmental Quality, Final Report/Programme on Man and the Biosphere (MAB). Paris: UNESCO, 1973.

VENANCIO, T. L. *et al.* Avaliação da percepção da importância da gestão ambiental em postos de combustíveis localizados na cidade de Irati, Paraná. **AMBIÊNCIA**, v. 4, n. 3, p. 397-417, 2009.

VILLAR, L. M. *et al.* A percepção ambiental entre os habitantes da região noroeste do estado do Rio de Janeiro. **Escola Anna Nery Revista de Enfermagem**, v. 12, n. 2, p. 285-290, 2008.

TAVARES, G. G. *et al.* Lugar e percepção ambiental: estudo da vivência ambiental da comunidade das escolas municipais Ayrton Senna e Moacyr Romeu Costa, Anápolis/GO (2013). **Indagatio Didactica**, v. 5, n. 2, 2013.

TIBOLA, J. A. *et al.* A degradação ambiental na percepção dos acadêmicos de um curso de administração: uma leitura do discurso a praxis. **Revista Gestão Universitária na América Latina-GUAL**, v. 4, n. 3, p. 194-212, 2011.

TIRELLI, I. C. S. A percepção da prática da educação ambiental nas escolas públicas regulares vinculadas à Diretoria de Ensino da Região de Guaratinguetá–SP: um estudo de caso. **Educação, Cultura e Comunicação**, v. 1, n. 1, 2010.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

TUAN, Y. F. **Topofilia: um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente**. Tradução de Lívia de Oliveira. São Paulo; Rio de Janeiro: Difel,1980.

WHYTE, A. V. T. **Guidelines for Field Studies in Environmental Perception**. Map Technical Note 5, UNESCO, Paris. 1977.

WHO. World Health Organization. **2,4 bilhões de pessoas não terão saneamento básico em 2015 O mundo não irá alcançar a meta dos ODMs (Comunicado de Imprensa Conjunto).** http://www.afro.who.int/pt/mocambique/press-materials/item/5582-24-bilh%C3%B5es-de-pessoas-n%C3%A3o-ter%C3%A3o-saneamento-b%C3%A1sico-em-2015-o-mundo-n%C3%A3o-ir%C3%A1-alcan%C3%A7ar-a-meta-dos-odms-comunicado-de-imprensa-conjunto.html>. Acesso em: 15 out. 2013.

5. ARTIGO 4 – FERRAMENTA DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO DE ALTERNATIVAS SUSTENTAVEIS DE TRATAMENTO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Renata Cornelli
Ângela Danilevcz
Lia Buarque de Macedo Guimarães

RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta para auxiliar gestores na seleção de métodos mais sustentáveis para o tratamento de esgoto. A ferramenta foi desenvolvida com base: i) na identificação de alternativas de tratamento de esgoto ambientalmente viáveis disponíveis na literatura revisada; ii) identificação, junto a gestores de prefeituras e de concessionárias de tratamento de esgoto, das alternativas de tratamento de esgoto tecnicamente viáveis, que atendem a legislação; iii) levantamento das demandas dos moradores sobre o esgotamento sanitário; iv) desenvolvimento de uma ferramenta computacional com critérios de sustentabilidade para a seleção de alternativas; pré-avaliação da ferramenta por gestores da prefeitura e da concessionária de tratamento de esgoto de uma cidade de pequeno porte. A ferramenta foi concebida de forma a contemplar as questões de sustentabilidade (econômica, social e ambiental), as variáveis técnicas (incluindo eficiência e legislação vigente) e as demandas da população local. Ela incorpora uma estimativa, quantitativa, das diferentes variáveis envolvidas (método, tecnologia, demandas e custos), quer elas sejam de cunho qualitativo ou quantitativo de forma a auxiliar na tomada de decisão quanto ao sistema de esgoto mais sustentável para cada localidade. Na etapa de pré-avaliação, os dois participantes consideraram que a ferramenta continha muito mais informação do que o necessário, pois os critérios econômicos são os únicos comumente considerados. No entanto, a ferramenta deve ser validada com um número maior de pessoas, em municípios de diferentes portes, sem a redução do número de critérios pois as questões sociais e ambientais devem ser consideradas quando a meta é a sustentabilidade.

Palavras- Chave: projeto de tratamento de esgoto; sustentabilidade; ferramenta de auxílio a tomada de decisão; municípios de pequeno porte.

5.1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, tanto a rápida urbanização quanto o acelerado crescimento populacional têm causado inúmeros problemas ambientais, incluindo a poluição de recursos como ar, água e solo (KAPSHE *et al.* 2013). Ainda, segundo o mesmo autor, a demanda por água nas áreas urbanas tem aumentado e, consequentemente, as águas residuais geradas em áreas urbanas também.

Hoje, já se sabe que as doenças de veiculação hídrica são responsáveis por 80% de todas as moléstias e mais de um terço dos óbitos dos países em desenvolvimento, e em média, até um décimo do tempo produtivo de cada pessoa se perde, devido a doenças relacionadas à água (RODRIGUES; MALAFAIA, 2009). Segundo Philippi Jr. e Malheiros (2005), de toda água que é distribuída no abastecimento público, cerca de 80% acaba se transformando em esgoto.

Neste contexto, o foco do tratamento de águas residuais urbanas tem sido na redução dos impactos provocados pela disposição desta em corpos hídricos (UCKER *et al.* 2010), pois, tratar o esgoto não exige apenas a construção de estações de tratamento de esgoto (ETE), mas assegurar que os esgotos sejam conduzidos até elas (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2005).

Atualmente, são vários os processos e tecnologias capazes de tratar separadamente ou em conjunto as mais complexas águas residuais. A situação ideal nos sistemas de tratamento de esgotos é a completa remoção de patógenos, alta remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO) com recuperação de energia e compostos de interesse, como nitrogênio, fósforo e enxofre (FORESTI *et al.* 2006).

No Brasil, somente 20,2% dos municípios coletam e tratam o esgoto doméstico, 32% só dispõem do serviço de coleta e em 47,8% dos municípios o esgoto não coletado é lançado diretamente em águas superficiais (IBGE,2012). De acordo com os dados apresentados, são muitos os municípios que sofrem com algum tipo de carência. No caso dos considerados de pequeno porte (com até 50.000 habitantes conforme o IBGE) elas vão além da capacidade institucional do poder local à capacidade econômica dos usuários (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2005) e por isso a busca por soluções simplificadas e eficientes é incessante, já que a tendência dos padrões de lançamento de efluentes é tornarem-se cada vez mais restritivos, já que a manutenção da qualidade dos corpos d'água é de suma importância para a saúde da população.

O emprego do saneamento na promoção da saúde implica na superação dos entraves tecnológicos, políticos e gerenciais que tanto dificultam o alcance dos benefícios aos residentes em áreas rurais, municípios e localidades de pequeno porte (CARVALHO;

GUIMARÃES; SILVA, 2007). Ainda, segundo o mesmo autor, a Organização das Nações Unidas (ONU) vem realizando um esforço para reverter o processo de degradação dos recursos naturais no mundo, que tem entre as principais causas a explosão demográfica e as precárias condições de vida de grande parte da população. O que se busca, hoje, na área de esgotamento sanitário, são formas alternativas de tratamento de esgoto que combinem baixo custo (variável econômica) com eficiência (variável técnica e ambiental), alinhados com as necessidades dos habitantes do Município (variável social). Para isso, este estudo propõe uma ferramenta para seleção de alternativas sustentáveis de tratamento de esgoto passível de ser aplicada em municípios de pequeno porte. Esta ferramenta visa contribuir para o planejamento do esgotamento sanitário municipal, em atendimento à Lei Federal nº. 11.445/2007. Esta lei, sancionada em 2011, estabelece as diretrizes gerais para o saneamento básico, definido, no seu Art. 3º, como sendo o conjunto de serviços, infraestruturas e instrumentos operacionais de: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais. Desde 2014, pelo Decreto Presidencial nº. 7217/2010 (alterado pelo Decreto nº. 8211 de março de 2014) todos os municípios de pequeno porte ficam condicionados a apresentar um plano de saneamento básico para terem acesso a recursos orçamentários da União destinados a serviços de saneamento básico.

O presente artigo está estruturado em cinco seções, incluindo esta introdução. Na seção 2 é apresentada uma revisão sobre ferramentas para seleção da tecnologia a ser utilizada no tratamento de esgoto. A seção 3 delineia o método utilizado na construção de uma ferramenta de suporte à tomada de decisão para seleção de alternativas sustentáveis de ETE, que é detalhada na seção 4. Na seção 5, buscou-se a validação da ferramenta com especialistas do Município de São Marcos. Na última seção são apresentadas as considerações finais do estudo, bem como as sugestões para trabalhos futuros.

5.2 FERRAMENTAS PARA A ESCOLHA DE TECNOLOGIA A SER UTILIZADA NO TRATAMENTO DE ESGOTO

A tomada de decisão sobre o sistema de tratamento de esgoto a ser implementado é considerada uma tarefa complexa, pois depende de vários critérios (técnicos, ambientais, econômicos e sociais) e objetivos que, muitas vezes, são concorrentes (ZANIN, 2011 e HUNT, 2013). A utilização de ferramentas capazes de classificar estas variáveis pode auxiliar na tomada de decisão quanto a melhor alternativa (KIKER *et al.* 2005). A Figura 22 apresenta um resumo das principais ferramentas discutidas na literatura. Dentro de seu objetivo o Estudo Piloto caracterizou quais informações estão mais disponíveis e o motivo pelo qual estas informações são conhecidas na empresa, principalmente pelos profissionais da

produção. Como a empresa não apresentava iniciativas a respeito de sustentabilidade o estudo não envolveu a equipe de desenvolvimento de e somente a produção.

Ano	Autores	Critérios	Método
1988	Tecle *et al.*	Vulnerabilidade à poluição, qualidade da água, nível do tratamento, reuso, confiabilidade, compatibilidade, resistência à carga de choque, flexibilidade, investimento, custo de O&M, demanda de área e energia	CP, teoria de jogos, ELECTRE I
2001	Carneiro *et al.*	Custo de implantação, custo de O&M, demanda de área, quantidade de lodo produzida, confiabilidade, resistência a carga de choque, simplicidade operacional, impacto ambiental e aceitação pública.	Ponderação aditiva simples, ELECTRE III, ELECTRE IV e CP
2003	Alves	Distância ao ponto de descarga e a localização da ETE, altitude (sistemas elevatórios), declividade, requisito de área, potência necessária, custo O&M, tempo de detenção hidráulico, confiabilidade do sistema, simplicidade operacional, quantidade de lodo a ser tratado, eficiência de remoção (DBO, N, P, Coliformes), qualidade da água do corpo receptor, zoneamento e possibilidade de problemas ambientais.	CP, CGT e PROMETHEE II
2003	Dantas *et al.*	Requisito de área, custo de implantação e O&M, dificuldade de construção, dificuldade de O&M, consumo de energia, resistência à choque, nível de instrução de O&M, rejeição do público, dificuldade de ampliação.	Electre III, Promethee, CP, Ponderação Aditiva,
2004	Oliveira	Investimento Inicial e custos de O&M	Árvore de decisão
2007	Anagnostopoulos *et al.*	Demanda de área, investimento, custo de implantação e de O&M, desempenho (DBO, SS, N e P), produção de lodo, resistência a variação do afluente, estética.	Fuzzy AHP
2009	Leoneti	Investimento Inicial e custos de O&M	AHP e equilíbrio de jogos proposto por Nash
2011	Karimi *et al.*	Confiabilidade, capacidade de resistência à variação do afluente e cargas de choque, clima, instalações locais, flexibilidade, simplicidade operacional, custo de implantação, custo de O&M, demanda de área, custo de disposição de lodo, exigência de tratamento, odor, risco, quantidade de lodo gerado, impactos ambientais, aplicabilidade e desempenho (DBO, SS, N e P).	AHP e Fuzzy AHP
2011	Zanin	Alternativas de baixo custo atendendo critérios de legislação, reuso da água para fins de irrigação de jardins e valorização	AHP

		do lodo gerado pelas alternativas.	
2012	Reami	Custo de implantação e de O&M, participação da Prefeitura Municipal no custo de implantação, demanda de área, impacto urbanístico e arquitetônico, transporte do esgoto, acessibilidade, valor da área, qualidade do efluente final, geração de odor e distância em relação ao perímetro urbano, necessidade de mão de obra especializada, possibilidade de reuso agrícola, geração de lodo, consumo de energia elétrica, emissão de gases de efeito estufa	MAUT, o CP e o CGT
2013	Hunt	Investimento inicial, O&M, demanda de área, DBO, SST, nutrientes, coliformes, ovos helmintos, geração de subprodutos, maus odores, ruídos, aerossóis, insetos e vermes, capacidade de resistência a variação do afluente e cargas de choque, confiabilidade, simplicidade operacional e manutenção, independência do clima, independência do solo.	MAUT e Excel

Figura 22- Resumo das principais ferramentas para a seleção de sistemas de tratamento de esgoto

Fonte: Adaptado de Hunt (2013)

As 11 ferramentas, apresentadas neste estudo, fazem uso de softwares para facilitar a tomada de decisão, mas todas baseiam-se principalmente em critérios técnicos e econômicos. A única delas que se assemelha a deste estudo é a de Hunt (2013), que incorpora 18 variáveis (5 técnicas, 3 econômicas, 6 ambientais e 4 sociais). Mas acaba por priorizar o critério econômico com de 41,7%, o critério ambiental com 12,5%, o critério social com 12,5%, e o critério tecnológico com 33% (não adotando o mesmo peso já que se trata de sustentabilidade). Sem dúvida, estes critérios são muito importantes, tendo em vista a limitação de recursos financeiros das prefeituras. O custo geralmente considerado é o de implantação, focando na quantidade de área, consumo de água e energia, e nem sempre contemplam os custos de manutenção, não só das ETEs mas dos arredores das mesmas. No entanto, a médio e longo prazo, uma decisão calcada em fatores unicamente econômicos pode resultar em perdas ambientais e sociais consideráveis, com um custo econômico maior do que originalmente previsto. Os custos de recuperação de áreas danificadas (também a médio e longo prazo) podem ser incomensuráveis. Portanto, os decisores precisam ter em mente que quando se busca alternativas mais sustentáveis, as prioridades não podem prescindir da análise de variáveis sociais e de impacto ambiental a médio e longo prazo. Ainda que o conceito de sustentabilidade não venha sendo incorporado na maioria dos projetos, não e possível aceitar que ele seja desconsiderado e, portanto, as ferramentas de tomada de decisão podem e devem ser um instrumento para a mudança de paradigmas projetuais. Assumindo que o acréscimo de varáveis sociais e ambientais aumenta a dificuldade do processo de tomada de decisão, as ferramentas computacionais que incorporem a análise destas variáveis podem ser de grande valia para os decisores. Além de reduzir a dificuldade que advém da

manipulação de muitos dados, os *softwares* que incorporam uma gama maior de informações servem ao mesmo tempo como ferramenta para manuseio de dados e de difusão de conhecimento.

Assim, o desenvolvimento de uma ferramenta com uma abrangência maior (com um número significativo de critérios nas questões sociais e ambientais) além de ser de fácil manuseio poderá resultar em uma aceitação maior pela parte dos especialistas.

5.3 MÉTODO

O presente estudo é classificado quanto à natureza como uma pesquisa aplicada visto que, segundo Gil (1994), objetiva gerar conhecimentos para aplicações práticas dirigidas à solução de problemas específicos. Neste caso em específico, é o desenvolvimento de uma ferramenta para auxiliar na escolha da alternativa sustentável para o tratamento de esgoto. Quanto aos objetivos, a mesma pode ser qualificada como sendo uma pesquisa exploratória pois objetiva proporcionar maior familiaridade com um problema; envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e análise de exemplos; assume em geral a forma de pesquisas bibliográficas e estudos de caso (GIL, 2008).

O desenvolvimento da ferramenta envolveu quatro diferentes etapas, desde a identificação de alternativas ambientalmente viáveis, identificação de alternativas tecnicamente viáveis, levantamento da opinião da população sobre o esgotamento sanitário no Município até a análise dos custos das demandas propostas. A Figura 23 resume as fases do estudo para a construção da ferramenta proposta.

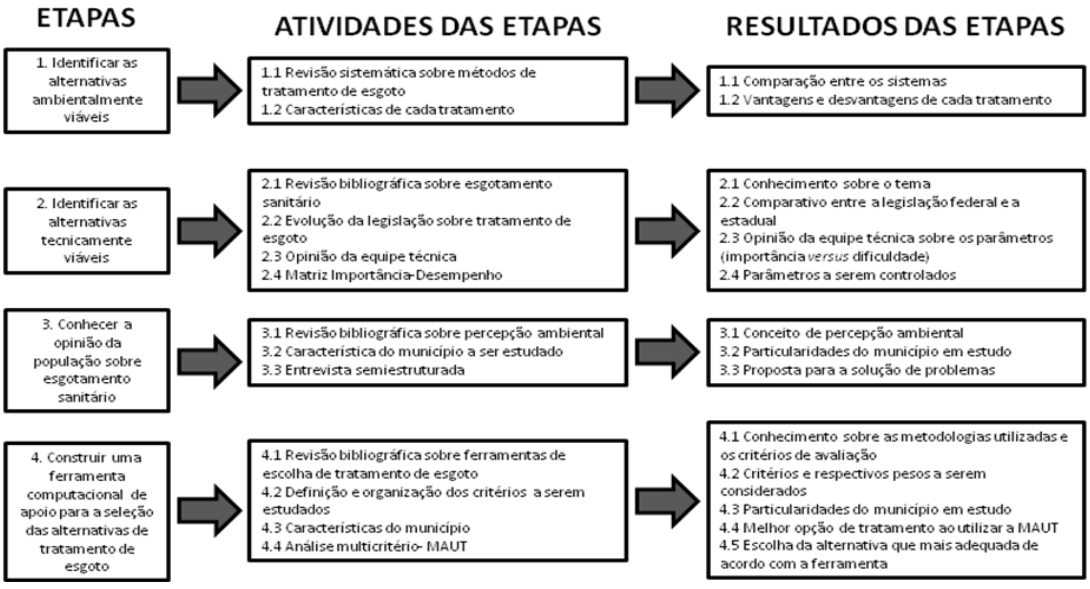


Figura 23 - Método utilizado no desenvolvimento da ferramenta para a seleção de alternativas de tratamento de esgoto

A seguir, são detalhadas cada uma das etapas.

5.3.1 – Etapa 1 – Identificação de alternativas ambientalmente viáveis

São muitas as tecnologias disponíveis para o tratamento de esgoto e, portanto, para selecionar a alternativa mais sustentável, é preciso conhecer as diversas variáveis (técnicas, econômicas, ambientais e sociais) envolvidas.

A ferramenta considerou cinco alternativas de esgotamento sanitário descritas na literatura revisada no Artigo 1, que apresenta uma revisão sistemática sobre os métodos de tratamento de esgotos disponíveis nas bases de dados *Scielo, ASCE, BVS (Biblioteca de Vigilância Sanitária) e Science Direct* entre os anos de 2002 e 2012 com o emprego da palavra- chave *sewage treatment.* No total, foram identificados 3.934 artigos que atendiam a todos os critérios de inclusão estabelecidos. Após passar por dois critérios de exclusão, 274 artigos foram lidos e coletadas as características dos diversos tratamentos por: definição (aeróbio, anaeróbio e outros), operação (física, química, biológica e outras) e nível (pré-tratamento, primário, secundário, terciário e outros). O tratamento de esgotos é dividido em níveis de acordo com o grau de remoção de poluentes ao qual se deseja atingir (VON SPERLING, 1996).

4.3.1.1 Tratamento Preliminar

Objetiva apenas a remoção de sólidos grosseiros. Para isso são utilizadas unidades como grades e peneiras para retirada das partículas maiores e o tanque de decantação para a remoção da areia.

4.3.1.2 Tratamento Primário

Visa a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria-orgânica, predominando os mecanismos físicos. Nesta etapa, são empregados decantadores, denominados decantadores primários.

4.3.1.3 Tratamento Secundário

Neste predominam mecanismos biológicos, com objetivo principal de remoção de matéria orgânica e de nutrientes (nitrogênio e fósforo). Existe na literatura uma gama muito

grande de alternativas passiveis de serem utilizadas nesta etapa. A seguir serão apresentadas as mais citadas conforme aponta estudo realizado no Artigo 1.

a. Lodos Ativados

Para Von Sperling (1997) o sistema de lodos ativados convencional (apresentado na Figura 24) é comporto por um reator e os decantadores primário e secundário. O decantador primário tem a finalidade de remover a matéria orgânica em suspensão sedimentável (devendo isso acontecer antes do tanque de aeração buscando assim o reduzir o consumo de energia).

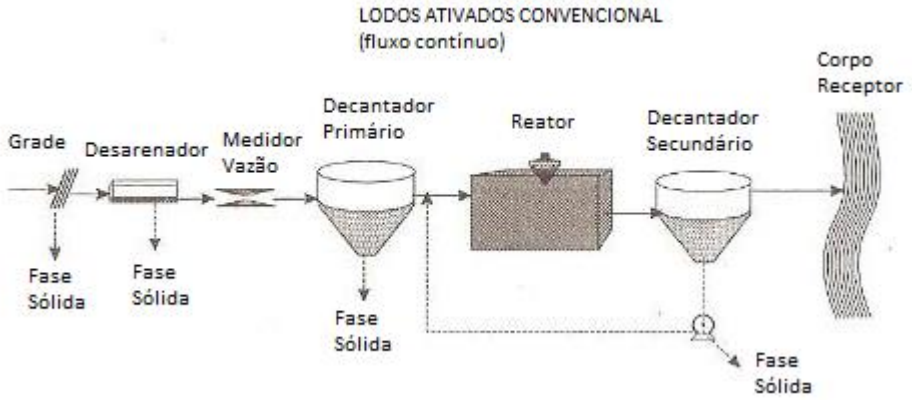


Figura 24 - Sistema de Lodos Ativados Convencional

Fonte: Von Sperling, 2005.

b. Wetlands

As *wetlands* (*constructed Wetlands-CW* ou Sistemas Alagados Construídos-SAC's) são sistemas projetados e construídos para a utilização de processos naturais (envolvendo vegetação, solos e microrganismos) e, podem ser consideradas uma alternativa para o tratamento de águas residuais tanto residências quanto para pequenas comunidades (PAULO *et al.* 2009). A Figura 25 apresenta uma das configurações de banhado construído.

Esses sistemas possuem como características o moderado custo de instalação, o reduzido consumo de energia e manutenção, além da estética paisagística e aumento do habitat para a vida silvestre (BRASIL; MATOS; SOARES, 2007).

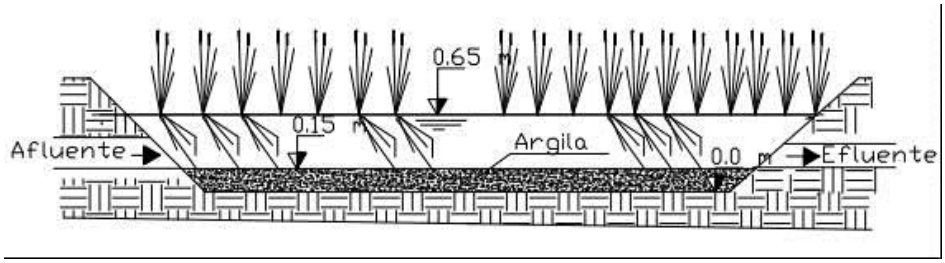


Figura 25 - Banhado construído

Fonte: Bidone, 2007.

c. UASB

O reator UASB utiliza como tecnologia de tratamento a decomposição anaeróbia da matéria orgânica. Neste sistema, a biomassa cresce dispersa no meio e não aderida a um filtro suporte (como no caso dos filtros biológicos percoladores ou dos filtros anaeróbios) (VON SPERLING, 2005) e pode ser visto na Figura 26. Por ser constituído de separador trifásico, observa-se eficiente separação sólido – líquida que resulta em um efluente clarificado e a permanência da biomassa no reator que tende a aumentar sua concentração e o biogás é liberado (SILVA; SCALIZA-PSCALIZE, 2014).

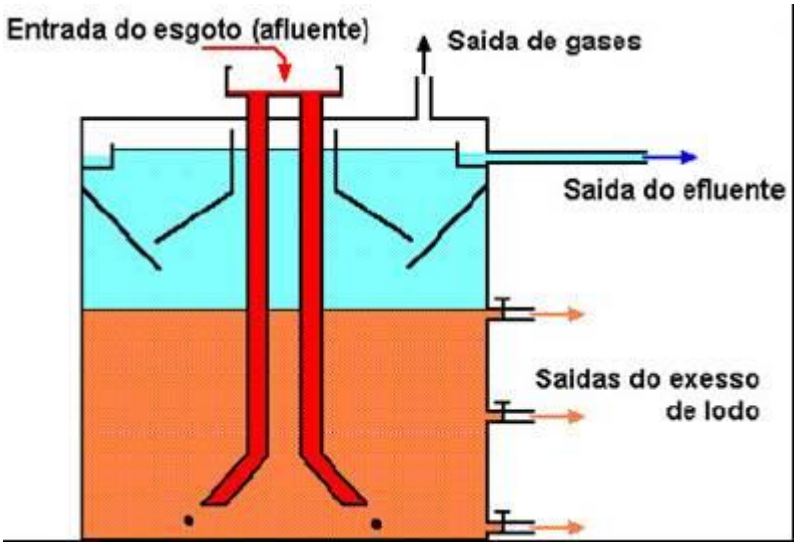


Figura 26 - Reator UASB

Fonte: reator UASB Blogspot, 2011.

d. Sistema de Lagoas

As lagoas de estabilização são escavações rasas e cercadas por talude de terra e geralmente têm forma retangular ou quadrada (MENDONÇA, 1990). É considerada uma das técnicas mais simples de tratamento de esgoto e dependendo da área disponível, topografia do

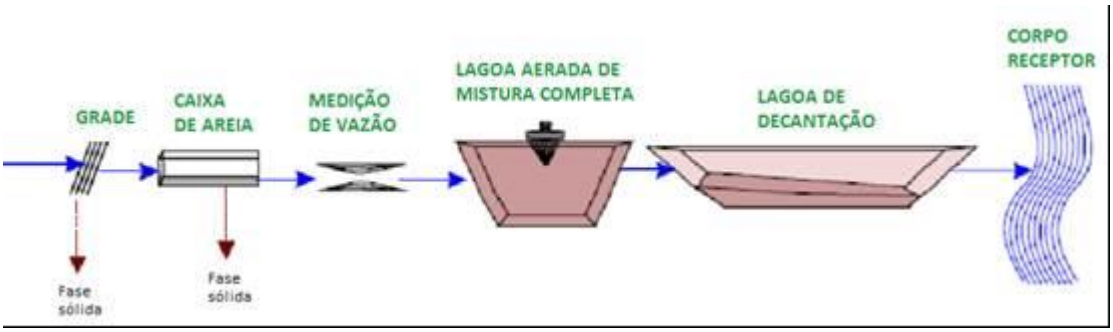
terreno e grau de eficiência desejado, podem ser empregados os seguintes tipos de sistemas de lagoas de estabilização (conforme ilustra a Figura 27):

- lagoas facultativas;
- sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas (Sistema Australiano);
- lagoas aeradas facultativas;
- sistema de lagoas aeradas de mistura completa seguida por lagoas de decantação.

Lagoas de estabilização **com** aeração

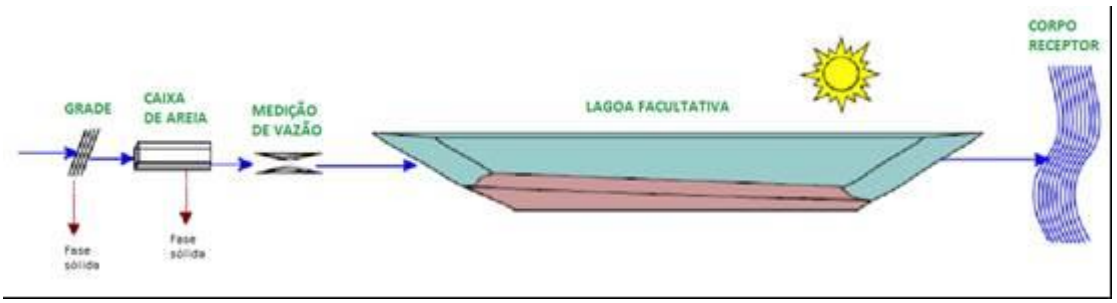
Lagoa aerada facultativa

Lagoa aerada de mistura completa- Lagoa de Decantação



Lagoa de estabilização **sem** aeração

Lagoa Facultativa



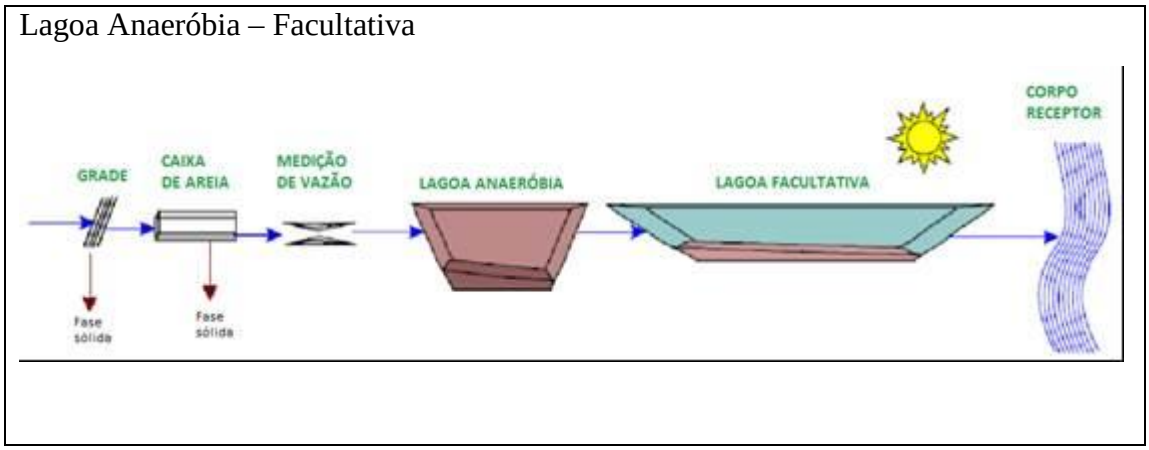


Figura 27 - Lagoas de Estabilização

Fonte: Von Sperling, 2005.

e. Reatores com biofilmes

Segundo Copasa (2014), neste sistema a matéria orgânica é estabilizada por bactérias que crescem aderidas a um meio suporte (que pode ser pedras ou material plástico). Existem sistemas em que a aplicação do esgoto se dá na superfície (sendo o fluxo do esgoto descendente) havendo a necessidade de decantação secundária e, também, sistemas submersos com introdução de oxigênio que pode ser tanto com fluxo de ar ascendente quanto fluxo de esgoto ascendente ou descendente, como pode ser visto na Figura 28.

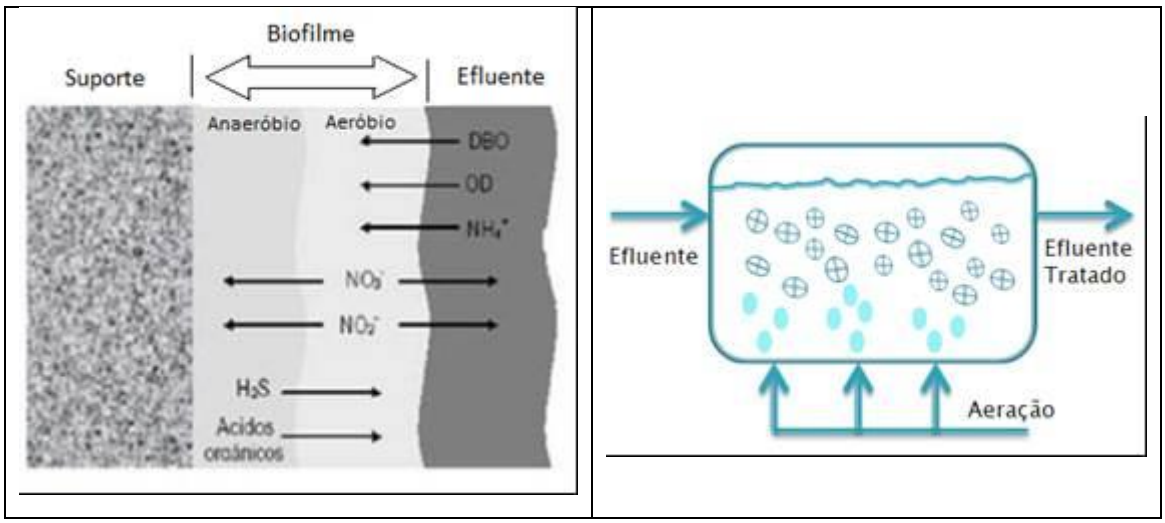


Figura 28 - Reator com Biofilmes

Fonte: Zaiat, 1996.

4.3.1.4 Tratamento Terciário

Atua na remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente

removidos no tratamento secundário. Os mais utilizados são: lagoas de maturação, *wetlands*, filtros biológicos e tratamento físico/químico.

Após o levantamento dos principais tipos de tratamento, foram identificadas as vantagens e desvantagens dos principais métodos encontrados na literatura e as mesmas foram classificadas em: econômicas, sociais, ambientais e técnicas, resultando em uma tabela da qual foi possível retirar as informações para montar o formulário do **Apêndice B**. Este formulário foi respondido por dez especialistas na área de tratamento de efluentes, e as respostas geraram o peso de cada critério utilizado em uma matriz multicriterial de decisão, a MAUT. Esta técnica, segundo Margueron e Carpio (2005), busca auxiliar os decisores em situações com necessidade de priorizar alternativas em cenários com múltiplos interesses e critérios. Para auxiliar também na pontuação de cada atributo, foram definidas as escalas para péssimo, intermediário e ótimo, variando de 0, para o primeiro, 5 para o segundo e 10 para o terceiro cenário.

Nesta etapa de estudo os dez especialistas avaliaram, sem problemas, cinco sistemas de tratamento, mas chegou-se à conclusão que a técnica MAUT, apesar de fácil aplicação, não era suficientemente sensível para lidar com todos os dados de todos os sistemas avaliados. Foi uma indicação de que a avaliação multicriterial poderia ser otimizada com uma ferramenta computacional. O uso de softwares permite a manipulação de uma quantidade maior de dados, alterar critérios e parâmetros, com resultados mais rápidos. Estes mesmos dados então, resumidos na Figura 8 do Artigo 1, foram utilizados na ferramenta desenvolvida na etapa 4.

5.3.2 – Etapa 2 – Identificação de alternativas tecnicamente viáveis

Na etapa 2, se buscou conhecer a opinião dos responsáveis pelo tratamento de esgoto em diferentes concessionárias de diferentes Estados. O foco das entrevistas recaiu sobre os parâmetros exigidos pela Resolução do CONAMA nº 357/05 (alterada pela nº 430/11) e Resolução do CONSEMA nº 128/06 que tratam, respectivamente, dos padrões brasileiros e gaúchos de qualidade da água e lançamento de efluentes para esgotos domésticos.

Para isso, primeiramente, foram realizadas duas revisões bibliográficas: a primeira sobre o esgoto sanitário e sua composição, e a segunda sobre a evolução da legislação quanto ao tratamento de esgoto. Depois de comparar a Resolução federal com a estadual, ficou evidenciada a importância dos principais parâmetros e as consequências do seu não atendimento. Com base nessas informações, foi elaborado um questionário (**Apêndice C**) para entender as dificuldades encontradas por esses especialistas em atender a legislação vigente. Dos mais de 40 enviados, 10 questionários foram respondidos pelo responsável pelo tratamento de esgoto de cada localidade participante: Distrito Federal (1), Minas Gerais (1),

Rio Grande do Sul (3), Rio de Janeiro (2), Santa Catarina (1) e São Paulo (2). As respostas obtidas foram organizadas (por meio do Design Macroergonômico de Fogliatto e Guimarães (1999)) em duas tabelas. A primeira apresenta os parâmetros mais importantes a serem controlados, enquanto a segunda exibe quais são os mais difíceis de serem controlados. Para avaliar as informações obtidas, as duas tabelas foram utilizadas para indicar, na Matriz Importância-Desempenho, quais parâmetros se encontravam na zona de melhoramento e na zona de ação urgente.

Como resposta da Matriz, foi constatado que os parâmetros que precisam de atenção são: nitrogênio, fósforo, vírus e protozoários (agrupados em Nutrientes- para nitrogênio e fósforo- e Patógenos - vírus e protozoários).

Os dados de atendimento aos critérios das normas ambientais, descritos na Figura 11 do Artigo 2 também foram considerados na ferramenta proposta na etapa 4.

5.3.3 – Etapa 3 – Conhecer a opinião da população sobre o esgotamento sanitário do Município

Para o desenvolvimento desta etapa, primeiro foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de levantar os conceitos sobre percepção ambiental e, também, para verificar os estudos encontrados no Brasil sobre este tema. Como resultado, foram construídas duas tabelas, uma de conceitos e a outra resumindo os 33 estudos encontrados.

Em seguida, por meio de uma pesquisa documental, foram coletadas as informações e características do objeto a ser estudado. Foram realizadas também, visitas à prefeitura e na cidade buscando conhecer as particularidades deste local. Assim, foi montado um roteiro de entrevista semiestruturada para coletar a percepção ambiental dos habitantes sobre o esgotamento sanitário do Município. Este roteiro (no **Apêndice A)** incorpora as seguintes questões: i) Você sabe de onde vem a água que você utiliza em casa? ii) Você sabe para onde vai a água depois de utilizada na sua casa (o esgoto)? iii) Qual sua percepção sobre o esgotamento sanitário no Município? iv) Quais usos eram dados ao "Arroio Gravatá" antigamente? v) Quais usos são dados ao "Arroio Gravatá" atualmente? vi) Na sua opinião, qual seria a solução para o problema de esgotamento sanitário no município?

Por isso, para a realização desta etapa foi utilizado o conceito de Percepção Ambiental (PA). A introdução deste conceito aqui é muito importante pois para Marczwski (2006) ela pode ser definida como sendo uma atividade mental de interação entre o ser humano e o ambiente, ou seja é o ato de perceber o ambiente no qual está inserido (aprendendo a proteger e cuidar do mesmo (FAGGIONATTO, 2004).

Como resultado, quatro soluções foram apresentadas para o problema: a) canalização total do arroio e tratamento somente no final (50%); b) despoluição do arroio sendo que o esgoto deve ser coletado e tratado somente no final da cidade (30,56%); c) colocação de canaletas nas laterais do arroio que serviriam para a contenção do esgoto e para levá-lo até a estação de tratamento (11,11%); e d) recuperação do arroio com mini estações de tratamento ao longo dele (8,33%).

Os resultados desta pesquisa serviram para delinear as variáveis sociais da ferramenta proposta. As quatro soluções aventadas para o sistema de saneamento da cidade de São Marcos foram utilizadas como cenários para teste da ferramenta proposta, conforme apresentado no Artigo 5 desta tese.

5.3.4 – Etapa 4 – Desenvolver uma ferramenta para suporte da avaliação de alternativas sustentáveis

Nesta etapa, os critérios apresentados no Artigo 1 foram utilizados para montar um formulário (no **Apêndice B**) que foi respondido por dez especialistas na área de tratamento de efluentes. O objetivo era qualificar e quantificar, na opinião de especialistas, quais são os critérios mais importantes para a seleção de tecnologia de tratamento de esgoto. As respostas geraram o peso de cada critério utilizado em uma matriz multicriterial de decisão, a MAUT.

4.3.4.1 Análise Multicritério das Alternativas

Diariamente, as organizações precisam tomar decisões frente às inúmeras alternativas que surgem no mercado para que possam se tornar cada vez mais competitivas. Neste contexto (ALMEIDA, 2011)**,** modelos de decisão são utilizados para representar, de maneira simplificada, os elementos considerados relevantes para a situação em questão, muitas vezes utilizando ferramentas multicritério de apoio à decisão (MCDA). Dentre estas, as mais conhecidas são: *Analytic Hierarchy Process* (AHP), ELECTRE, *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH), *Preference Ranking Method For Enrichment Evaluation* (PROMETHEE), Teoria da Utilidade Multiatributo (*Multiple Attribute Utility Theory* - MAUT) e Tomada de Decisão Interativa Multicritério (TODIM).

Por ser considerada uma técnica simples e de fácil implantação (THEVENOT *et al.* 2006), optou-se por utilizar a técnica MAUT para definir quais os critérios tem maior peso para o tratamento de esgotos domésticos e, também, qual dos nove sistemas mais mencionados na literatura (ver figura Figura 7 do artigo 1) é o mais vantajoso. Esta técnica

busca auxiliar os decisores em situações nas quais existe a necessidade de priorizar alternativas em cenários de múltiplos interesses e critérios (MARGUERON E CARPIO, 2005)**,** e possui as seguintes vantagens (BOUYSSOUD, 1999):

- construção de uma base de diálogo entre diferentes atores que participam do processo decisório, seja na identificação e consenso da lista de critérios, seja pela conciliação na atribuição dos pesos de importância e notas;
- incorporação de subjetividade e incertezas;
- possibilidade de avaliar a solução entre diferentes critérios, podendo haver conflito entre eles.

Para a aplicação da MAUT, é necessária a definição de critérios relevantes para o estudo, tendo sido selecionados os 26 mais mencionados na literatura:

- área ocupada (para instalação do sistema);
- flexibilidade na aplicação da solução (para tratar tanto pequenos quanto grandes volumes);
- complexidade da operação;
- nível de qualificação da mão de obra;
- complexidade da manutenção;
- consumo de energia para operar;
- custo de instalação e operação do sistema;
- nível da tecnologia utilizada;
- eficácia do método;
- geração de lodo;
- geração de odor;
- influência das condições climáticas no tratamento;
- necessidade de tratamento prévio;
- fornece habitat para vida selvagem;
- possibilita proliferação de vetores de doenças;
- variação de carga orgânica;
- produção de metano;
- utilização do biogás gerado;

- aspecto do efluente tratado;
- atendimento aos padrões exigidos na legislação;
- necessidade de pós-tratamento;
- remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo);
- remoção de patógenos (vírus, bactérias, protozoários e fungos);
- remoção de matéria-orgânica (DBO e DQO);
- remoção de poluentes (óleos e graxas, material inorgânico, cloretos, sólidos, entre outros);
- combinação com outros tipos de tratamento (se existe a possibilidade do método em questão ser combinado com outros métodos para aumentar a eficiência de tratamento).

Para a definição do peso de cada um dos 26 critérios, foram consultados dez especialistas em tratamento de efluentes. São eles: um fiscal ambiental do município de Flores da Cunha/RS, um representante da secretaria do meio ambiente da prefeitura de São Marcos/RS, além de dois professores e seis alunos matriculados na disciplina de Tratamento de Efluentes do curso de tecnologia em Gestão Ambiental da Faculdade de Tecnologia TecBrasil. Para a geração do peso final de cada critério, foi calculada uma média ponderada. De maneira a auxiliar na pontuação de cada atributo, foram definidas as escalas para o péssimo (0), intermediário (5) e ótimo (10), conforme a Figura 29.

	Péssimo 0	**Intermediário 5**	**Ótimo 10**
Área	Grande	Média	Pequena
Aplicação	Baixa	Média	Alta
Operação	Complexa	Regular	Simples
Mão de obra	Sim	Nem sempre	Não
Manutenção	Alta	Média	Baixa
Consumo de energia	Alto	Médio	Baixo
Custo	Alto	Médio	Baixo
Tecnologia	Alta	Média	Baixa
Eficácia	Sim	Nem sempre	Não
Geração de lodo	Sim	Nem sempre	Não
Odor	Sim	Nem sempre	Não
Condições climáticas (afetam)	Sim	Nem sempre	Não
Necessita tratamento prévio	Sim	Nem sempre	Não
Fornece habitat para vida selvagem	Não	Nem sempre	Sim
Habitat para vetores de doenças	Sim	Nem sempre	Não
Aceita variação de carga orgânica	Não	Nem sempre	Sim
Produção de metano	Sim	Nem sempre	Não

Utilização de biogás	Não	Nem sempre	Sim
Aspecto do efluente tratado	Ruim	Médio	Bom
Satisfação dos padrões exigidos	Não	Nem sempre	Sim
Necessidade de pós-tratamento	Sim	Nem sempre	Não
Remoção de nutrientes	Não	Nem sempre	Sim
Remoção de patógenos	Não	Nem sempre	Sim
Remoção de Matéria-Orgânica	Não	Nem sempre	Sim
Remoção de poluentes	Não	Nem sempre	Sim
Pode ser combinado com outros tratamentos	Não	Nem sempre	Sim

Figura 29 - Critérios qualitativos adotados na avaliação dos sistemas de tratamento de esgoto

A Tabela 9 contém os 26 critérios com seus pesos, e a avaliação dos 10 especialistas, para nove sistemas de tratamento selecionados.

Tabela 9 - Resultados da Análise Multicriterial, via MAUT, de nove sistemas de tratamento de esgoto, avaliados por 10 especialistas

		MÉTODOS								
Critérios	**Pesos**	Lodos Ativados	Processos Anaeróbios	*Wetlands*	UASB	MBR	Tanque Séptico	POA	Sistema de Lagoas	Biofilme
Área	8,5	5	10	0	10	10	5	10	0	10
Atendimento dos padrões exigidos	8,03	10	0	10	5	10	0	10	5	10
Custo	7,58	0	10	10	10	0	5	0	10	5
Operação	6,83	0	10	10	0	10	10	5	10	10
Eficácia	6,03	10	10	10	10	10	5	10	10	10
Mão de obra	5,37	0	10	10	0	0	10	0	10	5
Tecnologia	5,03	5	10	10	10	0	10	0	10	5
Manutenção	4,83	0	10	10	10	0	10	0	10	5
Odor	4,62	5	5	10	0	10	0	10	0	10
Combinação com outros métodos	4,45	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Aplicação	4,08	10	10	10	10	0	10	10	10	10
Consumo de energia	4,08	5	10	10	10	0	5	5	5	10
Tratamento prévio	4	10	5	0	0	0	5	0	5	0
Remoção de patógenos	3,93	5	0	10	5	10	5	10	10	10
Pós-tratamento	3,77	10	5	0	0	10	0	10	10	0
Remoção de Matéria-Orgânica	3,7	10	0	10	5	10	5	0	10	10
Remoção de poluentes	3,67	10	0	5	5	10	5	10	10	10
Habitat para vetores de doenças	3,65	5	10	0	10	10	10	10	0	10

Geração de lodo	3,4	0	5	10	5	5	0	10	0	0
Aspecto do efluente tratado	3,38	10	0	10	0	5	5	10	10	10
Condições climáticas (afetam)	3,3	0	0	0	10	10	0	10	0	10
Remoção de nutrientes	3,13	10	5	10	0	10	5	0	10	5
Utilização de biogás	2,85	5	10	0	10	10	5	0	0	0
Habitat para vida selvagem	2,57	0	0	10	0	0	0	0	10	0
Variação de carga orgânica	2,52	0	10	5	0	0	10	0	10	10
Produção de metano	2,43	0	0	5	0	0	0	10	0	10
Total		605,7	752,6	853,5	657,45	698,5	621,85	686,95	789,25	**861,7**

Os dez especialistas avaliaram, sem problemas, os nove sistemas de tratamento, sob os 26 critérios, e os resultados apontaram que os métodos mais vantajosos eram o de biofilmes e *wetlands*, pois atendem um maior número de critérios (técnicos, ambientais, sociais e econômicos) estabelecidos. O sistema por biofilmes é mais vantajoso nos quesitos considerados mais importantes (quantidade de área ocupada e atendimento dos padrões exigidos por lei), além de ter maior poder de remoção de poluentes e afetar menos o ambiente do que o sistema de *wetlands*. Portanto, seria um sistema mais adequado para municípios com pouco espaço disponível. O sistema de *wetlands* é superior ao de biofilme no que tange a tecnologia utilizada, a geração de lodo e de habitat para a vida selvagem. Desta forma, este sistema poderia ser mais adequado para municípios com área disponível, pois haveria um ganho com a menor geração de lodo e com o incremento da biodiversidade. Mas como os dois sistemas quase se equivalem, a decisão entre os dois poderia ser mais acurada se fosse apoiada em um número maior de critérios, ou de níveis dos critérios estabelecidos. Por exemplo, qual a diferença entre a quantidade de área ocupada pelos dois sistemas? Esta informação, se disponível, poderia em muito ajudar na tomada de decisão.

A técnica MAUT mostrou-se de fácil utilização, foi útil para identificar os pesos dos 26 critérios considerados e permitiu comparar os nove sistemas sob os 26 critérios. No entanto, a técnica limita a quantidade de variáveis a serem consideradas, o que reduz a precisão da avaliação, que depende de um maior número de variáveis a serem levadas em consideração. Por exemplo, além da quantidade de área, a quantidade de remoção de poluentes, de matéria orgânica etc. podem ser quebradas em vários níveis, permitindo uma avaliação mais refinada dos sistemas. No entanto, quanto maior o número de variáveis e seus níveis, mais difícil para as pessoas fazerem as comparações múltiplas. Neste caso, uma

ferramenta computacional poderia ser uma alternativa melhor de apoio a decisão na seleção de sistemas de esgotamento sanitário.

O uso de softwares permite a manipulação de uma quantidade maior de dados, alterar critérios e parâmetros, com resultados mais rápidos. Estes mesmos dados, resumidos na Figura 8 e Tabela 9 foram utilizados na ferramenta desenvolvida na etapa 4.

5.4 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA

Os 26 critérios utilizados na construção da ferramenta computacional de análise de sistemas de tratamento de esgoto (FASTE) foram ampliados para 45 (além dos totais por agrupamento no âmbito econômico e mais benefícios econômicos, sociais e ambientai), organizados da seguinte forma:

a) Definição de Critérios técnicos

- Flexibilização na aplicação da solução (pode tratar tanto pequenos quanto grandes volumes)
- Complexidade da operação
- Complexidade da manutenção
- Necessidade de pós-tratamento (lagoa de maturação, *wetlands*, filtro biológico, tratamento físico-químico)
- Geração de lodo
- Variação de carga (CHV)
- Atendimento aos parâmetros exigidos pela legislação (CONAMA n˚. 430/2011)
- Remoção de nitrogênio, fósforo, matéria-orgânica (DBO), poluentes e patógenos
- Utilização do biogás gerado
- Influência das condições climáticas no tratamento
- Nível de tecnologia utilizada
- Combinação com outros tipos de tratamento

b) Definição de Critérios econômicos

- Custo m² da área utilizada por habitante
- Custo da energia elétrica (kWh)
- Custo com insumos
- Custo com o pós-tratamento

- Custo de instalação do sistema
- Custo de operação e manutenção
- Custo com a mão de obra (não são considerados encargos trabalhistas).

c) Definição de Critérios ambientais

- Área ocupada para instalação
- Consumo de energia elétrica para operar
- Utilização de insumos
- Destruição da biodiversidade
- Geração da biodiversidade
- Fornece habitat para vida selvagem
- Há produção de metano
- Remoção de nitrogênio
- Remoção de fósforo
- Remoção de patógenos
- Remoção de matéria orgânica (DBO e DQO)
- Remoção de poluentes (óleos e graxas, material inorgânico, cloretos, sólidos, entre outros)

d) Critérios sociais

- Quantidade de mão de obra utilizada
- Qualificação necessária da mão de obra
- Geração de odor
- Possibilita a proliferação de vetores de doença
- Aspecto do efluente tratado
- Número de habitantes atingidos pelo tratamento

Com base nos dados obtidos, foi possível desenvolver uma tabela, em Excel, com as cinco tecnologias para o tratamento de esgoto, elencadas no Artigo 1, e os critérios técnicos, econômicos, ambientais e sociais selecionados. Os níveis a serem atendidos para atendimento da legislação estadual e federal, identificados no Artigo 2 desta tese, foram usados como parâmetros críticos de lançamentos de esgoto a serem respeitados. A ferramenta (no **Apêndice D**) conta com 45 critérios (mais os totais de cada agrupamento relacionado ao âmbito econômico e mais os benefícios) que podem ser agrupados em:

- Referentes à aquisição: 3

- Referentes à implantação: 4
- Referentes à operação e manutenção (O&M): 5
- Referentes a questões técnicas: 19
- Referentes a impactos sociais: 6
- Referentes a impactos ambientais: 12
- Referentes aos benefícios (ambientais, econômicos e sociais): 3

Para a avaliação das alternativas de tratamento de esgoto (com base nos critérios apresentados anteriormente) foi montada uma tabela com os sistemas de tratamento *versus* os critérios de avaliação. Cada sistema é avaliado quanto os 45 critérios, com base em notas variando de 1 a 3 sendo: 1: situação pior; 2: situação média; 3: situação melhor.

Os critérios de avaliação utilizados foram selecionados, como já mencionado, com base no Artigo 1 desta tese e os mesmos foram organizados da seguinte forma:

a) Critérios Técnicos

- Flexibilização na aplicação da solução: se sim (nota 3) e se não (nota 1).
- Complexidade da operação: entre 0 e 1- baixa (nota 3), entre 2 e 3- média (nota 2) e maior que 4- alta (nota 1).
- Complexidade da manutenção: entre 0 e 1- baixa (nota 3), entre 2 e 3- média (nota 2) e maior que 4- alta (nota 1).
- Necessidade de pós tratamento (lagoas, *wetlands*, filtro ou físico-químico): se sim (nota 1) e se não (nota 3).
- Geração de lodo: se sim (nota 1) e se não (nota 3).
- Variação de carga: se sim (nota 3) e se não (nota 1).
- Atendimento aos parâmetros exigidos pela legislação: se atende (nota 3), atende parcialmente (nota 2) e não atende (nota 1).
- Remove nitrogênio: se sim (melhor situação -= nota 3), remove uma parte (situação regula= nota 2) e se não (pior situação = nota 1).
- Remove fósforo: se sim (melhor situação -= nota 3), remove uma parte (situação regula= nota 2) e se não (pior situação = nota 1).
- Remove patógenos: se sim (melhor situação -= nota 3), remove uma parte (situação regula= nota 2) e se não (pior situação = nota 1).
- Remove matéria orgânica: se sim (melhor situação -= nota 3), remove uma parte (situação regula= nota 2) e se não (pior situação = nota 1).
- Remove poluentes: se sim (melhor situação -= nota 3), remove uma parte (situação regula= nota 2) e se não (pior situação = nota 1).
- Utilização do biogás gerado: se sim (nota 3) e se não (nota 1).

- Tratamento sofre influência das condições climáticas: se sim (nota 1) e se não (nota 3).
- Nível de tecnologia utilizada: entre 0 e 1- baixa (nota 3), entre 2 e 3- média (nota 2) e maior que 4- alta (nota 1).
- Combinação com outros tipos de tratamento: se sim (nota 3) e se não (nota 1).

b) Critérios Econômicos

- Custo do m² da área utilizada por habitante: no caso da cidade de São Marcos-RS, o valor do m² é R$ 250,00: se for < 1m²/habitante (melhor situação = nota 3), Se for entre 1e 3 m²/habitante (situação regular = nota 2) e se for ≥3m²/habitante (pior situação = nota 1).
- Custo com energia (por habitante mês): se for custo igual a zero (melhor situação = nota 3), se o custo for até R$ 24,00 (situação regular = nota 2) e se for maior que R$ 24,00 (pior situação = nota 1).
- Custo com insumos (R$/ habitante): se for R$ 0 (melhor situação = nota 3), se for diferente de R$ 0 (pior situação = nota 1).
- Custo de instalação do sistema (R$/habitante): Se for até R$ 40,00 (melhor situação = nota 3), se for entre R$ 41,00 e R$ 65,00 (situação regular= nota 2) e se for maior que R$ 65,00 (pior situação = nota 1).
- Custo de operação/manutenção do sistema (R$/habitante mês): Se for até R$ 3,00 (melhor situação = nota 3), se for entre R$ 3,01 e R$ 6,00 (situação regular= nota 2) e se for maior que R$ 6,01 (pior situação = nota 1).
- Custo com mão de obra: Se for até R$ 1.500,00 (melhor situação = nota 3), se for entre R$ 1.5000,01 e R$ 2.500,00 (situação regular= nota 2) e se for maior que R$ 2.500,00 (pior situação = nota 1).

c) Critérios Ambientais

- Área ocupada para a instalação: se for < 1m²/habitante (melhor situação = nota 3), Se for entre 1e 3 m²/habitante (situação regular = nota 2) e se for ≥3m²/habitante (pior situação = nota 1).
- Consumo de energia elétrica: se for custo igual a zero (melhor situação = nota 3), se o custo for até 10kW/mês (situação regular = nota 2) e se for maior que 10kW/mês (pior situação = nota 1).
- Utilização de insumo: se sim (pior situação -= nota 1) e se não (melhor situação = nota 3).

- Destruição da biodiversidade: se sim (pior situação -= nota 1), nem tanto (situação regula5 = nota 2) e se não (melhor situação = nota 3).
- Geração da biodiversidade: se sim (melhor situação -= nota 3) e se não (pior situação = nota 1).
- Fornece habitat para a vida selvagem: se sim (melhor situação -= nota 3) e se não (pior situação = nota 1).
- Produz metano: se sim (pior situação -= nota 1) e se não (melhor situação = nota 3).
- Remove nitrogênio: se sim (melhor situação -= nota 3), remove uma parte (situação regula= nota 2) e se não (pior situação = nota 1).
- Remove fósforo: se sim (melhor situação -= nota 3), remove uma parte (situação regula= nota 2) e se não (pior situação = nota 1).
- Remove patógenos: se sim (melhor situação -= nota 3), remove uma parte (situação regula= nota 2) e se não (pior situação = nota 1).
- Remove matéria orgânica: se sim (melhor situação -= nota 3), remove uma parte (situação regula= nota 2) e se não (pior situação = nota 1).
- Remove poluentes: se sim (melhor situação -= nota 3), remove uma parte (situação regula= nota 2) e se não (pior situação = nota 1).

d) Critérios Sociais

- Quantidade de mão de obra utilizada: baixa- até 1 operador (melhor situação = nota 3), média- entre 1 e 2 (situação regula = nota 2), alta- acima de 2 operadores (pior situação = nota 1).
- Qualificação necessária da mão de obra: baixa-necessita ao menos de ensino médio (melhor situação = nota 3), média- necessita ao menos de curso técnico (situação regula = nota 2), alta- necessita ao menos de graduação (pior situação = nota 1).
- Geração de odor: se sim (pior situação -= nota 1) e se não (melhor situação = nota 3).
- Possibilita a proliferação de vetores de doença: se sim (pior situação -= nota 1) e se não (melhor situação = nota 3).
- Aspecto do efluente tratado: claro (melhor situação = nota 3), turvo (situação regula = nota 2), escuro (pior situação = nota 1).
- Número de habitantes atingidos pelo tratamento: pouco (pior situação -= nota 1), médio (situação regular = nota 2) e muito (melhor situação = nota 3).

A ferramenta permite que o usuário selecione os critérios mais importantes (entre 4 e 5 dentre os 45) para que eles apareçam no início da tabela a fim de facilitar a visualização dos critérios julgados prioritários. Diferentemente da ferramenta de Hunt (2013), a FASTE calcula e ordena cada um dos 45 critérios a 6 níveis cada e permite classificar os vários sistemas

facilitando as comparações. As notas de 1 a 3, de cada critério variam também de cor (sendo 1= vermelho, 2= amarelo e 3= verde) de forma que visualmente seja possível identificar as melhores e piores situações

5.5 VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA

A ferramenta (FASTE) foi discutida com o responsável pelo desenvolvimento do Plano de Saneamento do Município Básico (PMSB) e o técnico da empresa responsável pelo tratamento de água (CORSAN) da cidade de São Marcos-RS, que ainda não tem tratamento de esgoto e pretende solicitar financiamento do governo.

Para o técnico da CORSAN, a FASTE é de grande valia pois é de fácil manuseio e consegue chegar na melhor escolha rapidamente (basta ter os critérios pré-selecionados). A primeira vista, achou que a ferramenta está bem elaborada pois apresenta um grande número de critérios que podem ser levados em consideração, e achou que as opções para o tratamento também estão adequadas. Após a utilização da FASTE, um dos problemas levantados foi que a quantidade de critérios é muito grande (o que pode confundir a pessoa que for utilizar pois precisa ter bastante conhecimento técnico para utilizá-la). Considerou que os critérios econômicos deveriam aparecer no início da tabela pois são os primeiros a serem levados em consideração. Por fim, comentou que a FASTE elimina as alternativas, mas ela deveria classificá-las, e não eliminá-las, para que o usuário possa comparar os vários sistemas.

O responsável pelo Plano de Saneamento também gostou muito da ferramenta, pois é de fácil manuseio e comentou que se tivesse ela em mãos antes de desenvolver o PMSB, com certeza a teria utilizado, pois com os critérios pré-selecionados foi possível chegar no que considerou ser a melhor alternativa para o caso em questão. Ele é arquiteto, não possui conhecimento técnico sobre esgotamento sanitário, mas entende que o munícipio vai primeiro optar pelos critérios econômicos para depois considerar os demais (técnico, social e ambiental). Ele recomendou que as alternativas de tratamento fossem colocadas em ordem (a melhor primeiro) para facilitar a comparação com as outras, evidenciando quais as alternativas que não se enquadram e o porquê.

Os resultados desta pré-avaliação podem ser considerados positivos. Primeiro, porque os usuários acharam a ferramenta de fácil utilização e apontaram que a usariam. O fato da tabela eliminar as opções não é o ideal, e na realidade a ideia era que as opções não fossem eliminadas, mas, sim, que fossem destacadas as mais interessantes. A ideia inicial era que os critérios fossem destacados em vermelho (pior ou 1), amarelo (médio ou 2) e melhor (verde ou 3), o que faria com que os decisores pudessem identificar os prós e contras de cada alternativa, sob os 45 critérios. Se não for possível fazer com que a tabela mantenha todas as

alternativas com suas avaliações, outro recurso computacional deve ser utilizado. Os usuários têm razão em solicitar que todas as alternativas fiquem disponíveis para comparação.

O depoimento de que os critérios econômicos são os prioritários era esperado, mas não há justificativa para a redução de critérios. A ferramenta FASTE foi desenvolvida justamente para considerar um grande número de variáveis sociais e ambientais além das econômicas, de forma a permitir a avaliação de alternativas sustentáveis. A função de uma ferramenta computacional é permitir que um grande número de variáveis sejam manipuladas. Além de corrigir a ferramenta de forma que ela apresente os prós e contras de todas as alternativas, outro recurso que deve ser incorporado na ferramenta é a avaliação da conjugação de sistemas (por exemplo, avaliar a viabilidade de adoção de um sistema de lagoas conjugado com biofilmes) como alternativa de esgotamento.

5.6 CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma ferramenta, denominada FASTE (Ferramenta para Análise de Sistema de Tratamento de Esgoto), para a seleção de alternativas sustentáveis de tratamento de esgoto, principalmente para uso por gestores de municípios de pequeno porte que não dispõem de corpo técnico para desenvolvimento do Plano de Saneamento Básico (PMSB). Usando a técnica multicriterial de tomada de decisão MAUT *(MultiAttribute Utility Tecnology)*, dez especialistas atribuíram pesos a 26 critérios (técnicos, econômicos, sociais e ambientais) e avaliaram nove sistemas de saneamento, selecionando o método de biofilmes, seguido das *wetlands*, como os mais vantajosos. A técnica MAUT, apesar de fácil aplicação, tem uso limitado pois é difícil avaliar muitos dados de uma variedade grande de sistemas e, portanto, considerou-se que a avaliação multicriterial poderia ser otimizada com uma ferramenta computacional.

A proposta (**ver Apêndice D)** é uma tabela em Excel, para avaliação de sistemas de tratamento segundo 45 critérios estabelecidos. Devido à dificuldade em levantar dados de todos os 45 critérios selecionados, a construção da ferramenta considerou apenas cinco alternativas de sistemas de tratamento de esgoto. Portanto, é necessário que mais alternativas sejam pesquisadas e a tabela seja complementada no futuro. Um aprimoramento importante é a introdução de textos que justifiquem as notas atribuídas a cada critério. Por exemplo, se a nota é 2 (médio) para atendimento a lei no que tange remoção de um dado nutriente, a ferramenta pode indicar qual o percentual exigido e as alternativas para solução do problema. Desta forma, a ferramenta complementa seu papel de análise e assume também o papel de instrutor.

A ferramenta foi avaliada por dois técnicos de um município de pequeno porte, São Marcos, no Rio Grande do Sul. Eles consideraram a ferramenta útil e propuseram algumas modificações. O esgotamento sanitário neste tipo de município ainda é considerado um desafio, não somente devido as questões técnicas envolvidas, mas também pelos investimentos elevados, pela baixa visibilidade das ações do executor (uma vez que o 'produto resultante' não fica aparente), pelo baixo retorno financeiro para as empresas responsáveis pela operação e manutenção, e pela dependência de políticas públicas voltadas ao saneamento básico que permitam a eficiência e otimização desses sistemas. Espera-se que esta ferramenta consiga, com base nas características individuais de cada município, auxiliar na seleção da melhor alternativa de tratamento de esgoto. A ferramenta não foi desenvolvida para uso exclusivo de municípios de pequeno porte, e portanto pode e deve ser avaliada em municípios de médio e grande porte.

5.7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A.T. O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão. Editora Universitária, 2ºth, Recife, 2011.

BOUYSSOUD, D. Decision Multicritére ou Aide Multicritére. Bulletin du Groupe de Travail of Operational Research, v.119, n.2, p. 404-415, 1999.

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A. **Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Typha sp*.) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído.** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 266-272, 2007

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n°357/2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http: http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf >. Acesso em: 13 ago.2012.

_____.Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n^0. 430,** de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as Condições e Padrões de Lançamentos de Efluentes, Complementa e Altera a Resolução CONAMA n^0. 357 de 17 de março de 2005, no Conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol_lanceflue_30e31mar11.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2013.

_____. **Lei nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.937, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

_____**Decreto nº 7.217**, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília.

_____**Decreto nº 8.211**, de 21 de março de 2014. Altera o Decreto nº 7.217 de 21 de junho 2010, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília.

COPASA. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. **Processos de Tratamento.** Disponível em: http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=34. Acesso em: 10 jan. 2014.

DIAS, G. F. Educação ambiental: princípios e práticas. 9ªed., São Paulo: Gaia, 2004

FAGGIONATO, S. Percepção Ambiental. 2004 Texto situado no site http://educar.sc.usp.br. 2004

FOGLIATTO, F.; GUIMARÃES, L.B.M. *Design* Macroergonômico: uma proposta metodológica para projeto de produto. **Produto & Produção.** v3, n.3, 1999, p. 1-15.

FORESTI, E.; ZAIAT, M.; VALLERO, M. Anaerobic processes as the core technology for sustainable domestic wastewater treatment: Consolidated applications, new trends, perspectives, and challenges. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, v. 5, p. 3–19, 2006.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 4 ed. São Paulo: Atlas, 1994.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA. Saneamento Básico. IT 179. Agosto, 2007. Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf>. Acessado: 05 mai. 2014. GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA, 2007

HUNT, C. C. **Modelo Multicritério de Apoio à Decisão Aplicado à Seleção de Sistema de** Tratamento **de Esgoto para Pequenos Municípios** / Camilla Carolina Hunt. - 2013.

IBGE. IBGE mapeia os serviços de saneamento básico no país. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm. Acesso em: 20 mai. 2012.

KAPSHE, M. *et al*.nalysing the co-benefits: case of municipal sewage management at Surat, India. **Journal of Cleaner Production,** v. 58, p. 51-60, 2013.

KIKER, G. A. *et al.* **Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making. Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 1, n. 2, p. 95–108, 2005.

MARCZWSKI, M. **Avaliação da percepção ambiental em uma população de estudantes do ensino fundamental de uma escola municipal rural: um estudo de caso.** 2006. Disponível em: < http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/8617>. Acesso em: 30 out. 2012.

MARGUERON, M.V.L; CARPIO, L.G.T. Processo de tomada de decisão sob incerteza em investimentos internacionais na exploração & produção off-shore de petróleo: uma abordagem multicritério**. Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 3, p. 331-348, 2005.

MENDONÇA, S.R. Lagoas de Estabilização, In: MENDONÇA, S.R. *et al*. **Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos.** João pessoa: universitária/UFPB, 1190. Cap. 6, p. 235-277.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. O pensamento do setor saneamento no Brasil: perspectivas futuras. Brasília, DF, 2005. 124p. (Série Modernização do Setor Saneamento). Disponível em: http://www.cidades.gov.br>. Acesso em: 20 fev.2014.

PAULO, P. L.*et al.* Design and configuration criteria for wetland systems treating greywater. Wat Sci Technol, no prelo, 2009.

PHILIPPI JR., A.; MALHEIROS, T.F. Águas Residuárias: Visão de Saúde Pública e Ambiental. In: SANEAMENTO, SAÚDE E AMBIENTE. Fundamentos para um Desenvolvimento Sustentável, 2005, Barueri, SP.

REATOR UASB BLOGSPOT. **Reator UASB –sistema de baixo custo**. 2011. Disponível em:< http://reatoruasbsistemadebaixocusto.blogspot.com.br/2011/05/reator-uasb-sistema-de-baixo-custo.html>. Acesso em: 12 dez. 2013.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente. Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução n°128/2006**. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CONSEMA, 2006. Disponível em: <http://www.analises.com.br/documentos/Resolucao128Efluentes.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2011.

RODRIGUES, A.S.L.; MALAFAIA, G. Degradação dos recursos hídricos e saúde humana: uma atualização. Revista Saúde & Ambiente, v. 10, n. 1, p. 13-23, 2009.

SILVA, J. M.; SCALIZE–PSCALIZE, P. S. **Avaliação da eficiência de reator UASB ao receber o lodo séptico.** S.D. Disponível em: < http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/mestrado/trabalhos-mestrado/mestrado-juliana-moraes.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2013.

THEVENOT, H. J. *et al*. **A multi-atribute utility theory-based approach to product line consolidation and selection.** In: International Design Engineering Technical Conferences; Computers and Information in Engineering CONFERENCE, 2006, Philadelphia. Procedings… Philadelphia: ASME, 2006

UCKER, F.E. *et al.*. SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA O MUNICÍPIO DE RESTINGA SECA-RS. 2010. Disponível em: < http://sites.unifra.br/Portals/36/Tecnologicas%202010/04.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípio do tratamento biológico de águas residuárias**. Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípio do tratamento biológico de águas residuárias**. Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Volume 1, 3 edição, 2005.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Vol. 4. Lodos ativados. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 1997. 415 p.

ZAIAT, M. **Desenvolvimento de Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo para tratamento de águas residuárias**. São Carlos. SP. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1996.

ZANIN, R. A. **Seleção de processos de tratamento de esgoto sanitário utilizando análise Multicritério.** Joinville: UNIVILLE, 2011. Disponível em: < http://univille.edu.br/community/mestrado_ep/VirtualDisk.html?action=downloadFile&file=Dissertacao_Rafael_Antonio_Zanin.pdf&current=%2FDissertacoes_Turma_III>. Acesso em:11 nov. 2013.

6. ARTIGO 5 – ALTERNATIVAS PARA O PROBLEMA DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA CIDADE DE SÃO MARCOS-RS: UMA ANÁLISE COM BASE EM FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO

Renata Cornelli
Lia Buarque de Macedo Guimarães

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar, com base na ferramenta que considera critérios de sustentabilidade, alternativas de esgotamento sanitário propostas pelos moradores do município de São Marcos-RS. As quatro alternativas sugiram de um estudo (artigo 3), sobre a percepção ambiental do esgotamento sanitário dos moradores desta cidade. A primeira alternativa prevê a canalização e cobertura de todo o arroio (enviando o esgoto para dentro dele), fazendo o tratamento somente no final; na alternativa 02 é feita a separação total (pluvial e sanitário) para despoluir o rio e tratar o esgoto no final; a alternativa 03 considera a construção de duas redes paralelas ao arroio Gravatá, que receberão todo o esgoto e, posteriormente, conduzirão à ETE; e, a quarta alternativa consiste na recuperação do arroio com mini estações na sua extensão. Considerando apenas os critérios econômicos, mais valorizados pelos técnicos, a alternativa 03 seria a selecionada. Usando a ferramenta na sua integralidade, com os critérios selecionados por dois gestores do município de São Marcos, a melhor opção também foi a alternativa 03 tendo em vista que melhor atende aos critérios de impacto social, ambiental e econômico. A ferramenta se mostrou sensível as diferenças entre alternativas, integra os critérios de sustentabilidade e seria importante como ferramenta suporte na tomada de decisão de projetos que não se atenham somente aos critérios econômicos convencionais.

Palavras-Chave: saneamento doméstico; sustentabilidade; cenários; município de pequeno porte

6.1 INTRODUÇÃO

A crescente escassez de água mundial, combinada com o rápido aumento da população em áreas urbanas, tem sido um dos principais incentivos para a busca de práticas adequadas de gestão de água (VOLKMAN, 2003). Fagundes (2009) também afirma que essa escassez passa a ser cada dia mais um problema de âmbito mundial que comprometerá as

futuras gerações. Um dos fatores comprometedores a esta adequada gestão é a falta de esgotamento sanitário.

Muito tem se falado, mas pouco tem sido investido no esgotamento sanitário. Em geral, o que tem sido considerado importante, e prioritário, é a questão de abastecimento e tratamento de água (VOLKMAN, 2003). Entretanto, a ausência de esgoto sanitário ou a falta de tratamento adequado de água podem resultar na contaminação desta última gerando doenças como, por exemplo: amebíase, ancilostomíase, ascaridíase, cisticercose, cólera, dengue, diarreia, disenterias, elefantíase, esquistossomose, febre amarela, febre paratifoide, febre tifoide, giardíase, hepatite, infecções na pele e nos olhos, leptospirose, malária, poliomielite, teníase e tricuríase (ESGOTO É VIDA, 2011). Buscando minimizar o número de pessoas sem acesso a um saneamento adequado, em 2000, a ONU formulou os 8 objetivos do milênio (WERNER, 2009), para que, até meados de 2015, mais pessoas tenham acesso a um saneamento básico com qualidade. Para Muga (2008), tanto a melhoria da saúde pública quanto a do saneamento implicariam na redução da disseminação de doenças que dependem, em grande parte, das boas práticas de higiene e de instalações confiáveis de coleta e tratamento de esgotos. Tratar o esgoto, além de beneficiar diretamente o meio ambiente, gera emprego e pode desencadear um processo de desenvolvimento econômico, inclusive regional (WAGNER; BELOTTO, 2008).

No Brasil, ainda são inúmeras as localidades que apresentam deficiências no seu saneamento (PEREIRA *et al.* 2001; ARAI, 2002; TEIXEIRA *et al.* 2014). Buscando minimizar este panorama, surge a Lei 11.445/2007 para forçar preocupações com as questões de saneamento, visto que ela obriga a elaboração de planos municipais de saneamento básico (PMSB). Nesta lei consta também o prazo para que todas as prefeituras concluam os seus planos (final de 2013 de acordo com o Decreto 7.217/2010) e neles devem conter os seguintes serviços: abastecimento de água potável e esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e a drenagem e manejo das águas pluviais. Sem este plano, 70% dos municípios ficarão impedidos de receber recursos federais para aplicar no setor, já que o Decreto 7.217/2010 (alterado em março de 2014 pelo decreto 8211) determinou que, com a alteração do decreto, que a partir de janeiro de 2015, o acesso a verbas da União ou a financiamentos de instituições financeiras da administração pública federal, destinados ao saneamento básico, estará condicionado à existência do plano.

Para minimizar o impacto ambiental gerado com a descarga de água não tratada em contato com os sistemas de águas naturais, é comum a instalação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) (PASQUALINO *et al.* 2009). Geralmente, elas são projetadas com base em critérios econômicos definidos na fase de anteprojeto, internamente, nas empresas de projetos e construção dos sistemas de tratamento de águas residuais (KELLNER *et al.*2009). O critério econômico é preponderante porque, no estudo de alternativas, é possível obter, do

ponto de vista técnico, a mesma eficiência no tratamento com diferentes configurações e tecnologias. No entanto, outros critérios importantes como o impacto social e o ambiental geralmente não são discutidos (ABREU; RODRIGUES, 2011).

Para Wagner e Bellotto (2008), um tratamento de esgoto eficiente pode propiciar benefícios diretos e indiretos para as populações atendidas como: beneficiar o meio ambiente, gerar empregos e até mesmo desencadear o desenvolvimento econômico regional (diretos), benefícios sociais como a redução de doenças infectocontagiosas e melhores condições de vida. Estas são difíceis de mensurar ou monetizar, mas, é importante listá-los e descrevê-los para apontar o impacto decorrente deste investimento (indiretos).

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar as quatro alternativas propostas para a problemática do esgotamento sanitário no município de São Marcos (RS) e verificar, com base em uma ferramenta com critérios de sustentabilidade (detalhada no Artigo 4), qual delas melhor atende aos critérios sociais, ambientais e econômicos. As alternativas resultaram de Cornelli *et al.* (2014A) e Cornelli *et al.* (2014B) que apontaram o sistema Biofilmes como melhor opção de sistema, e os cenários foram sugeridos por habitantes de um município de pequeno porte (CORNELLI *et al.* 2014C). Enquanto resultado, espera-se que essa análise sirva como um teste (ou uma primeira validação) da ferramenta, que foi desenvolvida para servir de apoio aos gestores do município na escolha da melhor alternativa de sistema de saneamento.

Este artigo desdobra-se em cinco seções, sendo que na primeira encontram-se os elementos norteadores da pesquisa. Na segunda seção são apresentados os procedimentos metodológicos para a sua consecução. Na seção 3 é apresentada a análise das vantagens e desvantagens referente à questões técnicas-sociais-ambientais-econômicas das quatro alternativas. Por fim, na seção 5 são apresentadas as considerações finais e as sugestões de trabalhos futuros.

6.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção apresenta a descrição da área de estudo seguida da situação sanitária atual do município em estudo e o método de pesquisa utilizado para o desenvolvimento da mesma.

6.2.1 Descrição da Área em Estudo

O município de São Marcos (Figura 29) está localizado na encosta superior nordeste do estado do Rio Grande do Sul e à distância de 155km da capital Porto Alegre e de 36km de Caxias do Sul, terceiro polo econômico do Estado. Segundo dados do Censo de 2010, possui

20.103 habitantes (9.859 homens e 10.244 mulheres) destes, aproximadamente 12,5% vivem em área rural enquanto que 87,5% estão na área urbana. De acordo com estes dados, o município pode ser classificado como de pequeno porte 2 (de 20.001 até 50.000 habitantes), segundo IBGE (2010).

Figura 30 - Município de São Marcos

Fonte: IBGE (2010).

6.2.2 Situação Sanitária Atual do Município

O Município compreende uma área de 256,25 km2 e sua rede hidrográfica é composta pelos Rios das Antas e São Marcos e os Arroios Ranchinho, Leão, Cafundó, Gravatá, Federal, Frei Caneca, Studulski e Redondo. De acordo com informações obtidas na Prefeitura, todo o esgoto que é gerado no município acaba por ser disposto (sem nenhum tipo de tratamento) em rios ou arroios que cortam a cidade. São eles: o Gravatá (que corta o centro da cidade) e seus afluentes.

Buscando confirmar essas informações, em 2013, foram realizadas entrevistas com os moradores da região (CORNELLI *et al.* 2014C), ficando constatado que são poucas as residências que possuem um sistema de fossa séptica e, as poucas que possuem, estão conectadas à rede pluvial. A grande maioria da população conecta o seu esgoto diretamente na rede pluvial ou lança no arroio Gravatá (corpo receptor).

Para atender a Lei 11.445/2007 o Município contratou uma empresa, que entregou o plano em meados de outubro de 2013. Após análise, ficou constatado que a maioria dos dados, referentes ao tópico de esgotamento sanitário, foram retirados do diagnóstico realizado por Beal (2006). Quanto às metas, ficou estipulado que toda a questão de esgotamento (método utilizado e projeto) ficaria sob responsabilidade da concessionária de água e esgoto

do município (CORSAN) na qual, em momento algum, estipulou data para início do projeto de implantação.

Isto posto, fica claro que o Município pode lucrar com um suporte no que tange o planejamento de esgotamento sanitário. E necessário adequar a infraestrutura dos novos empreendimentos, bem como aquela dos já existentes, com a construção de ETEs, para que não haja o descarte de efluente bruto nos corpos hídricos receptores.

6.2.3 Método

O método de pesquisa adotado se classifica, do ponto de vista da natureza, como sendo de abordagem quantitativa visto que busca capturar evidências da pesquisa com base na mensuração de variáveis com a menor interferência possível nas variáveis de pesquisa (MIGUEL *et al.* 2010). Devido à complexidade do tema, utilizou-se a estratégia de Pesquisa-ação, pois possibilita a delineação mais clara do problema (GIL, 1994).

A avaliação das alternativas de saneamento para a cidade de São Marcos foi feita de duas formas:

1. considerando todos os critérios da ferramenta desenvolvida por Cornelli (2014) (Artigo 4);

2. considerando apenas os critérios julgados importantes pelos técnicos responsáveis, sendo um da prefeitura e outro da CORSAN.

6.3 COLETA DE DADOS

Nesta seção serão relatadas as vantagens e desvantagens de cada um dos quatro cenários para a aplicação no Município. Serão elencadas tanto questões técnicas quanto questões sociais, ambientais e econômicas.

6.3.1 Descrição dos Cenários

Este item apresenta os cenários que serão analisados. Todos eles consideram que será construído um tanque para armazenar o esgoto da cidade e o mesmo será distribuído em partes para ser tratado de maneira eficiente em qualquer um dos cenários propostos.

Para o levantamento das alternativas, foi imprescindível o estudo de percepção ambiental (PA). Com ele foi possível o levantamento desses quatro cenários propostos pelos moradores já que, ele se baseia nos princípios de que com a PA é possível adquirir conhecimento sobre o meio ambiente e, as pessoas ou grupos sociais podem sensibilizar-se sobre o assunto, alterar atitudes e partir para ações (DIAS, 1994).

a) *Cenário 01: canalizar todo o arroio (enviando todo o esgoto para dentro dele), cobrir e fazer o tratamento somente no final*

Esta opção (ver Figura 31) sugere que todo o esgoto da cidade (pluvial e sanitário) seja enviado ao arroio que deverá ser canalizado e posteriormente coberto. Ao final, o esgoto/arroio receberá tratamento adequado e poderá seguir seu curso.

Neste cenário, o arroio deixará de existir e os problemas com alagamentos, proliferação de vetores de doença e o mau cheiro poderão continuar existindo. Uma outra informação importante é que a canalização do arroio é contrária aos princípios de proteção ambiental expostos no Código Florestal (Lei Federal 12.651/12) e só vem sendo permitida quando a obra for de interesse público e social.

O arroio tem 5.630m de extensão, sendo que 1.697m já estão canalizados e cobertos. Restam ainda abertos 3.933m para canalizar e cobrir, o que representa 3.933m de tubulação ou galerias e uma autorização do Órgão Ambiental.

Figura 31 - Cenário 01- Canalização e cobertura do arroio

b) *Cenário 02: fazer a separação total (pluvial e sanitário), despoluir o rio e tratar o esgoto/rio no final*

A NBR 9648(86) traz o sistema de separador absoluto: é o conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar, somente esgoto sanitário, a uma disposição conveniente, de modo contínuo e higienicamente

seguro. No final do Século XIX este sistema criado nos Estados Unidos e possui como grande vantagem a facilidade do tratamento do esgoto sanitário (pois não há diluição do pluvial). Para Teixeira (2009), a maior desvantagem, mesmo dimensionado para receber somente esgotos sanitários, acaba por receber contribuições pluviais (provenientes de ligações clandestinas).

Nesta alternativa (ver Figura 32), a prefeitura teria que adequar todo o encanamento da cidade fazendo uma rede para águas pluviais e outra para esgotos sanitários. Hoje, São Marcos conta com 69.246m de extensão de rede de esgoto. Para se adequar a este cenário, teria que ser duplicada a rede (uma para pluvial e outra para sanitário) e ainda levar o esgoto canalizado até a ETE, totalizando em 74.876m de tubulação. Além disso, teria de fiscalizar todas as residências e adequá-las para que a ligação fosse realizada na rede correta. A rede pluvial seria ligada diretamente no rio, enquanto a rede de esgotos sanitários seria ligada na estação de tratamento para, após, retornar ao corpo receptor.

Bernardes e Soares (2004) são enfáticos em afirmar que para o sucesso deste sistema, deverá existir uma fiscalização efetiva e controle por parte dos órgãos públicos (prefeitura e secretaria do meio ambiente) para que as águas pluviais não sejam encaminhadas juntamente com o esgoto sanitário para a rede coletora. O maior problema deste cenário seria o controle das ligações clandestinas e ter que abrir e refazer todo o sistema de encanamento da cidade.

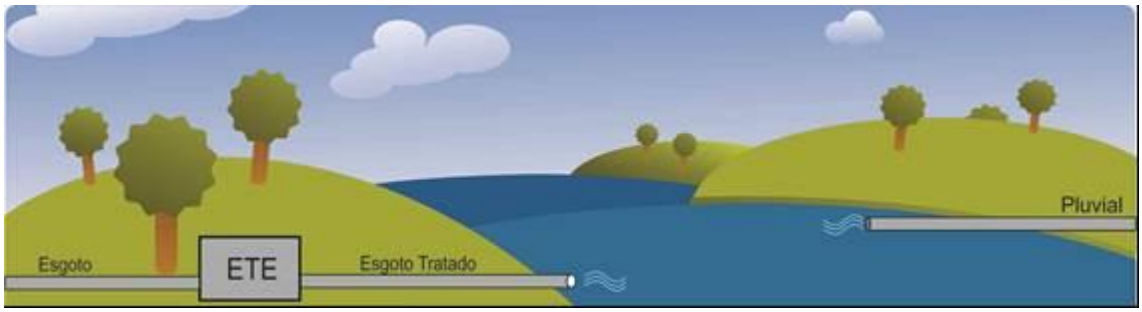


Figura 32 - Cenário 02- Sistema de separador total

c) *Cenário 03: construir 2 redes paralelas que receberão todo o esgoto ao arroio para ligar na ETE*

Neste cenário (ver Figura 33), serão construídas duas redes paralelas ao arroio que receberão todo o esgoto gerado na cidade (pluvial e sanitário) e o mesmo terá como destino uma estação de tratamento para receber o devido tratamento. Depois de tratado, com o auxílio de uma bomba (haverá o consumo de energia elétrica), o efluente tratado retornará a montante para dar vazão ao arroio e recuperar a vida do mesmo.

O arroio possuí uma extensão de 5.630m. Assim, para construir duas redes, seriam necessários 11.260m de tubulação e mais 5.630m para retornar ao início do arroio, totalizando 16.890m. O diâmetro das tubulações deverá ser calculado de acordo com a vazão.

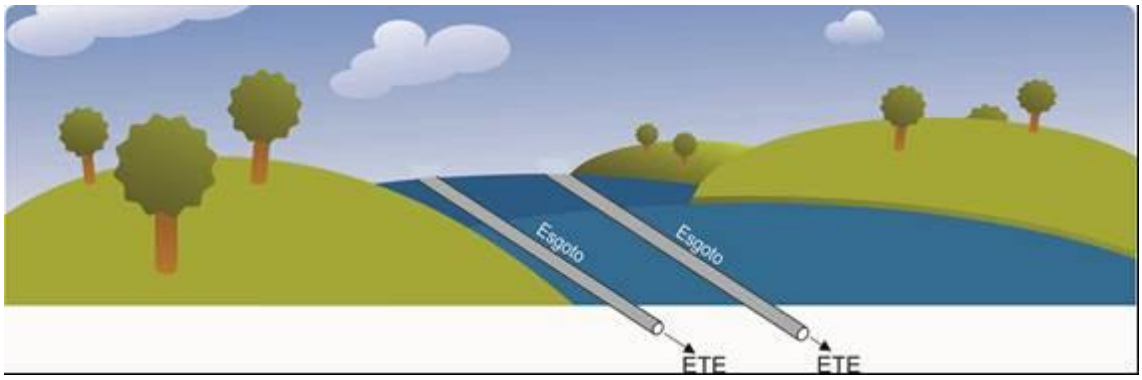


Figura 33 - Cenário 03 - Redes paralelas que serão ligadas a ETE

d) Cenário 04: recuperar o arroio com mini estações ao longo dele

A alternativa (ver Figura 34) sugere instalar mini ETE's ao longo do arroio. Para isso, a cidade será dividida em áreas e o esgoto gerado em cada uma dessas áreas será tratado e somente após poderá voltar ao arroio.

Em 2034, a população geradora de esgoto que contribuirá com o aumento de vazão do arroio Gravatá foi estimada em 20.000 habitantes.

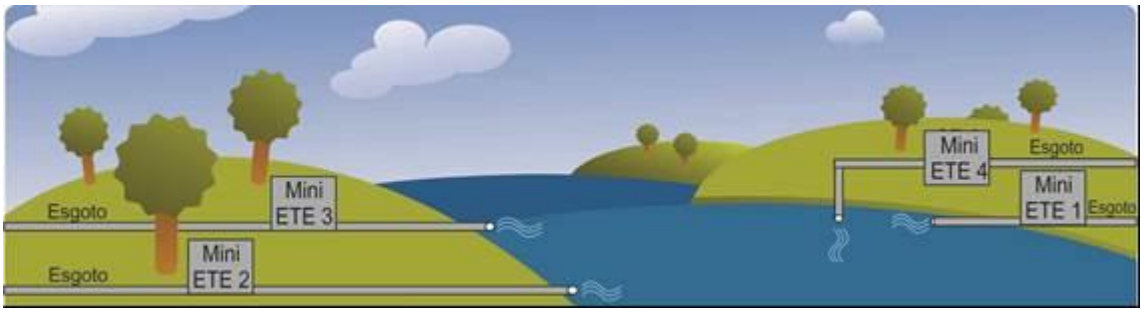


Figura 34 - Cenário 04 - Miniestações de tratamento de esgoto ao longo do arroio

6.3.2 Análise dos Custeios das Alternativas

Tendo em vista que a ferramenta de apoio a decisão considera itens econômicos, foi feita uma estimativa dos custos, por habitante, de cada cenário de implantação da ETE, com base nas informações de especialistas de duas concessionárias de tratamento de esgoto do Rio

Grande do Sul (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto SAMAE- Caxias do Sul e Companhia Rio-grandense de Saneamento- CORSAN). Eles forneceram os dados de custeio de sistemas tradicionais de ETE's e apontaram um *mark up* (fator multiplicador). Assim, para este estudo foi utilizada a proporção de 1:4 (respectivamente cenário 03 e 04) conforme dados do SAMAE da Tabela 16 acrescidos de juros de 6% ao ano. Para o cálculo do custo por metro da canalização, foi utilizada a média entre os valores apresentados pela CORSAN, acrescidos de juros de 6% ao ano. Foi estimada uma população para daqui há 20 anos (em 2034) ou seja, 20.000 habitantes que contribuirão para a vazão da bacia do Arroio Gravatá em 2034. Na Tabela 10, são apresentados os custos de implantação de algumas ETE's em Caxias do sul.

Tabela 10 - Custo da implantação de Estações de Tratamento em Caxias do Sul (RS)

	ETE Pinhal	**ETE Tega**	**ETE Belo**	**ETE Pena Branca**
Ano	2012	2011	2012	2012
Vazão (L/s)	280	440	120	120
Habitantes Atendidos	130.000	200.000	30.000	40.000
Custo	R$ 29.241.151,72	R$ 52.053.783,57	R$ 13.826.089,33	R$ 16.050.386,05
Custo por Habitante	R$ 228,01	R$ 260,27	R$ 460,87	R$ 401,26

Fonte: BNDES, 2014.

A Tabela 11 apresenta os custos de redes e ramais pela CORSAN em diferentes municípios do Rio Grande do Sul.

Tabela 11 - Custo da instalação de redes e ramais em diferentes municípios gaúchos

R$	**Venâncio Aires**	**Imbé**	**Cachoeira do Sul**	**Santa Maria**	**Santa Rosa**
Ano	2012	2011	2012	2012	2012
Rede (m)	17,133m	7.771m	4.409m	73.074m	25.544m
Ramais (m)	11.836m	9.233m	1.897m	41.132m	0m
Custo	R$ 3.344.616,38	R$2.220.221,28	R$ 979.876,27	R$ 14.769.238,19	R$3.719.289,71
Custo por metro	R$ 115,47	R$130,57	R$ 155,39	R$ 129,32	R$ 145,6

Fonte: CORSAN, 2014.

Para a situação de São Marcos, analisando a Tabela 10, optou-se por utilizar o cenário mais crítico (o que possui o custo mais elevado) que neste caso é o da ETE Belo, a um custo de R$ 460,00 por habitante. O mesmo acontece analisando a Tabela 11, utilizando o cenário mais crítico, o custo de instalação de redes e ramais é de R$ 155,39 por habitante. Os valores utilizados deverão ser reajustados para posterior utilização.

Tabela 12 - Comparação dos custos dos cenários

	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04
Custo com ETE	R$ 8.621.400,00	R$ 8.621.400,00	R$ 8.621.400,00	R$ 13.561.600,00
Custo com canalização	R$ 597.608,01	R$ 11.378.905,72	R$ 2.566.773,30	R$ 303.940,00
Custo do sistema (R$)	**R$ 9.219.008,01**	**R$ 20.000.305,72**	**R$ 11.188.173,30**	**R$ 13.865.540,00**

Conforme a Tabela 3, o cenário 01 (canalização e cobertura do arroio) mesmo apresentando o menor custo é tecnicamente inviável pois não atende o Código Florestal. A área do arroio é uma Área de Preservação Permanente (APP), o que exige a preservação das matas ciliares. Ficou evidenciado, por meio de notificações, que o Ministério Público (Ministério Público de São Paulo e Ministério Público do Paraná), tem negado a maioria dos pedidos de canalização de rios e arroios mesmo esta sendo uma alternativa que surgiria como solução para muitos dos problemas deste Município.

O cenário 03 pode ser considerado a melhor opção pois tem o menor custo de implantação se comparado aos cenários 02 e 04. Isso porque o cenário 02 (sistema de separador total) é praticamente inviável economicamente pois a rede de esgotamento sanitário teria de ser readequada (uma para o pluvial e outra para o sanitário), tornando necessário a abertura do sistema existente na cidade. Isto traria um custo adicional, além do custo de implantação no novo sistema, bem como inúmeros transtornos para o Município. Outra questão importante que deve ser levada em consideração é que, para este sistema ser eficiente, deveria haver um constante acompanhamento junto à população, para que novas ligações fossem conectadas de maneira correta à rede, além de ter que ser construída uma rede para ligar o esgoto até a ETE municipal. Quanto ao cenário 04, mesmo com o custo da canalização sendo mais baixo, os custos com as construções das mini-ETE’s são maiores (já que serão implantadas entre 4 a 5 ao longo do rio para substituir a do final do arroio) assim como o custo de operação.

6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ferramenta computacional de análise de sistemas de tratamento de esgoto (FASTE) **Apêndice E**, desenvolvida como uma tabela em Excel, conforme descrito no Artigo 4 desta tese, foi adaptada para avaliar os cenários propostos pela população de São Marcos, RS. Para cada um dos cenários foi atribuída uma nota que varia de 1 a 3 para cada um dos critérios de avaliação. As notas são dadas com base na comparação entre os cenários, sendo:

- Um (1): situação pior;
- Dois (2): situação regular;

- Três (3): situação melhor.

Assim, a seguir são apresentados os critérios de avaliação utilizados na avaliação dos quatro cenários:

a) Critérios econômicos

- Custo do m² da área utilizada por habitante: no caso da cidade de São Marcos-RS, o valor do m² é R$ 250,00: se for < 1m²/habitante (melhor situação = nota 3), Se for entre 1e 3 m²/habitante (situação regular = nota 2) e se for ≥3m²/habitante (pior situação = nota 1).
- Custo com energia (por habitante mês): se for custo igual a zero (melhor situação = nota 3), se o custo for até R$ 24,00 (situação regular = nota 2) e se for maior que R$ 24,00 (pior situação = nota 1).
- Custo de instalação de redes (R$/habitante): Se for até R$ 116,00 (melhor situação = nota 3), se for entre R$ 116,00 e R$ 155,00 (situação regular= nota 2) e se for maior que R$ 155,00 (pior situação = nota 1).
- Custo de implantação da ETE (R$/habitante): Se for até R$ 228,00 (melhor situação = nota 3), se for entre R$ 228,00 e R$ 400,00 (situação regular= nota 2) e se for maior que R$ 400,00 (pior situação = nota 1).
- Custo de operação do sistema (R$/habitante mês): Se for até R$ 3,00 (melhor situação = nota 3), se for entre R$ 3,01 e R$ 6,00 (situação regular= nota 2) e se for maior que R$ 6,01 (pior situação = nota 1).
- Custo com mão de obra: Se for até R$ 1.500,00 (melhor situação = nota 3), se for entre R$ 1.5000,01 e R$ 2.500,00 (situação regular= nota 2) e se for maior que R$ 2.500,00 (pior situação = nota 1). Não são considerados encargos trabalhistas.

b) Critérios técnicos

- Flexibilização na aplicação da solução: se sim (nota 3) e se não (nota 1).
- Complexidade da operação: entre 0 e 1- baixa (nota 3), entre 2 e 3- média (nota 2) e maior que 4- alta (nota 1).
- Complexidade da manutenção: entre 0 e 1- baixa (nota 3), entre 2 e 3- média (nota 2) e maior que 4- alta (nota 1).
- Variação de carga (CHV): se sim (nota 3) e se não (nota 1).
- Tratamento sofre influência das condições climáticas (neste caso, chuvas intensas): se sim (nota 1) e se não (nota 3).
- Atendimento da legislação: se atende (nota 3), atende parcialmente (nota 2) e não atende (nota 1).

c) Critérios sociais

- Quantidade de mão de obra utilizada: baixa- até 1 operador (melhor situação = nota 3), média- entre 1 e 2 (situação regula = nota 2), alta- acima de 2 operadores (pior situação = nota 1).
- Qualificação necessária da mão de obra: baixa-necessita ao menos de ensino médio (melhor situação = nota 3), média- necessita ao menos de curso técnico (situação regula = nota 2), alta- necessita ao menos de graduação (pior situação = nota 1).
- Geração de odor: se sim (pior situação -= nota 1) e se não (melhor situação = nota 3).
- Possibilita a proliferação de vetores de doença: se sim (pior situação -= nota 1) e se não (melhor situação = nota 3).
- Aspecto do efluente tratado: claro (melhor situação = nota 3), turvo (situação regula = nota 2), escuro (pior situação = nota 1).
- Número de habitantes atingidos pelo tratamento: pouco (pior situação -= nota 1), médio (situação regular = nota 2) e muito (melhor situação = nota 3).

d) Critérios ambientais

- Área ocupada para a instalação: se for < 1m²/habitante (melhor situação = nota 3), Se for entre 1e 3 m²/habitante (situação regular = nota 2) e se for ≥3m²/habitante (pior situação = nota 1).
- Consumo de energia elétrica: se for custo igual a zero (melhor situação = nota 3), se o custo for até 10kW/mês (situação regular = nota 2) e se for maior que 10kW/mês (pior situação = nota 1).
- Destruição da biodiversidade: se sim (pior situação -= nota 1), nem tanto (situação regular = nota 2) e se não (melhor situação = nota 3).
- Geração da biodiversidade: se sim (melhor situação -= nota 3) e se não (pior situação = nota 1).
- Fornece habitat para a vida selvagem: se sim (melhor situação -= nota 3) e se não (pior situação = nota 1).

Dois técnicos da cidade de São Marcos selecionaram os 4 mais importantes dentre os 45 critérios disponíveis na ferramenta. São eles: o responsável pelo Plano de Saneamento Básico (PMSB), (respondente A) e o responsável pelo tratamento de água (respondente B). Para o Respondente A, os mais importantes são: área ocupada para a instalação, custo, atendimento aos parâmetros exigidos pela legislação e complexidade de operação e manutenção (seguir a ordem ao aplicar na FASTE). Para o Respondente B: atendimento aos

parâmetros exigidos pela legislação, área ocupada para a instalação, complexidade da operação e custo (seguir a ordem ao aplicar na FASTE).

A FASTE foi adaptada de acordo com os cenários pré-estabelecidos e, assim acabou ficando com 28 critérios (além dos totais por agrupamento no âmbito econômico e dos 3 benefícios) e, os que não se aplicavam foram retirados para melhor manuseio. Os critérios priorizados pelos dois respondentes foram selecionados na FASTE para que aparecessem no início da tabela, a fim de melhorar a visualização. No entanto, esta priorização não altera os resultados.

Analisando os resultados encontrados ao utilizar a FASTE, foi possível comprovar que o melhor resultado para o município de São Marcos é o cenário 03, que não foi o proposto pela maioria (proposto por 11,11% dos entrevistados). Ele e o mais adequado porque: a quantidade de área para a instalação do cenário 3 é menor se comparado com a área necessária para o cenário 04; o custo total do sistema no cenário 03 é o mais vantajoso pois precisa somente de uma área/uma estação, enquanto o cenário 04 precisa de um número de áreas igual ao número de mini-ETE's. Além do custo maior de instalação, também são maiores os custos com operação e manutenção; os cenários 03 e 04 atendem, igualmente, à legislação.

6.5 CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma análise de quatro alternativas de tratamento de esgoto propostas pelos moradores do município de São Marcos/RS: o cenário 01- canalização e cobertura do arroio (o esgoto seria enviado para dentro dele) e o tratamento seria realizado no final; o cenário 02- fazer um sistema de separação total, isolando assim o esgoto pluvial do esgoto sanitário (adicional uma rede que ligaria o esgoto sanitário até a ETE); o cenário 03- construir duas redes paralelas que receberão todo o esgoto ao arroio para ligar na ETE, e o cenário 04-construção de mini ETE's ao longo do arroio.

Os quatro cenários foram detalhados e analisados com base em uma ferramenta computacional de análise de sistemas de tratamento de esgoto (FASTE). Dois técnicos do município selecionaram, separadamente, os 4 critérios mais importantes para análise. Um considerou área ocupada para a instalação, custo, atendimento aos parâmetros exigidos pela legislação e complexidade de operação e manutenção e outro atendimento aos parâmetros exigidos pela legislação, área ocupada para a instalação, complexidade da operação e custo. Esta priorização não altera os resultados, apenas dispõe os critérios prioritários no início da tabela para facilitar a visualização. O cenário 03 (construir duas redes paralelas que receberão todo o esgoto ao arroio para ligar na ETE), proposto por 11,11% dos moradores, mostrou-se o

mais favorável nas duas analises, e foi também o cenário com o menor custo de implantação, operação e manutenção.

A ferramenta mostrou-se de fácil aplicação e fornece subsídios para análise detalhada de vários sistemas de tratamento de esgoto. Ela pode e deve ser aplicada em outras localidades de pequeno, médio e grade porte, a fim de ser validada como suporte para decisões quanto ao saneamento e inclusive como ferramenta para o desenvolvimento do Plano de Saneamento Básico (PMSB) dos municípios.

6.6 REFERÊNCIAS

ABREU, P.S.; RODRIGUES, M.V. Proposta de arranjo de indicadores para avaliação da sustentabilidade de estações de tratamento de esgoto por zona de raízes. **Synergismus scyentifica UTFPR**, v. 6, n. 1, 2011.

ARAI, V. J. **Análise de um processo participativo na experiência de implantação de um projeto município saudável**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública. Departamento de Prática de Saúde Pública.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648 – Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário.** 1986.

BEAL ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. Diagnóstico. 2006

BERNADES, R.S.; SOARES, S.R.A. **Esgotamento combinado e controle da poluição:** estratégias para planejamento do tratamento da mistura de esgotos sanitários e águas pluviais. Brasília: CAIXA, 2004.

BNDES**.** Banco Nacional de Desenvolvimentos. **Construindo a Caxias do Futuro.** Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seminario/SaneamentoEmFoco2010_SAMAE_CAXIASdoSUL.pdf. Acesso em: 20 fev. 2014.

BRASIL. **Lei Federal nº. 11.445** de 5 de Janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

_____**Decreto Federal nº 7.217,** de 21 de junho 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007- 2010/2010/Decreto/D7217.htm>. Acesso em: 07 mar 2013.

_____**Decreto nº 8.211**, de 21 de março de 2014. Altera o Decreto nº 7.217 de 21 de junho 2010, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília.

_____**Lei Federal n.º 12.651 de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Acesso em 07/07/2013 Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 12 jan. 2013.

CORNELLI, R.; AMARAL, F.G.; DANILEVICZ, A.M.D.; GUIMARÃES, L.B.M. [*Working paper]* Métodos de Tratamento de efluentes domésticos: Uma revisão sistemática. 2014A.

CORNELLI, R.; DANILEVICZ, A.M.D.; GUIMARÃES, L.B.M. [*Working paper]* Comparação dos parâmetros de lançamento de esgotos nas esferas federal e estadual. 2014B.

CORNELLI, R.; DANILEVICZ, A.M.D.; GUIMARÃES, L.B.M. [*Working paper]* Percepção Ambiental dos moradores da cidade de São Marcos-RS sobre as condições de esgotamento sanitário. 2014C.

CORSAN. Companhia Rio-grandense de Saneamento. **Editais.** Disponível em: http://www.editais.corsan.com.br/index.php>. Acesso em: 02 mar. 2014.

DIAS, G.F. As atividades de Educação Ambiental urbana: dos conceitos básicos a serem utilizados em EA urbana. In: ____. **Educação Ambiental**: princípios e práticas. 4 ed. São Paulo: Gaia, 1994. parte III, cap. 3, p. 120-164.

ESGOTO É VIDA. Dossiê de Saneamento. Disponível em: <http://www.esgotoevida.org.br/saude_saneamento.php>. Acesso em: 10 ago. 2011.

FAGUNDES, R.M.; SCHERER, M.J. Sistemas alternativos para o tratamento local de efluentes sanitários. ***DISC.Scientia.*** Série Ciências Naturais e Tecnológicas. Santa Maria. V.10, n.1, p.53-65, 2009.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 4 ed. São Paulo: Atlas, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Resultado do Censo 2010 publicados no Diário Oficial da União do dia 04/11/2010: Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_dou/RS2010.pdf. Acesso em: 10 fev.2013.

KELLNER, E.C. *et al*. Aplicação de indicadores de sustentabilidade para lagoas de estabilização. **Eng. Sanit. Ambient.,** Dez 2009, vol.14, no.4, p.455-464. ISSN 1413-4152

MIGUEL, P.A.C. (Coord.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e operações.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010, 226p.

MUGA, H. E.; MIHELCIC, J. R. Sustainability of wastewater treatment technologies. **Journal of environmental management**, v. 88, n. 3, p. 437-447, 2008.

PASQUALINO, J. C. *et al*. LCA as a decision support tool for the environmental improvement of the operation of a municipal wastewater treatment plant. **Environmental science & technology,** v. 43, n. 9, p. 3300-3307, 2009.

PEREIRA, G.; QUINTANA, M.; BRECHT, B. A natureza (dos) nos fatos urbanos: produção do espaço e degradação ambiental The nature (of) our urban facts: productions of space and environmental degradation. 2001.

TEIXEIRA, J.C. *et al.* Estudo do impacto das deficiências de saneamento básico sobre a saúde publica no Brasil no período de 2001 a 2009. **Eng. sanit. ambient,** v. 19, n. 1, p. 87-96, 2014.

TEIXEIRA, M. B. **Manejo de esgotos sanitários: alternativas para loteamento popular em Porto Alegre.** 2009. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/24121/000741857.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2014.

VOLKMAN, S. Sustainable wastewater treatment and reuse in urban areas of the developing world**. A Field Engineering in the Developing World Report**, 2003.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG, 1996.

WAGNER, A. G.; BELLOTTO, V. R. Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário: Análise Econômica de Alternativas para Municípios Litorâneos - Estudo de Caso – Balneário Camboriú e Itajaí (SC), Brasil.Revista de Gestão Costeira Integrada, Blumenau, mai. 2008. Disponível em:<http://www.aprh.pt/rgci/pdf/revista8f1_6.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2013.

WERNER, C. *et al*. Ecological sanitation: principles, technologies and project examples for sustainable wastewater and excreta management. **Desalination,** v. 248, n. 1, p. 392-401, 2009.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as discussões finais sobre a proposta da tese, as conclusões e as oportunidades de pesquisas futuras. A seguir discutem-se estes pontos.

7.1 CONCLUSÃO

Este trabalhou propôs uma ferramenta para a seleção de alternativas sustentáveis para o tratamento de esgoto. A ferramenta foi desenvolvida com base nos dados levantados em 3 etapas apresentadas nos Artigos 1 a 3 desta tese:

Na etapa 1, foram identificadas, na literatura revisada, as alternativas ambientalmente viáveis. Com base na revisão sistemática da literatura sobre tratamento de efluentes domésticos nas bases de dados *Scielo, ASCE, BVS e Science Direct* entre os anos de 2002 e 2012, foi possível identificar os sistemas mais utilizados e levantar as vantagens e desvantagens de cada um deles.

Na etapa 2, foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre as leis e normas existentes no Brasil sobre esgoto sanitário doméstico. Foi também levantada a opinião de especialistas responsáveis pelo tratamento de esgoto de concessionárias municipais e estaduais quanto a importância destas leis e normas e a dificuldade para atender os critérios estipulados. Após plotar os resultados na Matriz de Importância-Desempenho, ficou evidente que os nutrientes (nitrogênio e fósforo), além de vírus e protozoários (patógenos) são os parâmetros mais importantes e difíceis de controlar. Os sistemas que melhor atendem os critérios são as *wetlands* e o sistema de lagoas. No entanto, conforme as informações prestadas pelas companhias de saneamento consultadas, poucas utilizam os *wetlands*, pois recorrem ao sistema de lagoas.

Na etapa 3, foram feitas 35 entrevistas com os moradores das margens do Arroio Gravatá para obtenção da opinião da população sobre o esgotamento sanitário em São Marcos/RS. Foram obtidas sugestões para reduzir a poluição do Arroio, tais como: construir duas redes paralelas ao arroio conectando em uma ETE ao final; tratar todo o arroio com mini estações de tratamento ao longo dele; canalizar todo arroio e tratar o esgoto somente no final e; fazer a separação total das aguas pluviais e sanitárias, despoluir o Gravatá e tratar o esgoto.

Na etapa 4, as informações obtidas da literatura, das entrevistas com os técnicos e com a população foram utilizadas no desenvolvimento de uma ferramenta computacional de suporte a tomada de decisão na seleção de alternativas sustentáveis de esgotamento sanitário.

Esta ferramenta foi testada, na etapa 5, quando foram avaliadas as quatro alternativas elencadas para um município de pequeno porte, na etapa 3.

A ferramenta foi apresentada aos técnicos da cidade de São Marcos que consideraram conter informações em excesso, por demais complexas e desnecessárias. Apesar dos técnicos darem preferência apenas aos fatores econômicos, a ferramenta mostrou-se sensível aos demais critérios de sustentabilidade. Conclui-se que todos os critérios nela contidos são necessários e não devem ser eliminados. Ao invés de simplificar a ferramenta, é necessário mudar a cultura de que saneamento deve se sustentar em critérios unicamente econômicos. A difusão da ferramenta poderá contribuir para esta mudança além de auxiliar na seleção das alternativas sustentáveis para o tratamento de esgotos. Apesar dela ter sido testada com foco nos municípios de pequeno porte, não há razão para crer que ela não possa ser utilizada em outros municípios (médio e grande porte). A curto e médio prazo, a utilização da ferramenta por vários municípios seria um primeiro passo para a difusão de uma dinâmica projetual que também considere os fatores sociais e ambientais envolvidos.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, as sugestões são as que seguem:

a) Projetar a ETE para o Município de São Marcos, utilizando a ferramenta proposta, a fim de reduzir a forca do enfoque econômico tradicional que geralmente permeia os projetos, ao incorporar critérios sociais e ambientais;

b) Comparar os resultados do projeto tradicional (de cunho econômico) com os advindos da utilização da ferramenta que tem cunho sustentável;

c) Difundir, para um número maior de concessionários, a ideia de que o tratamento de esgoto pode e deve se calcar em critérios de sustentabilidade.

d) Adaptar a ferramenta para utilização em projetos de qualquer município. Para tanto, aplicar a ferramenta em municípios de médio e grande porte e avaliar a adequação da mesma;

e) Atualizar periodicamente as tecnologias existentes para o tratamento de esgoto.

APÊNDICE A

INSTRUMENTO DE LEVANTAMENTO UTILIZADO NO ARTIGO 3

PPGEP Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO ORIENTADORA: Prof. Lia Buarque de Macedo Guimarães, Ph.D. CO-ORIENTADORA: Prof. Ângela M.F. Danilevicz, Dr. DOUTORANDA: Renata Cornelli, M.Eng.	UFRGS UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ROTEIRO PARA A ENTREVISTA semi-estruturada

1.) Você sabe de onde vem a água que você utiliza em casa?

2.) Você sabe para onde vai a água depois de utilizada na sua casa (o esgoto)?

3.) Qual sua percepção sobre o esgotamento sanitário no Município?

4.) Quais usos eram dados ao ‘Arroio Gravatá’ antigamente?

5.) Quais usos são dados ao ‘Arroio Gravatá’ atualmente?

6.) Em sua opinião, qual seria a solução para o problema de esgotamento sanitário no Município?

APÊNDICE B

INSTRUMENTO DE LEVANTAMENTO UTILIZADO NO ARTIGO 4

PPGEP Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO ORIENTADORA: Prof. Lia Buarque de Macedo Guimarães, Ph.D. CO-ORIENTADORA: Prof. Ângela M.F. Danilevicz, Dr. DOUTORANDA: Renata Cornelli, M.Eng.	UFRGS UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Pesquisa para a priorização dos critérios influenciadores na seleção de método de tratamento de esgoto.

Na lista de critérios, abaixo, gostaríamos que você indicasse o grau de importância durante a tomada de decisão para a seleção de um método de tratamento de esgoto. Você deverá marcar com o número 1 os 5 critérios que você considera em primeiro lugar de importância. A seguir, dentre os critérios que sobraram, você deve marcar o número 2 para os 5 critérios que considera em segundo lugar de importância. Novamente com os que sobraram, você deve marcar o número 3 naqueles 5 critérios que você considera em terceiro lugar de importância. Por fim, dentre os critérios que sobraram, você deve marcar o número 4 nos 5 critérios que considera em quarto lugar de importância. Sobrarão 6 critérios sem nenhum número marcado.

A seguir, encontra-se um exemplo fictício de priorização conforme solicitado.

Critérios	Ordem de Importância
A. azul marinho	2
B. verde musgo	3
C. amarelo	1
D. vermelho	4
E. bege	
F. lilás	2
G. verde escuro	4
H. roxo	
I. azul claro	2
J. verde claro	3
K. marrom	4
L. laranja	1
M. cinza	
N. preto	2
O. magenta	
P. branco	1
Q. fúcsia	
R. terracota	4
S. rosa	3
T. branco	3
U. turquesa	1
V. dourado	1
W. prateado	4
X. salmão	3
Y. grená	
Z. marfim	2

Para o exemplo apresentado, as 5 cores que tem importância 1 são: amarelo, laranja, branco, turquesa e dourado. E assim por diante na prioridade 2, 3 e 4, sobrando 6 células em branco. Agora queremos que você ordene os critérios a seguir.

Pesquisa para a priorização dos critérios influenciadores na seleção de método de tratamento de esgoto.

Na lista de critérios, abaixo, gostaríamos que você indicasse o grau de importância durante a tomada de decisão para a seleção de um método de tratamento de esgoto. Você deverá marcar com o número 1 os 5 critérios que você considera em primeiro lugar de importância. A seguir, dentre os critérios que sobraram, você deve marcar o número 2 para os 5 critérios que considera em segundo lugar de importância. Novamente com os que sobraram, você deve marcar o número 3 naqueles 5 critérios que você considera em terceiro lugar de importância. Por fim, dentre os critérios que sobraram, você deve marcar o número 4 nos 5 critérios que considera em quarto lugar de importância. Sobrarão 6 critérios sem nenhum número marcado.

Critérios importantes para seleção de instalação de estação de tratamento de esgoto.

Critérios	Ordem de Importância
A. área ocupada (para instalação do método);	
B. flexibilidade na aplicação da solução (para tratar tanto pequenos quanto grandes volumes);	
C. complexidade da operação;	
D. nível de qualificação da mão de obra;	
E. complexidade da manutenção;	
F. consumo de energia para operar;	
G. custo de instalação e operação do sistema;	
H. nível da tecnologia utilizada;	
I. eficácia do método;	
J. geração de lodo;	
K. geração de odor;	
L. influência das condições climáticas no tratamento;	
M. necessidade de tratamento prévio;	
N. fornece habitat para vida selvagem;	
O. possibilita proliferação de vetores de doenças;	
P. variação de carga orgânica;	
Q. produção de metano;	
R. utilização do biogás gerado;	
S. aspecto do efluente tratado;	
T. atendimento aos padrões exigidos na legislação;	
U. necessidade de pós-tratamento;	
V. remoção de nutrientes;	
W. remoção de patógenos;	
X. remoção de matéria-orgânica;	
Y. remoção de poluentes;	
Z. combinação com outros tipos de tratamento	

APÊNDICE C

INSTRUMENTO DE LEVANTAMENTO UTILIZADO NO ARTIGO 2

PPGEP Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO ORIENTADORA: Prof. Lia Buarque de Macedo Guimarães, Ph.D. CO-ORIENTADORA: Prof. Ângela M.F. Danilevicz, Dr. DOUTORANDA: Renata Cornelli, M.Eng.	UFRGS UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

1) Em sua opinião, dos parâmetros listados abaixo, quais são os principais a serem controlados em uma Estação de Tratamento de Esgotos Domésticos? Enumere-os: 1 (**mais importante**) a 20 (**menos importante**) sem repetir a numeração

FÍSICOS	**QUÍMICOS**	**BIOLÓGICOS**
☐ Temperatura	☐ Sólidos totais	☐ Bactérias
☐ Cor	☐ DBO	☐ Fungos
☐ Odor	☐ DQO	☐ Protozoários
☐ Turbidez	☐ Material inorgânico	☐ Vírus
	☐ Carbono Orgânico total	☐ Helmintos
	☐ Nitrogênio total	
	☐ Fósforo	
	☐ pH	
	☐ Alcalinidade	
	☐ Cloretos	
	☐ Óleos e Graxas	

2) Dos citados na questão anterior, **explicar** quais (TAMBÉM EM ORDEM DE IMPORTÂNCIA) você acha mais difícil controlar?
   1.
   2.
   3.
   4.
   5.

3) Sobre os diversos tipos de tratamento de esgotos, **cite** 3 que para você atendem a legislação federal (CONAMA 357/05 alterada com a 430/11)?

APÊNDICE D

FASTE (FERRAMENTA PARA ANÁLISE DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO)

N° de habitantes atendidos	20.000
Custo da área	R$ 250,00
kWh	R$ 2,53
Pós tratamento (F-Q)	R$ 0,42

	Aquisição			Implantação				Operação/Manutenção				
Critério	**Área nec./hab. (m2/hab.)**	**Área Total do Sistema (m2)**	**Custo Total de Aquisição da Área (R$)**	**Custo de Implantação do Sist./hab.**	**Custo Total de Implant.do Sistema**	**Custo Total Implant.Sist. + Custo Área p/Implant.**	**Custo total/hab da Implantação (R$/hab)**	**Custo Oper/Manut por hab./mês**	**Custo MDO / mês ***	**Insumos / hab.mês (físico-químico)**	**Energia elétrica/mês**	**Custos Totais de Oper/Manut por mês**
UASB	1	20000	R$ 5.000.000,00	R$ 50,00	R$ 1.000.000,00	R$ 6.000.000,00	R$ 300,00	R$ 3,50	R$ 2.604,00	R$ 8.400,00	R$ 607,20	R$ 81.611,20
Biofilmes	1	20000	R$ 5.000.000,00	R$ 80,00	R$ 1.600.000,00	R$ 6.600.000,00	R$ 330,00	R$ 3,50	R$ 3.472,00	R$ 0,00	R$ 607,20	R$ 74.079,20
Lodos ativados	2	40000	R$ 10.000.000,00	R$ 160,00	R$ 3.200.000,00	R$ 13.200.000,00	R$ 660,00	R$ 20,00	R$ 7.004,00	R$ 0,00	R$ 910,80	R$ 407.914,80
Sistema de lagoas	3	60000	R$ 15.000.000,00	R$ 75,00	R$ 1.500.000,00	R$ 16.500.000,00	R$ 825,00	R$ 4,00	R$ 868,00	R$ 8.400,00	R$ 0,00	R$ 89.268,00
Wetlands	3	60000	R$ 15.000.000,00	R$ 80,00	R$ 1.600.000,00	R$ 16.600.000,00	R$ 830,00	R$ 4,00	R$ 868,00	R$ 8.400,00	R$ 0,00	R$ 89.268,00

* Sem encargos trabalhistas

CONTINUAÇÃO **APÊNDICE D**

TÉCNICO															
Critério	**Técnico (Remoção de N)**	**Técnico (Remoção de P)**	**Técnico (Remoção de MO)**	**Técnico (Remoção de Poluentes)**	**Técnico (Remoção de Patógenos)**	**Técnico (flexib)**	**Técnico (oper.)**	**Técnico (manut)**	**Técnico (necessidade de pós-tratamento-Lagoa)**	**Técnico (necessidade de pós-tratamento-Wetltand)**	**Técnico (necessidade de pós-tratamento-Filtro)**	**Técnico (necessidade de pós-tratamento-F-Q)**	**Técnico (Lodo)**	**Técnico (CHV= 5)**	**Técnico (atendimento aos padrões exigidos pela legislação)**
UASB	3	3	3	3	3	3	1	3	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	1,8
Biofilmes	2	2	3	2	3	3	3	3	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	3
Lodos ativados	1	1	3	3	3	3	1	1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	3
Sistema de lagoas	1	1	2	1	3	3	3	3	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	1,6
Wetlands	3	3	3	3	3	3	3	3	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	2,4

CONTINUAÇÃO **APÊNDICE D**

	TÉCNICO				SOCIAL						AMBIENTAL		
Critério	**Técnico (biogás)**	**Técnico (condições climáticas)**	**Técnico (nível tecnologia)**	**Técnico (combinação outros tipos)**	**Impacto social (nº mão de obra)**	**Impacto social (qualificação)**	**Impacto social (odor)**	**Impacto social (vetores doença)**	**Impacto social (aspecto efluente)**	**Impacto social (Nº hab. Atingidos)**	**Impacto ambiental (área)**	**Impacto ambiental (energia)**	**Impacto ambiental (insumos)**
UASB	**Sim**	**Não**	**3**	**3**	**1**	**2**	**1**	**3**	**1**	**3**	**3**	**3**	**3**
Biofilmes	**Não**	**Não**	**1**	**3**	**2**	**2**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**1**
Lodos ativados	**Sim**	**Sim, temperatura**	**2**	**3**	**2**	**1**	**2**	**2**	**3**	**3**	**2**	**2**	**1**
Sistema de lagoas	**Não**	**Sim, temperatura**	**3**	**3**	**1**	**3**	**1**	**1**	**3**	**3**	**1**	**3**	**3**
Wetlands	**Não**	**Sim, temperatura**	**3**	**3**	**1**	**3**	**3**	**1**	**3**	**3**	**1**	**3**	**1**

CONTINUAÇÃO **APÊNDICE D**

	AMBIENTAL									BENEFÍCIOS		
Critério	**Impacto ambiental (destruição biodiversid.)**	**Impacto ambiental (geração biodivers)**	**Impacto Ambiental (fornece habitat)**	**Impacto ambiental (produção metano)**	**Impacto Ambiental (Remoção de N)**	**Impacto Ambiental (Remoção de P)**	**Impacto Ambiental (Remoção de MO)**	**Impacto Ambiental (Remoção de Poluentes)**	**Impacto Ambiental (Remoção de Patógenos)**	**benefícios (eco)**	**beneficios (amb)**	**beneficios (soc)**
UASB	2	1	3	1	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	*Gastos com tratamento e disposição de lodo	* Necessita de pouca área * Baixo consumo de energia * Possibilidade de utilização do biogás gerado	* Operação e manutenção simples
Biofilmes	1	1	3	3	2	2	3	2	3	*Gastos com tratamento e disposição de lodo	* Baixo consumo de energia	* Utilização de mão de obra local
Lodos ativados	2	1	2	1	1	1	3	3	3	*Gastos com tratamento e disposição de lodo	* Requer pouca área * Método eficaz * Remoção de nutrientes e poluentes * Alto consumo de energia	* Operação e manutenção simples
Sistema de lagoas	3	3	1	1	**1**	**1**	2	**1**	**3**	*Gastos com tratamento e disposição de lodo * custo elevado com área	* Baixo consumo de energia * Fornece habitat para vida selvagem	*Melhoria no Saneamento
Wetlands	3	3	1	3	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	* custo elevado com área	* Baixa produção de odor * Fornece habitat para a vida selvagem * Praticamente nulo consumo de energia	* Utilização de Mão de obra qualificada

Verde = Situação ótima; Amarelo = Situação regular; Vermelho = Situação pior

APÊNDICE E

ADAPTAÇÃO DA FASTE PARA OS CENÁRIOS PROPOSTOS PELOS HABITANTES DO MUNICÍPIO DE SÃO MARCOS/RS

N° de habitantes atendidos	20.000
Custo da área	R$ 250,00
Custo kWh	R$ 2,53
Custo pós-tratamento	R$ 0,42
N° de mini ETE's	04

	AQUISIÇÃO			IMPLANTAÇÃO				OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO			
Critérios	Área nec./habi. (m²/hab)	Área total do Sistema (m²)	Custo total de aquisição da área (R$)	Custo de instalação da rede (R$)	Custo de implantação da ETE (R$)	Custo total de impl. Do sistema + custo área de implantação (R$)	Custo por habitante da implantação (R$/hab)	Custo opera.manut/ habit.mês (R$/habit.mês)	Custo MDO/mês*	Custo energia elétrica/mês	Custo total Oper.manut/mês
Cenário 01	1	20.000	R$ 5.000.000,00	R$ 597.608,01	R$ 8.621.400,00	R$ 14.219.008,01	R$ 710,95	R$ 3,50	R$ 868,00	0	R$ 70.868,00
Cenário 02	1	20.000	R$ 5.000.000,00	R$ 11.378.905,72	R$ 8.621.400,00	R$ 25.000.305,72	R$ 1.250,02	R$ 3,50	R$ 868,00	0	R$ 70.868,00
Cenário 03	1	20.000	R$ 5.000.000,00	R$ 2.566.773,30	R$ 8.621.400,00	R$ 16.188.173,30	R$ 809,41	R$ 4,05	R$ 868,00	R$ 607,20	R$ 82.475,20
Cenário 04	3	60.000	R$ 15.000.000,00	R$ 303.940,00	R$ 13.561.600,00	R$ 28.865.540,00	R$ 1.443,28	R$ 6,01	R$ 3.643,20	R$ 3.643,20	R$ 127.315,20

* Sem encargos trabalhistas

CONTINUAÇÃO **APÊNDICE E**

	Técnico						Social					
Critérios	**Técnico (flexib)**	**Técnico (Complex. oper.)**	**Técnico (Complex. Manut.)**	**Técnico (CHV= 5)**	**Técnico (atendimento da legislação)**	**Técnico (condições climáticas)**	**Impacto social (Nº de mão de obra)**	**Impacto social (Qualif. Mão de Obra)**	**Impacto social (odor)**	**Impacto social (vetores doença)**	**Impacto social (aspecto arroio/efluente)**	**Impacto social (Nº hab. Atingidos)**
Cenário 01	3	3	3	3	1	1	3	3	3	3	1	3
Cenário 02	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2	3	3
Cenário 03	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	3	3
Cenário 04	3	1	1	3	3	2	1	1	1	2	3	3

CONTINUAÇÃO **APÊNDICE E**

	Ambiental					Benefícios		
Critérios	**Impacto ambiental (área ocupada)**	**Impacto ambiental (consumo de energia)**	**Impacto ambiental (destrui. biodivers)**	**Impacto ambiental (geração biodivers)**	**Impacto ambiental (fornece hab.)**	**beneficios (Amb)**	**beneficios (soc)**	**beneficios (eco)**
Cenário 01	3	3	1	1	1	Aspecto do arroio irá piorar * Probabilidade de aumento de eventos de alagamentos * problema ficará escondido sob a terra	* não haverá problema com odor *necessita de poucos operadores e com pouca qualificação	* Gastos com canalização e cobertura do arroio
Cenário 02	3	3	3	3	3	* Vai melhorar o aspecto do arroio *Não serve de habitat para vetores de doença mas propicia a geração da biodiversidade*Necessita de pouca área para a instalação	*Melhoria no saneamento básico * poderá ainda ocorrer problemas com odor *necessita de poucos operadores e com pouca qualificação	Gastos com a instalação de sistema de separador absoluto
Cenário 03	3	2	3	3	3	* Vai melhorar o aspecto do arroio *Não serve de habitat para vetores de doença mas propicia a geração da biodiversidade*Necessita de pouca área para a instalação	*Melhoria no saneamento básico * poderá ainda ocorrer problemas com odor *necessita de poucos operadores e com pouca qualificação	Gastos com construção das redes paralelas Gasto para controlar o bombeamento que retorna a montante
Cenário 04	1	1	3	3	3	* Vai melhorar o aspecto do arroio *Não serve de habitat para vetores de doença mas propicia a geração da biodiversidade*	*Melhoria no saneamento básico * n° poderá ainda ocorrer problemas com odor *necessita de mais operadores e com média qualificação	*Gastos com mão de obra para operação e manutenção * Gastos com consumo de energia * Gastos com áreas

Verde = Situação ótima; Amarelo = Situação regular; Vermelho = Situação pior