

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE**  
**DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

**MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO NA ESCOLHA DE SISTEMA DE  
TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO**

**Sonia Valle Walter Borges de Oliveira**

**Orientador: Prof. Dr. Marcio Mattos Borges de Oliveira**

**SÃO PAULO**

**2004**

Prof. Dr. Adolpho José Melfi  
Reitor da Universidade de São Paulo

Profª. Drª. Maria Tereza Leme Fleury  
Diretora da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Prof. Dr. Eduardo Pinheiro Gondim de Vasconcellos  
Chefe do Departamento de Administração

Prof. Dr. Isak Kruglianskas  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Administração

**SONIA VALLE WALTER BORGES DE OLIVEIRA**

**MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO NA ESCOLHA DE SISTEMA DE  
TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO**

Tese apresentada ao Departamento de  
Administração da Faculdade de Economia,  
Administração e Contabilidade da  
Universidade de São Paulo como requisito  
para a obtenção do título de Doutor em  
Administração.

**Orientador Prof. Dr. Marcio Mattos Borges  
de Oliveira**

**SÃO PAULO**

**2004**

Tese defendida e aprovada no Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Administração, pela seguinte banca examinadora:

## FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção de Publicações e Divulgação do SBD/FEA/USP

Oliveira, Sonia Valle Walter Borges de  
Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário / Sonia Valle Walter Borges de Oliveira. -- São Paulo, 2004.  
293 f.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2004  
Bibliografia.

1. Administração 2. Tomada de decisão (Administração executiva)  
3. Tratamento de esgotos sanitários I. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da USP. II. Título.

CDD – 658

*Dedico este trabalho  
aos meus pais Wolfgang e Maria Luiza,  
aos meus sogros D.Norma e Sr.Borges,  
ao Marcio, meu eterno companheiro e orientador,  
e às minhas filhas Victória, Marília e Patrícia,  
por toda compreensão e incentivo.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marcio Mattos Borges de Oliveira, pela grande orientação, imprescindíveis sugestões e discussões e constante incentivo para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Isak Kruglianskas, da FEA-USP, pela gentileza e disponibilidade em presidir a banca, representando o orientador.

Ao Prof. Dr. José Roberto Campos, da EESC-USP, pelas inúmeras informações, sugestões e correções que formaram grande parte da teoria e prática de dimensionamento dos sistemas de tratamento desta tese.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ruth Gouvêa Duarte, da EESC-USP, pelo grande incentivo, correções finais, sugestões e imprescindível ajuda na coleta de dados.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Christina Siqueira Campos, da FEA-RP-USP, pelas primeiras correções e sugestões.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Geciane Mello Porto, da FEA-RP-USP, pelas sugestões e direcionamento do texto para a qualificação.

À Eng<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvia Claudia Povinnelli da Agência Nacional de Águas-ANA, pelos contatos no PRODES e fornecimento de dados sobre saneamento no Brasil.

Aos especialistas do Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas-PRODES, da ANA, em Brasília, engenheiros Maria Cristina S. O. M. Brito, Carlos Motta Nunes, Sérgio Rodrigues Soares e Paulo Augusto Cunha Libânio, pelas informações e dados fornecidos.

*“Disse também Deus:  
As águas que estão debaixo do céu,  
ajuntem-se num mesmo lugar,  
e o elemento árido apareça. E assim se fez.  
E chamou Deus ao elemento árido, terra,  
e ao agregado das águas, mares”.*

*(Gênesis, 1: 9-10)*

## RESUMO

A escolha do sistema de tratamento de esgoto sanitário a ser instalado em uma cidade pode tornar-se uma difícil decisão, uma vez que diversas variáveis interferem em seu custo e em sua qualidade ambiental. Este trabalho pretende mostrar a possibilidade de se usar técnicas da análise de decisão para a escolha do sistema de tratamento de esgoto sanitário de forma ecológica e econômica, como árvore de decisão e análise de sensibilidade. Para a avaliação dos sistemas, foi desenvolvido um modelo com oito alternativas, compostas de processos biológicos anaeróbios – Reator Anaeróbio de Manta de Lodo e Lagoa Anaeróbia – seguidos de aeróbios – Lodos Ativados, Lagoa Facultativa, Filtro Biológico Percolador e Lagoa Aerada com Lagoa de Decantação. O modelo elabora o dimensionamento das unidades de tratamento e, a partir desses dados, a estimativa de custo de cada sistema. O custo total de cada alternativa foi composto por itens de implantação, operação e manutenção. O modelo foi avaliado para quatro casos de populações distintas, apresentando variação nas alternativas mais indicadas para cada um. A análise de sensibilidade se mostrou eficaz em identificar as alternativas mais significativas no custo total dos sistemas. Os resultados encontrados indicam, de maneira promissora, que o modelo poderá auxiliar a escolha de sistemas de tratamento, bem como seu pré-dimensionamento, com base em características peculiares à sua localidade.

Palavras-chave: Tomada de decisão, tratamento de esgoto sanitário, árvore de decisão.

## ABSTRACT

*The selection of the wastewater treatment system to be installed in a city can be a difficult decision, once several variables interfere in its cost and in its environmental quality. This study intends to show the possibility of using techniques of decision analysis to select the wastewater treatment system in an ecological and economical way, as decision tree and sensitivity analysis. For the evaluation of systems, a model was developed with eight alternatives, composed of anaerobic biological process - Upflow Anaerobic Sludge Blanket and Anaerobic Pond - followed by aerobic process – Activated-Sludge, Facultative Pond, Trickling Filter and Aerated Lagoon with Sedimentation Basin. The model elaborates the treatment units dimensioning and cost estimation of each system, based on dimensioning data. The total cost of each alternative was composed by construction, operation and maintenance items. The model was evaluated using four cases of different populations, presenting variation in the most suitable alternatives for each one. The sensitivity analysis was shown effective in identifying the most significant alternatives in the total cost of the systems. The results indicate, in a promising way, that the model will be able to help the choice of treatment systems, as well as its pre-dimensioning, based in local peculiar characteristics.*

*Uniterms: Decision making, wastewater treatment, decision tree.*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....</b>	<b>8</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 – APRESENTAÇÃO .....	11
1.2 – OBJETIVOS .....	13
<b>2 – REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
2.1. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	15
2.2. SISTEMAS DE TRATAMENTO UTILIZADOS NO MODELO.....	21
2.2.1 Reator Anaeróbio de Manta de Lodo – UASB .....	21
2.2.2 Lagoa Anaeróbia .....	23
2.2.3 Lodos Ativados .....	25
2.2.4 Lagoa Facultativa.....	30
2.2.5 Filtro Biológico Aeróbio de Alta Taxa .....	31
2.2.6 Lagoa Aerada seguida de Lagoa de Decantação.....	34
2.3. USO DE TÉCNICAS QUANTITATIVAS NA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO .....	37
2.4. ESCOLHA DO SISTEMA DE TRATAMENTO MAIS ADEQUADO.....	41
2.5. FATORES RELEVANTES PARA A ESCOLHA DO TIPO DE TRATAMENTO ...	51
2.6. TÉCNICAS DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO.....	65
2.6.1 Análise de Sensibilidade e Diagrama de Tornado .....	66
2.6.2 Árvore de Decisão.....	67
2.6.3 Diagrama de Influência.....	67
2.7. CONSIDERAÇÕES .....	68
<b>3 – MÉTODO .....</b>	<b>69</b>
3.1. TIPO DE PESQUISA .....	70
3.2. PERGUNTAS DE PESQUISA .....	70
3.3. PROPOSIÇÕES DE PESQUISA .....	71
3.4. COLETA DE DADOS.....	72
3.5. DESENVOLVIMENTO DO MODELO.....	73
3.5.1. Fluxograma do Processo de Análise .....	73
3.5.2. Definição das Variáveis .....	76
3.5.3. Seleção dos Programas de Computador e das Técnicas de Análise.....	79
3.5.4. Elaboração das Planilhas.....	83
3.6. AVALIAÇÃO DO MODELO .....	84
3.7. ETAPAS DA PESQUISA .....	84
3.8. LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	85
<b>4 – PESQUISA EXPLORATÓRIA .....</b>	<b>87</b>
4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS PILOTO .....	88
4.2. COMPLEMENTAÇÃO DE DADOS DA ENTREVISTA PILOTO.....	91
4.3. COLETA DE DADOS NA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS.....	94

4.4. INFORMAÇÕES SOBRE USO DE CONCRETO ARMADO EM ESTAÇÕES .....	97
<b>5 – DESENVOLVIMENTO DO MODELO .....</b>	<b>99</b>
5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	100
5.2. PLANILHAS DO MODELO .....	102
5.3. PLANILHA DE INSERÇÃO DE DADOS .....	105
5.4. PLANILHAS DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO .....	107
5.4.1. Sistema A – Reator Anaeróbio de Manta De Lodo (UASB) seguido de Lodos Ativados .....	111
5.4.2. Sistema B – Reator Anaeróbio de Manta De Lodo (UASB) seguido de Lagoa Facultativa .....	113
5.4.3. Sistema C – Reator Anaeróbio de Manta De Lodo (UASB) seguido de Filtro Biológico Percolador de Alta Taxa .....	114
5.4.4. Sistema D – Reator Anaeróbio de Manta De Lodo (UASB) seguido se Lagoa Aerada e Lagoa de Decantação .....	115
5.4.5. Sistema E – Lagoa Anaeróbia seguida de Lodos Ativados .....	117
5.4.6. Sistema F – Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa .....	119
5.4.7. Sistema G – Lagoa Anaeróbia seguida de Filtro Biológico Percolador de Alta Taxa .....	120
5.4.8. Sistema H – Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Aerada e Lagoa de Decantação .....	121
<b>6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>123</b>
6.1. APLICABILIDADE DE ÁRVORE DE DECISÃO PARA ESCOLHA DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO .....	124
6.2. AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO NA ESCOLHA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO .....	133
6.3. AVALIAÇÃO DAS RESTRIÇÕES AMBIENTAIS NA ESCOLHA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO .....	137
6.4. AVALIAÇÃO DAS RESTRIÇÕES TECNOLÓGICAS NA ESCOLHA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO .....	138
6.5. AVALIAÇÃO DOS PRINCIPAIS FATORES QUE INTERFEREM NA ESCOLHA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO .....	139
<b>7 – CONCLUSÕES .....</b>	<b>143</b>
7.1. CONCLUSÕES .....	144
7.2. SUGESTÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS .....	145
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>146</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>153</b>
ANEXO A – Resolução CONAMA N° 20, de 18 de junho de 1986 .....	154
ANEXO B – Portaria n°. 518, de 25 de março de 2004 .....	170

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A: Área

ANA: Agência Nacional de Águas

BDI: Bonificação de Despesas Indiretas

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

CHV: Carga Hidráulica Volumétrica

COV: Carga Orgânica Volumétrica

CV: Cavalo Vapor

d: Dia

D: Diâmetro

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO: Demanda Química de Oxigênio

$\epsilon$ : Eficiência

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto

h: Hora

H: Altura

ha: Hectare

hab.: Habitantes

i: Taxa de Juros

L: Comprimento (*Length*)

n: Número de Anos (Vida Útil)

N: Número de Unidades

NMP: Número Mais Provável (Coliformes Fecais)

NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl

O&M: Operação e Manutenção

P: Perímetro

pH: Potencial Hidrogeniônico

pop.: População

Q: Vazão

SS: Sólidos Suspensos

SSV: Sólidos Suspensos Voláteis

SST: Sólidos Suspensos Totais

T: Temperatura

TCO: Taxa de Consumo de Oxigênio

TDH: Tempo de Detenção Hidráulica

UASB: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (Reator Anaeróbico de Manta de Lodo)

V: Volume

VME: Valor Monetário Esperado

W: Largura (*Width*)

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 2.1 – Algumas alternativas de degradação biológica para tratamento de esgoto .....	17
Quadro 2.2 – Comparação entre sistemas aeróbios e anaeróbios de tratamento de águas residuárias .....	19
Quadro 4.1 – Relação de cidades e respectivos processos de tratamento contempladas no PRODES .....	96
Quadro 5.1 – Sistemas e unidades de tratamento usados no modelo .....	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Faixas do tempo de detenção hidráulica em função das faixas de temperatura para reatores UASB .....	22
Tabela 2.2 – Coeficientes para o cálculo de sólidos no reator UASB .....	23
Tabela 2.3 – Características de reatores anaeróbios de manta de lodo.....	23
Tabela 2.4 – Valores de Taxa de Aplicação de Carga e remoção de DBO <sub>5</sub> (%) em função da temperatura média mensal .....	24
Tabela 2.5 – Tempo de detenção hidráulica e remoção provável de DBO em função da temperatura da lagoa anaeróbia .....	24
Tabela 2.6 – Características do sistema australiano (lagoa anaeróbia-lagoa facultativa) .....	25
Tabela 2.7 – Parâmetros de projeto do tanque de aeração em sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios .....	27
Tabela 2.8 – Parâmetros de projeto do sistema aeração para sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios .....	27
Tabela 2.9 – Parâmetros de projeto sobre a produção de lodo em sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios .....	28
Tabela 2.10 – Parâmetros de projeto do decantador secundário em sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios .....	29
Tabela 2.11 – Parâmetros de projeto para o tratamento do lodo em sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios .....	29
Tabela 2.12 – Parâmetros de projeto para o tratamento do lodo em sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios .....	30
Tabela 2.13 – Parâmetros de projeto para lagoa facultativa como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios .....	31
Tabela 2.14 – Características de lagoas facultativas .....	31
Tabela 2.15 – Taxas de aplicação recomendadas para filtros biológicos percoladores de alta taxa aplicados ao pós-tratamento de efluentes de sistemas anaeróbios.....	32
Tabela 2.16 – Parâmetros adotados para filtros biológicos percoladores de alta taxa e decantadores secundários aplicados ao pós-tratamento de efluentes de sistemas anaeróbios.....	33
Tabela 2.17 – Taxas de aplicação superficial para o projeto de decantadores secundários após filtros biológicos percoladores .....	33
Tabela 2.18 – Características de filtros biológicos percoladores de alta taxa .....	33
Tabela 2.19 – Parâmetros de projeto da lagoa aerada de mistura completa.....	34
Tabela 2.20 – Faixas usuais de operação dos aeradores de alta rotação .....	35
Tabela 2.21 – Valores dos coeficientes cinéticos e estequiométricos para lagoas aeradas de mistura completa .....	35
Tabela 2.22 – Parâmetros de projeto para dimensionamento de decantadores após lagoas aeradas de mistura completa.....	36
Tabela 2.23 – Coeficientes para cálculo do acúmulo de lodo no decantador.....	36
Tabela 2.24 – Coeficientes para cálculo do acúmulo de lodo no decantador.....	37
Tabela 2.25 – Processos de tratamento para a remoção de fósforo por métodos de custo moderado .....	49
Tabela 2.26 – Processos de tratamento para a remoção de Nitrogênio por métodos de custo moderado .....	49
Tabela 2.27 – Resumo dos principais fatores para escolha de sistema de tratamento encontrados na literatura.....	63
Tabela 4.1 – Informações sobre volume de concreto e vazões em três estações de tratamento da SABESP .....	98

Tabela 5.1 – Esgoto coletado e tratado, segundo classes de tamanho da população no Brasil .....	100
Tabela 6.2 – Custos (US\$) dos 8 sistemas analisados no modelo para o Caso 1 – População de 10.000 habitantes .....	125
Tabela 6.3 – Custos (US\$) dos 8 sistemas analisados no modelo para o Caso 2 – População de 20000 habitantes .....	127
Tabela 6.4 – Custos (US\$) dos 8 sistemas analisados no modelo para o Caso 3 – População de 50000 habitantes .....	129
Tabela 6.5 – Custos (US\$) dos 8 sistemas analisados no modelo para o Caso 4 – População de 67000 habitantes .....	131
Tabela 6.6 – Comparação dos custos de implantação por habitante, dos oitos sistemas do modelo para os quatro casos estudados, com os apresentados na literatura.....	134
Tabela 6.7 – Comparação dos custos totais de implantação, operação e manutenção e custo total de cada sistema para os quatro casos estudados.....	136
Tabela 6.8 – Comparação dos custos totais das duas melhores alternativas para os quatro casos estudados.....	139

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Fluxograma genérico de tratamento de esgoto sanitário com níveis de tratamento: preliminar, primário, secundário e terciário .....	16
Figura 2.2 – Esquema com as associações de sistemas anaeróbios seguidos de aeróbios para tratamento secundário, sugeridos por Campos et al. (1997).....	20
Figura 2.3 – Estação de tratamento de esgoto de Franca, SP, com lodos ativados: (a) tanque de aeração e (b) decantador .....	26
Figura 2.4 – Fluxograma para o planejamento de estações de tratamento de esgoto.....	42
Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (1991) .....	42
Figura 2.5 – Fluxograma para definição de tratamento de esgoto doméstico (UNEP, 2003) ..	46
Figura 2.6 – Exemplo de grafo para a seleção de métodos de sistema de tratamento de águas residuárias a serem usados principalmente em estações de larga escala.....	47
Figura 2.7 – Grafo para a seleção de métodos de tratamento de águas residuárias envolvendo a remoção de Fósforo e Nitrogênio .....	48
Figura 2.8 – <i>Output</i> do programa SANEX <sup>TM</sup> para exemplo de escolha de alternativa de tratamento de esgoto sanitário .....	51
Figura 2.9 – Considerações e passos para o projeto preliminar de sistema de tratamento de esgoto.....	60
Figura 2.10 – Fluxograma de concepção de projeto de sistema de tratamento de esgoto.....	61
Figura 3.1 – Fluxograma do processo de análise de decisão utilizado no modelo.....	74
Figura 3.2 – Esquema das variáveis dependentes, independentes e moderadoras que compõem o modelo e suas formas de intervenção .....	78
Figura 3.3 – Planilha “Árvore de Decisão” do modelo, apresentando as alternativas, com auxílio do programa Precision Tree da Palisade .....	80
Figura 3.4 – Tela do programa “ <i>Top Rank</i> ” da Palisade, apresentando um resultado de análise “ <i>What-if</i> ” .....	81
Figura 3.4 – Tela do programa “ <i>Top Rank</i> ” da Palisade, apresentando um Diagrama de Tornado gerado a partir de uma análise de sensibilidade.....	82
Figura 3.5 – Exemplo de diagrama de influência com algumas variáveis para o modelo de escolha do sistema de tratamento .....	83
Figura 4.1 – Fluxograma de processo de escolha de sistema de tratamento .....	92
Figura 4.2 – Exemplo de gráfico comparativo entre duas alternativas de tratamento de esgoto com custos iniciais e finais (após 20 anos).....	94
Figura 5.1 – Planilha “Dados Gerais” do modelo, onde o usuário insere dados relativos ao local de implantação da estação.....	102
Figura 5.2 – Planilha do Sistema A - Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de Lodos Ativados – com as sub-planilhas de cálculo.....	104
Figura 5.3 – Planilha “Alertas”, com o resumo dos alertas de todos os sistemas .....	105
Figura 5.5 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de Lodos Ativados – Sistema A .....	112
Figura 5.6 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de Lagoa Facultativa – Sistema B .....	113
Figura 5.7 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de Filtro Biológico Percolador – Sistema C .....	115
Figura 5.8 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de Lagoa Aerada e Lagoa de Sedimentação – Sistema D .....	116
Figura 5.9 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Lagoa Anaeróbia seguida de Lodos Ativados – Sistema E.....	118

Figura 5.10 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa – Sistema F.....	119
Figura 5.11 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Lagoa Anaeróbia seguida de Filtro Biológico Percolador – Sistema G.....	121
Figura 5.12 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Aerada e Lagoa de Decantação – Sistema H.....	122
Figura 6.1 – Árvore de decisão com a avaliação dos 8 sistemas de tratamento para o Caso 1 – População de 10000 habitantes .....	126
Figura 6.2 – Árvore de decisão com a avaliação dos 8 sistemas de tratamento para o Caso 2 – População de 20000 habitantes .....	128

## **1 – INTRODUÇÃO**

---

## 1.1 – APRESENTAÇÃO

As pressões da legislação, dos consumidores e da sociedade quanto às responsabilidades ambientais têm impulsionado o governo, as empresas e demais participantes da sociedade a um maior comprometimento com o meio ambiente. O fornecimento de verbas por meio da hierarquia estatal pode ser prejudicado pela falta de responsabilidade ambiental do município e, do ponto de vista empresarial, certificações ambientais como a ISO 14000, são fatores importantes para a competitividade, principalmente em mercados externos (MOHAMED, 2001).

O'Brien (1999) enfatiza que as indústrias são forçadas a reconhecer a sua obrigação para com a sociedade no desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis, os quais minimizem impactos ambientais. O autor comenta a responsabilidade que o governo deve ter nesse processo, bem como o comprometimento das empresas e dos consumidores. A mesma obrigação está cada vez mais sendo imposta aos governantes, perante a sua responsabilidade com a qualidade ambiental de seu município.

Um dos indicadores da responsabilidade ambiental de uma organização, seja estatal ou particular, é a minimização, tratamento e destino de seus resíduos. Os resíduos sólidos têm recebido alguma forma de tratamento há muitos anos, embora muitas vezes precário ou insuficiente. Os poluentes atmosféricos têm legislação específica, ficando a cargo do gerador o seu tratamento.

A demanda crescente de água de abastecimento em contraponto à disponibilidade cada vez menor de água que possa ser potabilizada com técnicas menos onerosas e mais rápidas, levou à conscientização da indispensável e urgente necessidade do tratamento dos esgotos sanitários. Estes, a cada dia também em quantidades maiores e qualidades piores, geram seus problemas de poluição e até de contaminação, fruto da presença de tóxicos ou de patogênicos.

Os anseios da comunidade – oriundos de sua percepção quanto aos problemas ambientais e em particular, quanto à qualidade e quantidade da água – contribuíram fortemente para a tomada de posição dos que legislam.

Para isso também houve expressiva contribuição de subsídios fornecidos por pesquisadores que têm aprimorado os conhecimentos de tratamento de águas residuárias.

O tratamento de águas residuárias no Brasil teve maior expressividade com o fortalecimento da legislação ambiental e do gerenciamento de recursos hídricos, por meio dos Comitês de Bacias Hidrográficas. Infelizmente, o Brasil ainda está no estágio citado por Rauch (1998), no qual a gestão dos recursos hídricos é feita principalmente com soluções “*end-of-pipe*” e não por avaliações na geração de impactos. Esse assunto também foi comentado por Sarkis e Cordeiro (2001), por meio de análises entre as vantagens da prevenção da poluição contra as práticas “*end-of-pipe*”.

O uso de bacias hidrográficas como unidades ambientais de gerenciamento, em substituição de rios isolados e divisas políticas ou geográficas, demonstra a preocupação de se expandir a solução dos problemas ambientais a áreas maiores de interferência. Essa filosofia vai ao encontro dos conceitos de Bloemhof-Ruwaard et al. (1995), em que a escala dos problemas ambientais passou, nas últimas décadas, de local e regional para continental e global.

Para a solução de problemas ambientais, o fator econômico será um forte ponderador das possíveis alternativas. A “*eco<sup>2</sup>-eficiência*” deve ser alcançada: eficiência ecológica e econômica. As palavras de Nagel e Meyer (1999, p.790) definem bem esta preocupação: “*Is there a gap between ecology and economy?*”. Os autores argumentam que as soluções ecológicas geralmente levam à economia, uma vez que a redução do consumo de matérias-primas e de energia, reciclagem ou reutilização de produtos são, ao mesmo tempo, ecológica e econômica.

No entanto, o processo para se atingir esse ideal ecológico-econômico é complexo e deverá estar adaptado à realidade da legislação ou certificação a que deverá atender. Como subsídio ao estudo de políticas ambientais, pode-se utilizar o trabalho de Pindyck (2000), em que se avalia a relação custo-benefício na escolha da melhor e mais oportuna solução. O autor enfatiza que soluções podem parecer interessantes em longo prazo, no entanto, seu custo pode provocar aumentos de custo indesejáveis no produto final. Deve-se chegar a soluções que atendam às duas faces, ecológica e econômica.

Seguindo os conceitos apresentados, a escolha do melhor sistema de tratamento de esgoto deve buscar a minimização do consumo de energia e outros insumos, minimização de resíduos gerados, minimização de custos de implantação, operação e manutenção, com garantia da eficiência de remoção de poluentes e matéria orgânica, uma vez que deverá atender aos requisitos ambientais do local a ser implantado. Nesse sentido, esse trabalho utilizou técnicas de tomada de decisão para auxiliar a escolha da estação de tratamento de esgoto mais econômica e ambientalmente adequada.

Tendo em vista que grande parte dos gestores, bem como governantes e prefeitos, não têm acesso a muitas informações quando se deparam com problemas como a escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário em seu município, pretende-se com este trabalho colaborar para minimizar esta lacuna.

O modelo desenvolvido nesta pesquisa é constituído de planilhas de dimensionamento e estimativas de custo de implantação, operação e manutenção. Deverão ser inseridos dados específicos do local a ser implantada a estação de tratamento de esgoto sanitário para que o programa prepare a respectiva árvore de decisão com a melhor alternativa.

## **1.2 – OBJETIVOS**

O objetivo geral desta pesquisa foi desenvolver modelo para tomada de decisão para auxiliar a escolha de estação de tratamento de esgoto sanitário com a utilização de técnicas de tomada de decisão, como árvore de decisão e análise de sensibilidade, que atenda às necessidades sociais, ambientais e econômicas do local a ser instalada.

O objetivo específico foi avaliar a eficácia do diagrama de tornado em identificar as variáveis de maior impacto na estimativa de custo total.

## **2 – REFERENCIAL TEÓRICO**

---

## **2.1. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS**

Com o crescimento das concentrações urbanas, principalmente no último século, tornou-se inviável o simples despejo de efluente de esgoto sanitário em rios. O crescente aumento do volume desse resíduo fez com que grande parte dos corpos d'água receptora se tornasse poluídos e com baixos níveis de oxigênio dissolvido. Graças às propriedades de autodepuração dos corpos d'água – processo natural de degradação e consumo da matéria orgânica pelos organismos que pertencem a esses ecossistemas – há o gradativo tratamento dessas águas podendo torná-las novamente saudáveis para peixes e demais organismos. Esse fenômeno pode ser constatado no Rio Tietê, no estado de São Paulo, altamente poluído na grande São Paulo e atração turística em Pereira Barreto, cerca de 600 quilômetros adiante (SEET, 2000).

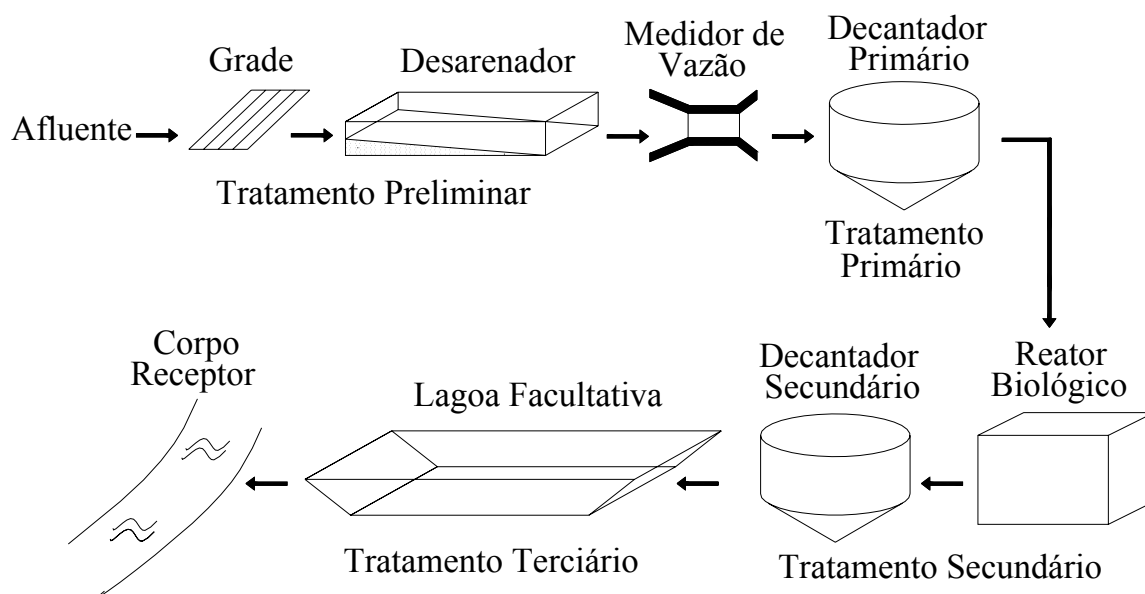
Várias formas de tratamento de águas residuárias foram desenvolvidas, partindo-se do princípio da autodepuração, ou seja, empregando a ação de microrganismos para a remoção da matéria orgânica presente nos esgotos. Esse tipo de tratamento é denominado tratamento biológico. É importante ressaltar que, nas ETE's, procura-se otimizar esses processos, a fim de reduzir custos e incrementar a eficiência de degradação, para se atingir o menor tempo de tratamento no menor espaço possível (CAMPOS, 1994).

A quantidade de matéria orgânica presente no esgoto é medida indiretamente por meio da quantidade de oxigênio necessária para a sua degradação. As duas variáveis mais utilizadas são a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e a DQO (Demanda Química de Oxigênio). Elas expressam a quantidade de oxigênio necessária para a degradação biológica e química da matéria orgânica, respectivamente.

O tratamento biológico ganhou grande destaque pelas formas razoavelmente simples de se consumir matéria orgânica em grande escala, como em esgoto sanitário, ou mesmo substâncias orgânicas tóxicas como fenol (BOLAÑOS, 2001), BTEX – benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (NARDI et al., 2000) ou formaldeído (OLIVEIRA, 2001; OLIVEIRA et al., 2004). O tratamento biológico pode ser feito por microrganismos aeróbios, que necessitam de oxigênio, ou anaeróbios, para os quais o oxigênio é tóxico. Os sistemas biológicos podem oferecer bons resultados, resultando os subprodutos principais da degradação: água, dióxido de carbono e metano (só em processo anaeróbio), além do excesso de lodo, composto

principalmente por microorganismos vivos e mortos, restos de matéria orgânica e material inorgânico não biodegradável. .

Uma estação de tratamento de esgoto pode ser composta por várias unidades com diferentes processos de tratamento. O tratamento pode ser dividido em quatro níveis: preliminar, primário, secundário e terciário (Figura 2.1).



**Figura 2.1 – Fluxograma genérico de tratamento de esgoto sanitário com níveis de tratamento: preliminar, primário, secundário e terciário**

O tratamento preliminar é composto por unidades que fazem uma prévia remoção de sólidos grosseiros, tais como areia, restos de plantas e pequenos animais. O tratamento primário visa a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis ou flotáveis. O tratamento secundário é o principal responsável pela remoção da carga orgânica presente nas águas residuárias, atualmente, os sistemas biológicos são os mais utilizados. O tratamento terciário é feito para remoção de substâncias específicas não removidas nos processos anteriores – metais, nutrientes, como nitrogênio e fósforo, ou para desinfecção.

Para o tratamento preliminar são utilizadas unidades como grades e peneiras para a retirada de sólidos maiores e tanques de decantação para remoção de areia. Essas operações contribuem para que não haja sobrecarga desnecessária em bombas ou nos próximos processos que se seguem. Os resíduos gerados deverão ter destino apropriado.

No tratamento primário geralmente são empregados decantadores, os denominados decantadores primários. O tratamento secundário geralmente é feito processos biológicos.

Há uma grande variedade de alternativas de degradação biológica que utilizam os processos aeróbio e/ou anaeróbio, como apresentado no Quadro 2.1.

**Quadro 2.1 – Algumas alternativas de degradação biológica para tratamento de esgoto**

<b>Tipo</b>	<b>Processo Predominante</b>
Disposição no solo	Aeróbio e Anaeróbio
Lagoa facultativa	Aeróbio e Anaeróbio
Sistemas de lagoas tipo australiano	Aeróbio e Anaeróbio
Lagoa aerada + Lagoa de sedimentação	Aeróbio e Anaeróbio
Lodos ativados convencional	Aeróbio
Lodos ativados (mistura completa)	Aeróbio
Valo de oxidação	Aeróbio
Lodos ativados em reator do tipo batelada ( <i>batch</i> )	Aeróbio
Poço profundo aerado (" <i>Deep Shaft</i> ")	Aeróbio
Filtro biológico aeróbio	Aeróbio
Filtro anaeróbio	Anaeróbio
Tanque séptico + Filtro anaeróbio	Anaeróbio
Reator anaeróbio de manta de lodo	Anaeróbio
Reator anaeróbio compartimentado (com chicanas)	Anaeróbio
Reator anaeróbio de leito fluidificado	Anaeróbio
Reator aeróbio de leito fluidificado	Aeróbio

Fonte: Campos (1994, p.20-21)

No tratamento terciário são utilizados alguns processos biológicos, principalmente para a redução da concentração de nitrogênio e fósforo. Para a remoção de patogênicos podem ser utilizadas lagoas de estabilização; processos químicos como aplicação de cloro ou ozônio; radiação ultravioleta ou disposição no solo (CAMPOS, 1994). Para o tratamento de esgoto sanitário, geralmente não são empregados tratamentos terciários para remoção específica de compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos, dentre outros não removidos nas etapas anteriores.

Das alternativas apresentadas no Quadro 2.1, algumas têm recebido maior destaque em ETE's no Brasil, como sistemas de lagoas, lodos ativados, filtro biológico aeróbio e reator anaeróbio de manta de lodo.

É importante ressaltar que lagoas anaeróbias devem estar suficientemente afastadas de centros urbanos devido à possível geração de odores. Tem sido empregada com sucesso a associação de reatores anaeróbios seguidos de lodos ativados, onde é possível a redução da produção de lodos. Muitos outros estudos de associação de diferentes processos para pós-tratamento de reatores anaeróbios podem ser encontrados em Chernicharo et al. (2001).

Mais recentemente, a utilização de membranas para o tratamento de esgoto sanitário também passa a ser uma alternativa a se considerar (XING et al., 2000), embora ainda não esteja muito difundida.

No Brasil, mesmo havendo um grande número de alternativas tecnológicas acessíveis (BNDES, 1997), há um número bem maior de estações do tipo Lodos Ativados, com geração de grandes quantidades de lodo. Os sistemas UASB, além de outros sistemas anaeróbios, são, em muitos casos, vistos como ineficientes, muito sensíveis e causadores de odores por parte dos responsáveis pela escolha do tratamento. Contudo, muitas pesquisas e resultados em ETE's em funcionamento têm provado que eles são totalmente viáveis e aplicáveis à realidade brasileira, além de terem custos menores de implantação e manutenção e gerarem quantidades menores de lodo em relação a processos aeróbios. Estudo realizado por Kalker et al. (1999) avaliou dois casos de aceitação de sistemas UASB, na Colômbia e na Índia, para tratamento de esgoto sanitário, por meio de transferência de tecnologia e envolvimento com governantes e responsáveis pela escolha e implantação do sistema.

Os sistemas aeróbio e anaeróbio possuem características que geram vantagens ou desvantagens. Essas características devem ser analisadas durante a escolha do processo de tratamento, de acordo com o local a ser implantado. O Quadro 2.2 apresenta algumas das principais características que podem resultar em vantagens e desvantagens dos processos aeróbios e anaeróbios.

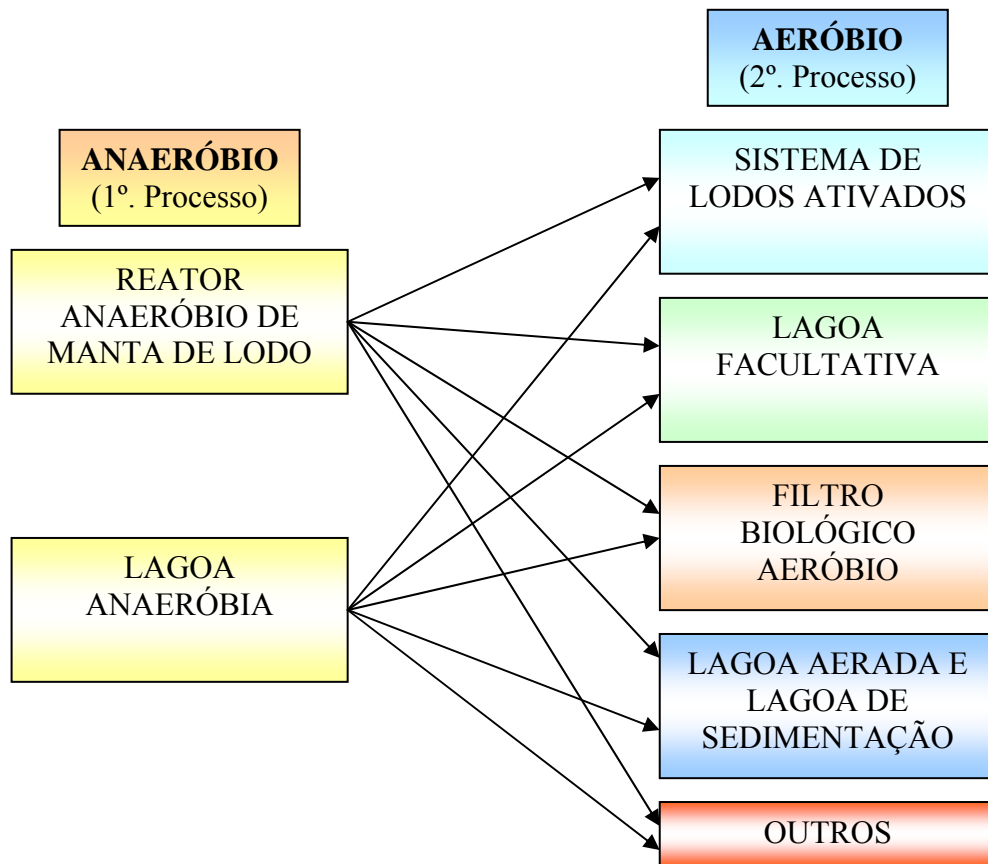
**Quadro 2.2 – Comparação entre sistemas aeróbios e anaeróbios de tratamento de águas residuárias**

<b>Características</b>	<b>Sistemas Aeróbios</b>	<b>Sistemas Anaeróbios</b>
Eficiência	Maior	Menor
Partida	Rápida	Pode ser lenta
Consumo de energia	Alto	Inexpressivo
Estabilidade	Boa, sob aeração	Sensível
Custo de Implantação	Maior	Menor
Custo de Manutenção	Maior	Menor
Produção de Odores	Menor	Maior
Produção de Lodo	Maior	Menor

Fonte: Adaptado de Chernicharo (1997)

A alta produção de lodo dos sistemas aeróbios, geralmente leva ao tratamento anaeróbio deste lodo, antes da disposição ou destino final. Grande parte do lodo retirado de sistemas de tratamento aeróbio ainda contém grande quantidade de matéria orgânica, passível de ser degradada em digestores anaeróbios de lodo, antes de o lodo ser disposto em aterros sanitários ou para condicionamento de solos. Em países desenvolvidos, o tratamento do lodo recebe forte atenção, sendo seu custo relevante no montante gasto com o tratamento das águas residuárias (HALL; ZMYSLOWSKA, 1997). No Brasil, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas para melhor utilização do grande volume de lodo retirado das estações municipais, principalmente com finalidades agrícolas, tomando-se as devidas precauções quanto ao seu potencial patogênico.

Para a diminuição da produção de lodo e manutenção de bons índices de eficiência, uma alternativa é a associação de processos biológicos anaeróbios com aeróbios (CAMPOS et al, 1997). Como opções, os autores sugerem as associações apresentadas na Figura 2.2.



**Figura 2.2 – Esquema com as associações de sistemas anaeróbios seguidos de aeróbios para tratamento secundário, sugeridos por Campos et al. (1997)**

Outra forma de tratamento que tem sido utilizada para esgoto sanitário é o processo com membranas. As membranas podem ser utilizadas para a remoção de vírus, durante a desinfecção de águas de abastecimento ou águas residuárias, como pode ser visto em Madaeni, Fane e Grohmann (1995). O trabalho apresenta a eficiência de membranas de ultrafiltração na remoção de *poliovirus*. A microscopia eletrônica evidenciou a retenção de vírus por adsorção na membrana e pela formação de uma matriz de depósito sobre e dentro da membrana.

Para a avaliação da recuperação de esgoto sanitário urbano foi realizado um experimento com um biorreator de membrana de ultrafiltração, com operação de 162 dias (XING et al., 2000). Esse biorreator é uma melhoria do sistema de lodos ativados convencional, por meio da substituição do decantador secundário, no qual são separados os sólidos, por uma unidade de membrana. Os autores alcançaram uma média de 97% de remoção de DQO, 96,2% de remoção de nitrogênio amoniacal e 100% de remoção de sólidos suspensos. A água

recuperada poderia ser utilizada para fins municipais ou usos industriais após tratamento adicional. Em outro estudo, esses pesquisadores e equipe comprovaram novamente a eficiência de membranas no tratamento de esgoto sanitário, com um biorreator de membrana com fluxo tangencial (XING, 2001). A eficiência de remoção de DQO foi de 95%, de nitrogênio amoniacal foi de 96,2% e de sólidos suspensos foi de 100%.

Em estudo mais recente, Wintgens et al. (2003) propuseram um modelo para descrever a eficiência de filtração de um biorreator de membrana para o tratamento de esgoto sanitário municipal. O sistema utilizado foi uma combinação de unidades de lodos ativados e de membranas para a filtração de biomassa. Os autores reportaram que o custo do investimento é menor que de estações convencionais de tratamento com clarificação secundária – com decantador secundário, no entanto, o custo de operação ainda é elevado devido à substituição das membranas e ao alto consumo de energia para aeração.

## **2.2. SISTEMAS DE TRATAMENTO UTILIZADOS NO MODELO**

Tendo em vista o crescente emprego com sucesso da associação de sistemas anaeróbios seguidos de aeróbios (CAMPOS et al., 1997; CHERNICHARO et al., 2001), esse foi o conceito usado nesta tese, com as combinações sugeridas por Campos et al. (1997), conforme esquema da Figura 2.2 do item 2.1.

A seguir são apresentadas as principais características dos sistemas e unidades de tratamento utilizadas no modelo.

### **2.2.1 Reator Anaeróbio de Manta de Lodo – UASB**

Desenvolvido na década de 1970, na Holanda, pelo pesquisador Lettinga e seus colaboradores (CAMPOS, 1994), já há unidades UASB instaladas no Brasil para tratamento de esgotos domésticos (CAMPOS et al., 1999).

Esse reator possui diversas vantagens como baixa demanda de área, custo reduzido de construção e operação em relação a sistemas aeróbios, além de baixa produção de lodo (CAMPOS et al., 1999). Porém, como sua eficiência de remoção de DQO e de DBO está na faixa de 65 a 75%, muitas vezes é necessário o pós-tratamento de seu efluente, para atender a legislação brasileira de emissões em corpos de água receptores.

Quanto aos impactos ambientais, os sistemas anaeróbios geram metano durante a degradação da matéria orgânica. O metano é um gás do efeito estufa e não deve ser emitido à atmosfera. Em reatores anaeróbios de manta de lodo pode-se fazer o aproveitamento desse biogás gerado, uma vez que é captado nos coletores sobre o tanque; outra solução é a simples queima em dispositivos específicos. Em países frios, o biogás é utilizado para aquecimento dos tanques, o que geralmente não é necessário no Brasil, por ser um país de clima predominantemente mais quente.

Sob o aspecto construtivo, o reator UASB pode ser executado em concreto armado, sendo necessária uma boa impermeabilização, por exemplo, com proteção interna à base de epóxi (CHERNICHARO, 1997).

A seguir, são apresentados os principais parâmetros de projeto para o dimensionamento de reatores tipo UASB, utilizados para a elaboração do modelo.

Na Tabela 2.1 estão as faixas do tempo de detenção hidráulica em função das faixas de temperatura, para reatores anaeróbios de manta de lodo tratando esgotos sanitários.

A Tabela 2.2 contém alguns coeficientes importantes para o cálculo de sólidos do reator.

**Tabela 2.1 – Faixas do tempo de detenção hidráulica em função das faixas de temperatura para reatores UASB**

Temperatura do Esgoto (°C)	Tempo de detenção hidráulica (hora)	
	Média Diária	Mínimo (durante 4 a 6 horas)
16 - 19	> 10 - 14	> 7 - 9
20 - 26	> 6 - 9	> 4 - 6
> 26	> 6	> 4

Fonte: Adaptado de Lettinga e Hulshoff Pol (1991, apud CHERNICHARO, 1997)

**Tabela 2.2 – Coeficientes para o cálculo de sólidos no reator UASB**

Dados Específicos	Símbolo	Unidade	Qtd./Valor
Coeficiente de produção de sólidos	$Y$	kgSST/ kgDQOapl	0,18
Coeficiente de produção de sólidos, em termos de DQO	$Y_{obs}$	kgDQOlodo/ kgDQOapl	0,21
Concentração esperada para o lodo de descarte	$C$	%	4%
Densidade do lodo	$g$	kgSST/m <sup>3</sup>	1020

Fonte: Adaptado de Chernicharo (1997)

Outros dados significativos sobre reatores anaeróbios de manta de lodo fazem parte da Tabela 2.3 e foram usados no dimensionamento e avaliação de custo na construção do modelo.

**Tabela 2.3 – Características de reatores anaeróbios de manta de lodo**

Eficiência de Remoção (%)			Requisitos			Custo de Implantação (US\$/hab)	Tempo de detenção hidráulica (dias)	Quant. Lodo a ser tratado (m <sup>3</sup> /hab. ano)
DBO	N	P	Colif. Fecais	Área (m <sup>2</sup> /hab)	Potência (W/hab)			
60-80	10-25	10-20	60-90	0,05-0,10	≈0	20-40	0,3-0,5	0,07-0,1

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996)

### 2.2.2 Lagoa Anaeróbia

As lagoas anaeróbias, da mesma forma que os reatores anaeróbios de manta de lodo, são uma opção de tratamento com eficiência restrita, geralmente necessitando pós-tratamento para redução da carga de matéria orgânica. A eficiência média de remoção das lagoas anaeróbias fica em torno de 50% a 60% (CAMPOS et al., 1999). Porém, tendo em vista a redução da produção de lodo e do consumo de energia, pode haver significativo ganho na aplicação desse processo no tratamento inicial dos esgotos domésticos.

A construção de lagoas anaeróbias deve seguir algumas recomendações em relação à distância de centros urbanos, uma vez que processos anaeróbios tendem a gerar maus odores. Para tanto, a distância de pelo menos 500 metros deve ser atendida para não haver esse risco. Em

termos ambientais, por ser uma unidade aberta, haverá o desprendimento de metano para a atmosfera, já que não são utilizados sistemas de captação.

Para se alcançar anaerobiose na lagoa, sua profundidade deve estar na faixa de 3 a 5 metros (CAMPOS et al., 1999) e a remoção de lodo deverá ser realizada na faixa de 3 a 5 anos.

A temperatura é um parâmetro relevante nos processos de degradação em lagoas. Essa importância pode ser visualizada nas Tabelas 2.4 e 2.5. A Tabela 2.4 apresenta as faixas para a taxa de aplicação orgânica por dia e a provável eficiência de remoção de DBO, em função da temperatura média mensal.

**Tabela 2.4 – Valores de Taxa de Aplicação de Carga e remoção de DBO<sub>5</sub> (%) em função da temperatura média mensal**

Temperatura média mensal (°C)	Taxa de Aplicação Orgânica (gDBO/m <sup>3</sup> .d)	Remoção de DBO (%)
<10	100	40
10 a 20	20 x T - 100	2 x T + 20
>20	300	60

Fonte: Mara e Pearson (1986, apud CAMPOS et al., 1999, p. 111).

Na Tabela 2.5 pode ser vista a variação do tempo de detenção hidráulica e da remoção provável de DBO em função da temperatura. O tempo de detenção hidráulica mínimo recomendado é de 3 dias (CAMPOS et al., 1999).

**Tabela 2.5 – Tempo de detenção hidráulica e remoção provável de DBO em função da temperatura da lagoa anaeróbia**

Temperatura da Lagoa (°C)	Tempo de Detenção (TDH) (dias)	Remoção provável de DBO (%)
10 a 15	4 a 5	30 a 40
15 a 20	3 a 4	40 a 50
20 a 25	2,5 a 3	50 a 60
25 a 30	2 a 3	60 a 70

Fonte: Arceivala (1981, apud CAMPOS et al., 1999, p. 112).

As lagoas anaeróbias podem ser seguidas por diversos processos de pós-tratamento. As lagoas facultativas são muito utilizadas para esse pós-tratamento, cujo conjunto é denominado “sistema australiano”. Esse sistema é uma das alternativas de tratamento utilizadas no modelo deste trabalho e a tabela 2.6 apresenta as suas características gerais.

**Tabela 2.6 – Características do sistema australiano (lagoa anaeróbia-lagoa facultativa)**

Eficiência de Remoção (%)				Requisitos		Custo de Implantação (US\$/hab)	Tempo de detenção hidráulica (dias)	Quant. Lodo a ser tratado (m <sup>3</sup> /hab. ano)
DBO	N	P	Colif. fecais	Área (m <sup>2</sup> /hab)	Potência (W/hab)			
70-90	30-50	20-60	60-99,9	1,5-3,5	≈0	10-25	12-24	-

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996)

### 2.2.3 Lodos Ativados

O sistema de lodos ativados é um dos mais difundidos do mundo e também muito utilizado no Brasil. Sua escolha muitas vezes é feita pela qualidade de seu efluente e pela redução dos requisitos de área (VON SPERLING, 1997). Por ser aeróbio, necessita aeração, o que traz um custo significativo de energia elétrica na sua operação.

Na Figura 2.3 pode ser vista a estação de tratamento de esgotos de Franca, SP, sob responsabilidade da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), na qual é usado um sistema de lodos ativados. A foto (a) é do tanque de aeração e a foto (b) de um dos decantadores.



**Figura 2.3 – Estação de tratamento de esgoto de Franca, SP, com lodos ativados: (a) tanque de aeração e (b) decantador**

Fonte: da autora (abril 2003).

Como já foi discutido anteriormente, os sistemas aeróbios produzem maiores quantidades de lodos que os anaeróbios. Assim, em sistemas de lodos ativados é preciso um sistema de tratamento do lodo gerado antes que ele seja depositado em aterros sanitários ou utilizado como condicionador de solo em lavouras. O tratamento e disposição do lodo, em conjunto com a energia elétrica, elevam o custo de operação desses sistemas.

Ambientalmente, esse tipo de sistema é favorável por produzir um efluente bastante limpo e não necessitar grandes áreas. Por outro lado, tem restrições devido ao consumo de energia elétrica e à grande quantidade de lodo gerada no sistema.

Como o modelo proposto neste trabalho utiliza a combinação de sistemas anaeróbios seguidos de aeróbios, o sistema de lodos ativados vem como pós-tratamento de reatores anaeróbios de manta de lodo ou de lagoa anaeróbia. Uma vez que os sistemas anaeróbios removem pelo menos 50% da DBO afluente, o sistema de lodos ativados será reduzido em relação a outro que trate sozinho todo o esgoto sanitário afluente, tornando os custos de implantação e operação um pouco inferiores e reduzindo, também, a quantidade gerada de lodo.

A seguir são apresentados diversos parâmetros de projeto para o dimensionamento dos tanques de aeração (Tabela 2.7), do sistema de aeração (Tabela 2.8), da produção de lodo (Tabela 2.9), do decantador secundário (Tabela 2.10) e do tratamento do lodo (Tabela 2.11). Cabe lembrar que esses dados, inicialmente para pós-tratamento de reatores UASB, também

foram utilizados no modelo para o pós-tratamento de lagoas anaeróbias, com as necessárias adaptações. Na construção do modelo foram usados valores médios, conforme recomendação da literatura utilizada para o dimensionamento.

**Tabela 2.7 – Parâmetros de projeto do tanque de aeração em sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**

Item	Parâmetro	Unidade	Valores
<i>Tanque de aeração</i>	Idade do lodo	d	6 a 10
	Relação Alimento/Microorganismos	kgDBO/kgSSVTA.d	0,25 a 0,40
	Tempo de detenção hidráulica	h	3 a 5
	Concentração de sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração (SSVTA)	mg/l	1100 a 1500
	Concentração de sólidos em suspensão no tanque de aeração SSTA	mg/L	1500 a 2000
	Relação SSV/SS no reator	-	0,75 a 0,77
	Profundidade do reator	m	3,5 a 4,5

Fonte: Adaptado de Chernicharo et al. (2001)

**Tabela 2.8 – Parâmetros de projeto do sistema aeração para sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**

Item	Parâmetro	Unidade	Valores
<i>Sistema de aeração</i>	Requisitos médios de O <sub>2</sub> - demanda carbonácea	kgO <sub>2</sub> /kgDQO aplicada ao LA	0,35 a 0,50
	Requisitos médios de O <sub>2</sub> - demanda carbonácea	kgO <sub>2</sub> /kgDBO aplicada ao LA	0,80 a 1,10
	Requisitos médios de O <sub>2</sub> - demanda para nitrificação	kgO <sub>2</sub> /kgNTK aplicado ao LA	3,8 a 4,3
	Requisitos médios de O <sub>2</sub> - demanda para nitrificação	kgO <sub>2</sub> /kgN disponível*	4,6
	Relação consumo máximo O <sub>2</sub> / consumo médio de O <sub>2</sub>	-	1,2 a 1,5
	Eficiência de oxigenação padrão	kgO <sub>2</sub> /kWh	1,5 a 2,2
	Fator de correção: consumo O <sub>2</sub> padrão / consumo O <sub>2</sub> campo	-	1,5 a 1,8
	*N disponível para nitrificação = N-NTKafiuente - N incorporado ao lodo de excesso (10% do SSV de excesso é N)		

Fonte: Adaptado de Chernicharo et al. (2001)

**Tabela 2.9 – Parâmetros de projeto sobre a produção de lodo em sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**

<b>Item</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valores</b>
<i>Produção de lodo</i>	Produção de lodo aeróbio excedente (retornado ao UASB)	kgSS/kgDQO aplicada ao LA	0,30 a 0,40
	Produção de lodo aeróbio excedente (retornado ao UASB)	kgSS/kgDBO aplicada ao LA	0,55 a 0,70
	Produção per capita de lodo aeróbio excedente (retornado ao UASB)	gSS/hab.d	8 a 14
	Concentração de SS no lodo retornado ao UASB	mg/L	3000 a 5000
	Eficiência de remoção do SSV do lodo aeróbio no reator UASB	%	20 a 30
	Produção de lodo anaeróbio	kgSS/kgDQO aplicada ao UASB	0,14 a 0,18
	Produção de lodo anaeróbio	kgSS/kgDBO aplicada ao UASB	0,28 a 0,36
	Produção per capita de lodo anaeróbio	gSS/hab.d	14 a 18
	Produção de lodo misto total (a ser tratado)	kgSS/kgDQO aplicada ao sistema	0,20 a 0,30
	Produção de lodo misto total (a ser tratado)	kgSS/kgDBO aplicada ao sistema	0,40 a 0,60
	Produção per capita de lodo misto (a ser tratado)	gSS/hab.d	20 a 30
	Produção volumétrica per capita de lodo misto (a ser tratado)	L/hab.d	0,5 a 1,0
	Concentração do lodo misto (aeróbio+anaeróbio) retirado do UASB	%	3,0 a 4,0

Fonte: Adaptado de Chernicharo et al. (2001)

**Tabela 2.10 – Parâmetros de projeto do decantador secundário em sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**

Item	Parâmetro	Unidade	Valores
<i>Decantador secundário</i>	$q_A$ -Taxa de escoamento superficial (Q/A)	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	24 a 36
	TAS-Taxa de aplicação de sólidos [(Q+Q <sub>r</sub> ) x X/A]	kSS/m <sup>2</sup> .d	100 a 140
	Altura da parede lateral	m	3,0 a 4,0
	Razão de recirculação (Q <sub>r</sub> /Q)	-	0,6 a 1,0
	Concentração de SS no lodo recirculado ao tanque de aeração	mg/L	3000 a 4000

Fonte: Adaptado de Chernicharo et al. (2001)

**Tabela 2.11 – Parâmetros de projeto para o tratamento do lodo em sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**

Item	Parâmetro	Unidade	Valores
<i>Tratamento do lodo</i>	Produção <i>per capita</i> de SS no lodo a ser disposto	gSS/hab.d	20 a 30
	Produção volumétrica <i>per capita</i> de lodo a ser disposto	L lodo/hab.d	0,05 a 0,15
	Teor de sólidos (centrífuga, filtro prensa de correias)	%	20 a 30
	Teor de sólidos (filtro prensa)	%	25 a 40
	Teor de sólidos (leito de secagem)	%	30 a 45

Fonte: Adaptado de Chernicharo et al. (2001)

A Tabela 2.12 contém diversas características de sistemas de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes anaeróbios. Outros dados apresentados por Von Sperling (1999) também são importantes para dimensionamento e levantamento de custos do sistema, como o consumo energético por habitante por ano de 18 a 26 kWh/hab.ano e o custo de operação de US\$ 4,00 a US\$ 7,20 hab/ano. Quanto às características estimadas para o efluente final de sistema composto por UASB seguido de lodos ativados, Chernicharo et al. (2001) sugerem as eficiências de remoção de DQO de 83% a 90% e de sólidos suspensos de 85% a 95%.

**Tabela 2.12 – Parâmetros de projeto para o tratamento do lodo em sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**

Eficiência de Remoção (%)			Requisitos			Custo de Implantação (US\$/hab)	Tempo de detenção hidráulica (dias)	Quant. Lodo a ser tratado (m <sup>3</sup> /hab. ano)
DBO	N	P	Colif. fecais	Área (m <sup>2</sup> /hab)	Potência (W/hab)			
85-95	25-30	25-30	60-90	0,2-0,3	2,5-4,5	70-120	0,4-0,6	1,1-1,5

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1997)

### 2.2.4 Lagoa Facultativa

Os sistemas de tratamento de esgoto sanitário por lagoas de estabilização são muito usados no Brasil, com bom resultado na remoção de matéria orgânica e necessidades mínimas de operação e manutenção (CHERNICAHRO et al, 2001). Porém, ocupam áreas mais significativas que sistemas com reatores, o que pode ser um empecilho quando não há área suficiente para a sua implantação.

Nesta pesquisa, foi usada a lagoa facultativa como pós-tratamento de efluentes de tratamento anaeróbio, recebendo uma carga já reduzida de DBO. Assim, há uma redução da área total necessária para o tratamento.

Para se determinar a temperatura média do líquido das lagoas foi utilizada a equação (1) de conversão apresentada em Von Sperling (1986, p. 29):

$$T_{\text{água}} = 12,7 + 0,54 \times T_{\text{ar}} \quad (1)$$

Os parâmetros de projeto utilizados na confecção do modelo estão descritos na Tabela 2.13. Foram feitas algumas adaptações uma vez que a lagoa facultativa funciona como pós-tratamento de efluente de sistemas anaeróbios.

**Tabela 2.13 – Parâmetros de projeto para lagoa facultativa como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**

<b>Parâmetros Adotados</b>	<b>Unidade</b>	<b>Qtd./Valor</b>
Profundidade (h)	m	1,5 a 2,0
Periodicidade de Limpeza	ano	3 a 5
Tempo de Detenção Hidráulica	dia	6 a 12
Carga de Remoção Superficial máxima	kg DBO/ha.dia	20 x T - 120
Eficiência de Remoção de DBO	%	75 a 85

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1986)

A Tabela 2.14 contém as principais características de lagoas facultativas. Alguns desses dados foram utilizados no modelo para as planilhas do sistema de reator UASB seguido de lagoa facultativa, uma vez que a Tabela 2.6, anteriormente apresentada, é específica para as características de sistemas de lagoa anaeróbia, seguida de facultativa. Outro dado relevante apresentado por Von Sperling (1986) é custo de operação de US\$ 0,80 a US\$ 1,60 para lagoas facultativas.

**Tabela 2.14 – Características de lagoas facultativas**

<b>Eficiência de Remoção (%)</b>			<b>Requisitos</b>				<b>Tempo de detenção hidráulica (dias)</b>	<b>Quant. Lodo a ser tratado (m<sup>3</sup>/hab. ano)</b>
<b>DBO</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>Colif. fecais</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>/hab)</b>	<b>Potência (W/hab)</b>	<b>Custo de Implantação (US\$/hab)</b>		
70-85	30-50	20-60	60-99	2,5-5,0	≈0	10-30	15-30	-

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996)

### 2.2.5 Filtro Biológico Aeróbio de Alta Taxa

Os filtros biológicos, simples e de baixo custo operacional (CHERNICHARO et al., 2001), também podem ser instalados como pós-tratamento de processos anaeróbios (CAMPOS et al, 1997)..

Há diversos tipos de filtro, tanto anaeróbios quanto aeróbios, com diversos tipos de material de preenchimento. As pedras são muito utilizadas como meio suporte para os microorganismos dos filtros. Os microorganismos formam uma película sobre o material, denominado biofilme, e degradam a matéria orgânica dos esgotos que são aplicados ao filtro. Atualmente, para formar o meio dos filtros, são encontrados materiais pré-fabricados, muitos deles em plástico.

Para a construção do modelo, foi escolhido o filtro aeróbio de alta taxa, com pedras para o meio-suporte. Esse tipo de filtro requer área menor que os demais, porém é necessário que se proceda a recirculação do líquido (CHERNICHARO et al., 2001).

Esses filtros aeróbios são geralmente circulares, em concreto armado, com um equipamento de distribuição do líquido a ser tratado. Como são aeróbios, eles são abertos e o ar circula entre as pedras e demais meios de suporte. Para remoção de sólidos suspensos do líquido efluente do filtro aeróbio de alta taxa é necessário um decantador secundário.

A Tabela 2.15 contém as taxas de aplicação recomendadas para os filtros aeróbios de alta taxa como pós-tratamento de sistema anaeróbios.

**Tabela 2.15 – Taxas de aplicação recomendadas para filtros biológicos percoladores de alta taxa aplicados ao pós-tratamento de efluentes de sistemas anaeróbios**

Critério / Parâmetros de Projeto	Faixa de valores, em função da vazão		
	Para Q média	Para Q máx.diária	Para Q máx. Horária
Meio suporte	Pedra	Pedra	Pedra
Profundidade do meio suporte (m)	2,0 a 3,0	2,0 a 3,0	2,0 a 3,0
Taxa de aplicação superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	15 a 18	18 a 22	25 a 30
Carga orgânica volumétrica (kgDBO/m <sup>3</sup> .dia)	0,5 a 1,0	0,5 a 1,0	0,5 a 1,0

Fonte: Adaptado de Chernicharo et al. (2001)

Os parâmetros de projeto para o dimensionamento do filtro anaeróbio e do decantador secundário do modelo estão apresentados na Tabela 2.16.

**Tabela 2.16 – Parâmetros adotados para filtros biológicos percoladores de alta taxa e decantadores secundários aplicados ao pós-tratamento de efluentes de sistemas anaeróbios**

Parâmetros Adotados	Símbolo	Unidade	Qtde / Valor
Coefficiente de produção de lodo	Y	kgSST/kgDBO remov.	0,75
Concentração esperada para o lodo de descarte do decantador secundário	C	%	1,00%
Densidade do lodo	$\gamma$	kgSST/m <sup>3</sup>	1020
Profundidade útil do decantador secundário	$h_{dec.}$	m	3,5

Fonte: Adaptado de Chernicharo et al. (2001)

Para o dimensionamento do decantador secundário também são necessárias as taxas de aplicação superficial, conforme descrito na Tabela 2.17.

**Tabela 2.17 – Taxas de aplicação superficial para o projeto de decantadores secundários após filtros biológicos percoladores**

Nível de Tratamento	Taxa de aplicação superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	
	Para Q média	Para Q máxima
DBO = 20 a 30 mg/L - sem nitrificação	16 a 32	40 a 48
DBO $\leq$ 20 mg/L - com nitrificação	16 a 24	32 a 40

Fonte: Adaptado de Chernicharo et al. (2001)

As características dos filtros biológico aeróbios de alta taxa, sem prévio tratamento em sistemas anaeróbios, estão descritas na Tabela 2.18.

**Tabela 2.18 – Características de filtros biológicos percoladores de alta taxa**

Eficiência de Remoção (%)			Requisitos			Custo de Implantação (US\$/hab)	Tempo de detenção hidráulica (dias)	Quant. Lodo a ser tratado (m <sup>3</sup> /hab. ano)
DBO	N	P	Colif. fecais	Área (m <sup>2</sup> /hab)	Potência (W/hab)			
80-90	30-40	30-45	60-90	0,3-0,45	0,5-1,0	40-70	-	1,1-1,5

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1997)

### 2.2.6 Lagoa Aerada seguida de Lagoa de Decantação

Os sistemas com lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de decantação têm uma semelhança com o sistema de lodos ativados. Ambos são aeróbios, exigem aeração artificial e decantadores secundários para a remoção de sólidos em suspensão. No entanto, as lagoas têm custo menor e a remoção do lodo do decantador secundário pode ser feita a cada 1 a 5 anos (VON SPERLING, 1986).

Os aeradores das lagoas aeradas de mistura completa têm dupla função: manter a oxigenação necessária para a aerobiose e manter a biomassa dispersa no meio líquido. Para isso é necessário que a densidade de potência dos aeradores não seja inferior a 3,0 W/m<sup>3</sup>.

Para execução do modelo, foram utilizados os parâmetros de projeto apresentados por Von Sperling (1986). A Tabela 2.19 contém os parâmetros de projeto da lagoa aerada de mistura completa.

**Tabela 2.19 – Parâmetros de projeto da lagoa aerada de mistura completa**

<b>Parâmetros Lagoa Aerada</b>	<b>Unidade</b>	<b>Qtd./Valor</b>
Profundidade (H)	m	2,5 a 4,0
Periodicidade de Limpeza	ano	1 a 5
Tempo de Detenção Hidráulica	dia	2 a 4
Requisitos de Oxigênio	kg O <sub>2</sub> / kg DBO remov	1,1 a 1,4
EO: Eficiência de Oxigenação Padrão	kg O <sub>2</sub> / kWh	1,8
φ Densidade de potência	W/m <sup>3</sup>	≥ 3,0

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1986)

A Tabela 2.20 contém as faixas de potência de aeradores e sua influência na oxigenação e na manutenção da mistura completa. Após os cálculos da potência, é necessário adequá-la aos aeradores disponíveis no mercado.

**Tabela 2.20 – Faixas usuais de operação dos aeradores de alta rotação**

Faixa de potência dos aeradores (CV)	Profundidade normal de operação	Diâmetro de influência (m)		Diâmetro da placa anti-erosiva
		Oxigenação	Mistura	
5 - 10	2,0 - 3,6	45 - 16	14 - 16	2,6 - 3,4
15 - 25	3,0 - 4,3	60 - 80	19 - 24	3,4 - 4,8
30 - 50	3,8 - 5,2	85 - 100	27 - 32	4,8 - 6,0

Fonte: Von Sperling (1986, p. 83)

Para o cálculo da estima da concentração de DBO efluente da lagoa aerada, são necessários os valores dos coeficientes cinéticos e estequiométricos apresentados na Tabela 2.21.

**Tabela 2.21 – Valores dos coeficientes cinéticos e estequiométricos para lagoas aeradas de mistura completa**

Coefficiente / Unidade	Faixa	Valor Típico
Y: coeficiente de produção celular (mgSSV/mgDBO <sub>5</sub> )	0,4 a 0,8	0,6
Kd: coeficiente de decaimento bacteriano (d <sup>-1</sup> )	0,03 a 0,08	0,06

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (1991, apud VON SPERLING, 1986, p. 94).

Após o dimensionamento da lagoa aerada, deve ser dimensionada a lagoa de decantação. Nos casos do modelo, nos quais esse sistema de lagoas aerada/decantação faz o pós-tratamento de efluentes de sistemas anaeróbios, pode acontecer de não ser necessária a lagoa de decantação.

A Tabela 2.22 apresenta os parâmetros de projeto para lagoas de decantação após lagoa aerada de mistura completa.

O acúmulo de lodo no decantador é calculado pelos coeficientes apresentados na Tabela 2.23. Por meio desse cálculo, será dimensionado o volume do decantador destinado ao lodo, em função de um determinado tempo. No caso do modelo, como o efluente dos sistemas anaeróbios não possui uma concentração alta de DBO, foi utilizado o período de 4 anos, conforme dimensionamento feito por Metcalf e Eddy (1991).

**Tabela 2.22 – Parâmetros de projeto para dimensionamento de decantadores após lagoas aeradas de mistura completa**

<b>Parâmetros Lagoa de Decantação</b>	<b>Unidade</b>	<b>Qtd./Valor</b>
<i>Volume de clarificação</i>		
Profundidade (H)	m	$\geq 1,5$
Tempo de detenção	d	$\geq 1$
<i>Volume total</i>		
Profundidade (H) (para permitir uma camada aeróbia acima do lodo)	m	$\geq 3,0$
Tempo de detenção (para evitar o crescimento de algas)	d	$\leq 2$
Periodicidade de Limpeza	ano	4*
Eficiência de remoção de sólidos	%	85%
S secos: Fração de sólidos secos	%	8%

Fonte: Adaptado de Além Sobrinho e Rodrigues (1991, apud VON SPERLING, 1986, p.96), exceto \*

\* Metcalf e Eddy (1991)

**Tabela 2.23 – Coeficientes para cálculo do acúmulo de lodo no decantador**

<b>Coeficiente / Unidade</b>	<b>Faixa</b>	<b>Valor Típico</b>
Relação SSV/SS nos sólidos afluentes à lagoa de decantação	0,70 a 0,80 (70 a 80% dos SS são voláteis)	0,75
$K_{Lv}$ : taxa de redução dos sólidos voláteis ( $\text{ano}^{-1}$ )	50% de remoção por ano	0,5

Fonte: Adaptado de Arceivala (1981, apud VON SPERLING, 1986, p. 96).

A Tabela 2.24 contém as principais características de sistema de lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de decantação. Outro dado relevante apresentado por Von Sperling (1986) é custo de operação desses sistemas, de US\$ 2,00 a US\$ 3,60.

Tabela 2.24 – Coeficientes para cálculo do acúmulo de lodo no decantador

Eficiência de Remoção (%)			Requisitos			Custo de Implantação (US\$/hab)	Tempo de detenção hidráulica (dias)	Quant. Lodo a ser tratado (m <sup>3</sup> /hab. ano)
DBO	N	P	Colif. fecais	Área (m <sup>2</sup> /hab)	Potência (W/hab)			
70-90	30-50	20-60	60-99	0,2-0,5	1,0-1,7	10-25	4-7	-

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1997)

### 2.3. USO DE TÉCNICAS QUANTITATIVAS NA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO

Vários estudos foram realizados com a aplicação de técnicas quantitativas para otimização de sistemas de tratamento de águas residuárias e tratamento e disposição do lodo.

Chang e Wang (1995) empregaram recursos de programação não linear para avaliar sistemas costeiros de tratamento e disposição de esgoto sanitário em Guishuic, Taiwan. As cidades litorâneas apresentam problemas específicos a serem avaliados durante a escolha do sistema de tratamento, como por exemplo, a capacidade de assimilação das águas oceânicas frente aos despejos lançados. Nesse trabalho, os autores utilizaram variáveis financeiras, disponibilidade de terreno e fatores gerenciais, associados às normas locais de qualidade ambiental. O modelo não-linear de otimização proposto é composto por uma função objetivo de minimização de custo, com três restrições: máxima DBO aceitável do efluente, máximo número mais provável de *E. coli* e maior eficiência de remoção de matéria orgânica.

Xian-wen (1995) estudou a viabilidade técnica e econômica da instalação de lagoas de estabilização para tratamento de esgoto sanitário na China. Para os autores, o sistema de lagoas é uma alternativa com vantagens como economia de energia, facilidade de operação e baixo custo operacional. No entanto, o sistema tem o problema de ocupar grandes áreas de terreno. O autor buscou encontrar o valor máximo que o terreno poderia ter para ser viável economicamente a instalação desse processo de tratamento, uma vez que esse custo perfaz 60% do custo total aplicado na construção. Para isso, esse pesquisador elaborou uma função de custo para uma vida útil de 16 anos, baseada na comparação do custo de estações convencionais de tratamento como a de Lodos Ativados. Ele desenvolveu um isograma e

gráficos para auxiliar os tomadores de decisão quanto à viabilidade ou não da instalação de Sistemas de Lagoa de Estabilização.

Boller (1997) avaliou a implantação de pequenas estações de tratamento considerando-se diversos aspectos como o tamanho da planta, segurança na operação, confiança no processo, demanda de pessoal qualificado e custo de investimento e operação. Não só a tecnologia foi importante nesse estudo, mas também os pontos econômicos e sociais. O autor definiu alguns passos para o planejamento, projeto, operação e controle de pequenas estações:

- análise dos problemas de poluição;
- dados básicos de projeto: vazões, concentração e cargas;
- requisitos do efluente;
- alternativas de disposição, alternativas de tratamento e avaliação de custos;
- projeto e construção;
- partida da estação de tratamento;
- operação, manutenção e controle.

O autor não apresentou as técnicas quantitativas a serem usadas no cálculo do melhor sistema, mas preparou planilhas para facilitar a análise das alternativas.

Galbadón et al. (1998) desenvolveram o *software* DATAR para o projeto integrado de estação de tratamento de esgoto sanitário, por meio da ferramenta de programação *Microsoft Visual Basic 3.0*. O DATAR permite rápida avaliação de diferentes alternativas bem como a execução de análises de sensibilidade, dentro das normas ambientais. O processo de projeto inclui o dimensionamento das unidades de tratamento, o *layout* da estação, cálculos hidráulicos e localização dos equipamentos. Segundo os autores, as dificuldades encontradas na elaboração dos projetos são devidas à falta de informação confiável sobre as características do esgoto sanitário a ser tratado, à dificuldade de se alcançar os requisitos legais do efluente sobre diferentes vazões de entrada e condições climáticas, à dificuldade de se generalizar matematicamente a inter-relação de dados de processos físico-químicos e biológicos e a integração de todos os processos envolvidos no sistema para a elaboração simultânea do projeto global. Embora o programa seja muito criterioso na escolha e dimensionamento das unidades de tratamento, dentro dos parâmetros do afluente e das restrições ambientais, não se

observa a preocupação com fatores econômicos, o que justifica a importância do presente estudo.

Wen e Lee (1999) desenvolveram uma função de custo para sistemas de tratamento de esgoto sanitário por meio de regressão *fuzzy*, com dados de 26 sistemas de tratamento municipais em Taiwan. Como no estudo de Chang e Wang (1995), os principais parâmetros estavam intimamente relacionados a fatores financeiros, de disponibilidade de terreno, padrões do efluente e aspectos gerenciais. Foram considerados os desvios entre dados estimados e dados reais devido à dificuldade de precisão nesse tipo de ambiente incerto. Para casos como esse, há situações práticas onde as decisões frequentemente precisam ser tomadas com base em dados imprecisos ou parcialmente disponíveis, de onde ser importante a estimativa humana. Para desenvolverem o modelo de regressão linear *fuzzy*, os autores utilizaram um algoritmo de programação linear com sete parâmetros:

- custo total de construção da planta;
- custo de construção da estação;
- custo de operação e manutenção da estação;
- taxa de vazão de projeto;
- grau de tratamento (primário, secundário e tratamentos avançados);
- DBO afluente;
- área de captação na cidade.

Varis e Kuikka (1999) estudaram o uso de análise de decisão Bayesiana para o gerenciamento de recursos ambientais e naturais, tais como recursos hídricos e a indústria da pesca. Os autores também empregaram diagramas de influência na solução de problemas ambientais como manutenção da qualidade da água em lagos, reservatórios e rios, receptores de dejetos da indústria da pesca. Para os estudos foram utilizados critérios econômicos e ambientais. Os autores ressaltam a importância da multiprofissionalidade para a solução de problemas ambientais, somada ao domínio do conhecimento, da técnica e da análise de decisão.

Belanche et al. (1999) utilizaram técnicas computacionais para a criação de um modelo de comportamento de entrada e saída de estações de tratamento de esgoto sanitário. Devido à alta complexidade dos processos de sistemas de tratamento de esgoto sanitário, além da heterogeneidade e imprecisão dos dados, foram utilizadas redes neurais para caracterizar a

variação temporal das variáveis de saída. Os autores afirmaram que o emprego de dados estatísticos é importante nesses casos, uma vez que sugerem maior veracidade que dados estimados.

Vanrollenghem et al. (1999) estudaram a integração de projeto e operação de estações de tratamento de esgoto sanitário, tanto novas quanto em operação, por meio do uso de funções de custo. Os autores acreditam que nos próximos anos acredita-se que o ponto principal para o projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário seja a situação do corpo d'água receptor e não os padrões legais de emissão constantes na legislação local ou federal. Outro fator observado é a influência da qualidade do tratamento no custo final da estação e de sua operação, o que faz necessária uma análise criteriosa da relação custo-benefício de diferentes alternativas de tratamento. O trabalho estudou diferentes fatores de influência no custo do tratamento para quatro tipos de águas residuárias: de indústria química, indústria petroquímica, indústria de laticínios e esgoto municipal. Fatores de influência, como eletricidade, mão-de-obra, produtos químicos e análises laboratoriais, têm importâncias distintas em cada tipo de água residuária, fazendo com que o custo final de cada tratamento seja específico.

Roda et al. (2000) utilizaram um sistema de suporte para projetos, o *Knowledge-Based Design System* (KBDS) durante o desenvolvimento de projetos de estações de tratamento de esgoto sanitário. Nesse processo também foram conferidos pesos às alternativas indicando a sua importância relativa, a fim de se criar um ranqueamento de todas as possibilidades. Estudos do tipo “*what-if*” também foram aplicados para as análises de sensibilidade das alternativas, por meio do efeito de mudanças de peso em alguns parâmetros para avaliar sua influência na escolha final. O uso de modelos já estudados para o projeto de novas estações similares facilita muito a tarefa dos projetistas, que só precisarão fazer ajustes específicos de acordo com os parâmetros não coincidentes.

A programação genética foi utilizada por Hong e Bhamidimarri (2003) para a modelagem de ETE's. Os autores desenvolveram um modelo para o controle e gerenciamento de estações do tipo lodos ativados. Um estudo de caso na estação de tratamento de Paraparaumu, Nova Zelândia, indica a aplicabilidade do modelo.

Embora muitos modelos tenham sido citados nesses estudos, em nenhum caso deles se utilizou a árvore de decisão, em conjunto com análises de sensibilidade para a avaliação de sistemas de tratamento, de forma econômica e ecológica.

## **2.4. ESCOLHA DO SISTEMA DE TRATAMENTO MAIS ADEQUADO**

Vários estudos acadêmicos demonstram a necessidade de se usarem técnicas adequadas para a avaliação do melhor sistema de tratamento de esgoto sanitário a ser instalado em uma cidade. Nesses trabalhos são utilizadas principalmente técnicas de tomada de decisão e métodos quantitativos para a criação de modelos.

É importante frisar que a legislação sobre o nível de tratamento necessário tem sido alterada à medida que aumentam as informações sobre as características do esgoto, a eficiência dos processos de tratamento e os efeitos ambientais provocados pelo lançamento de poluentes (METCALF; EDDY, 1991). O mesmo autor considera o projeto de estações de tratamento um dos maiores desafios da engenharia ambiental, sendo necessário tanto o conhecimento teórico quanto a experiência para a seleção e análise de fluxogramas de processos de tratamento.

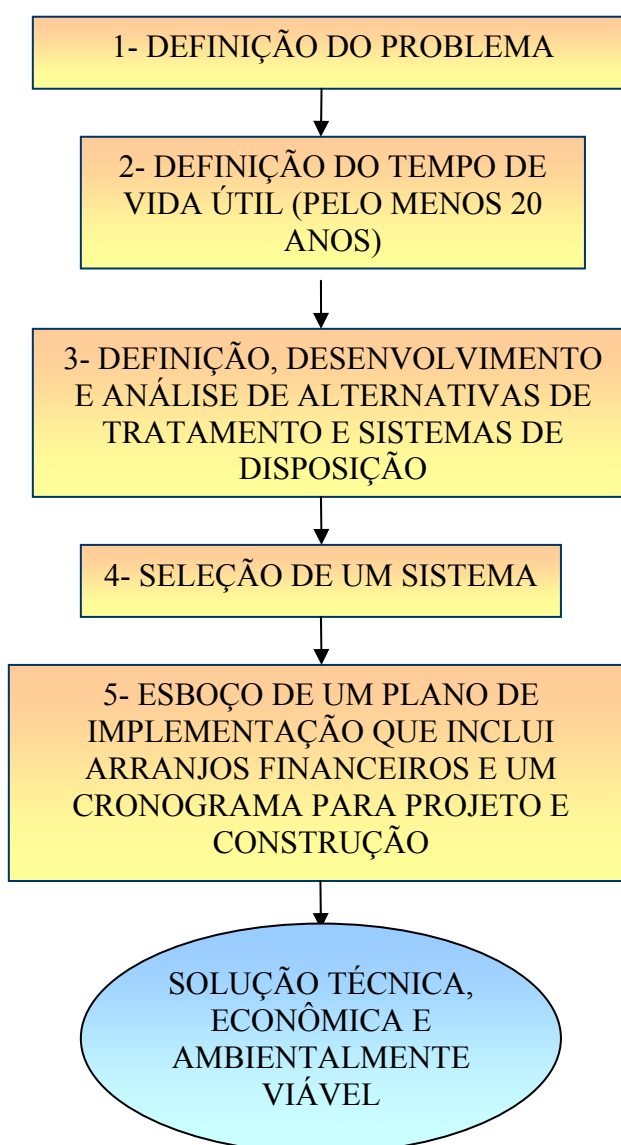
Muitos autores definiram uma série de variáveis importantes para a escolha de sistemas de tratamento de esgoto, as quais integraram os modelos por eles desenvolvidos. A questão do “custo” é colocada por Metcalf e Eddy (1991) como de maior significância para a seleção e projeto de estações de tratamento, principalmente para o cliente – não somente o custo inicial de construção como os custos anuais de operação e manutenção.

O planejamento da estação de tratamento proposto por Metcalf e Eddy (1991) está representado no fluxograma da Figura 2.4.

Uma avaliação dos sistemas de tratamento mais empregados em países em desenvolvimento foi feita por Von Sperling (1996). Os sistemas analisados pelo autor foram:

- sistemas de lagoas de estabilização;
- sistemas de lodos ativados;
- sistemas de filtros lentos (baixa taxa e alta taxa);
- sistemas anaeróbios (UASB e filtro anaeróbio);
- aplicação no solo.

Os aspectos ressaltados por Von Sperling (1996) para a seleção do melhor sistema foram eficiência, confiabilidade, disposição do lodo, características do solo, impactos ambientais, custos de operação, custos de construção, sustentabilidade e simplicidade. Para a comparação dos sistemas, o autor utilizou comparação quantitativa, comparação qualitativa, comparação esquemática – para comparação visual – e dados de vantagens e desvantagens dos sistemas. O autor concluiu não haver um sistema ideal aplicável a todos os casos e que é necessário que se faça uma análise para cada situação, com todas as especificações locais.



**Figura 2.4 – Fluxograma para o planejamento de estações de tratamento de esgoto**  
Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (1991)

Oron (1996) desenvolveu um modelo integrativo entre sistemas de tratamento de esgoto sanitário e sistemas de reuso. Para a criação do modelo, o autor utilizou aspectos regionais e estatais como níveis de tratamento e controle, demanda e suprimento de água, requisitos de armazenamento e transporte, capacidade técnica e questões sociais. A técnica quantitativa utilizada foi a programação não linear para a minimização do custo global com uma função-objetivo que inclui custo do sistema de tratamento selecionado, custo de manutenção, custo com reformas, custo com transporte e disposição de resíduos e ganhos com venda de resíduos. Para cada uma destas funções de custo foram relacionadas as variáveis específicas que as compõem.

Uma avaliação da seqüência de processos para o tratamento de águas residuárias contendo contaminantes foi realizada por Yang e Kao (1996). Os autores utilizaram a programação *fuzzy* para a avaliação preliminar do sistema sob dois aspectos: eficiência do tratamento e custo da tecnologia. Usaram, também, os parâmetros da água residuária de diferentes tipos de contaminantes em diferentes concentrações. Um estudo de caso com sete contaminantes foi apresentado para a demonstração do modelo.

O estudo de Elimam e Kohler (1997) mostra a utilização de programação de redes e cálculo integral para a determinação da seqüência ótima de processos de tratamento de águas residuárias com mínimo custo e eficiência no consumo de energia e materiais. Os autores desenvolveram dois modelos: um para a combinação de tratamento de águas residuárias municipais e industriais e outro para auxiliar os projetistas no enquadramento de padrões governamentais.

Tao e Hills (1999) avaliaram alternativas de tratamento de esgoto sanitário na China por meio do Processo de Hierarquia Analítica (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) e análises de custo-benefício. A hierarquia foi constituída de três níveis: (1) Foco: alcançar uma estação efetiva de tratamento; (2) Forças: são os parâmetros envolvidos, como o período de construção, gerenciamento, requisitos do sistema urbano de esgotos, pressão das normas ambientais, investimento na construção, eficiência do tratamento, uso do solo e custo do tratamento; (3) Cenários: opções viáveis de sistemas de tratamento. Os autores fizeram um ranqueamento das opções por meio de pesos em uma matriz. É interessante a observação dos autores quanto ao resultado do trabalho, que indicou como melhores alternativas o uso de pequenas ou médias

estações, ao contrário da situação em diversas outras partes do mundo onde se dá maior ênfase a grandes estações.

Wukovits, Harasek e Friedl (2003) desenvolveram um sistema baseado na gestão do conhecimento para a escolha do melhor sistema de tratamento de águas residuárias industriais. A caracterização dos poluentes foi um dos principais aspectos para a definição dos processos de tratamento e o menor custo direcionou a seqüência ótima de processos.

Além de trabalhos acadêmicos, organizações como a *Environmental Protection Agency* – EPA – dos Estados Unidos e o *United Nations Environmental Program* – UNEP – disponibilizam em seus *sites* na Internet orientações para a escolha de sistemas de tratamento. O capítulo cinco do trabalho apresentado pela EPA (2003) discorre sobre a seleção de sistemas de tratamento. Vários parâmetros são analisados para auxiliar a adequação dos processos em relação à água residuária a ser tratada, como: volume gerado por dia, concentração de matéria orgânica, de sólidos, presença de poluentes específicos, dentre outros. Por meio destes parâmetros iniciais, tem-se a indicação das alternativas possíveis de tratamento. O próximo passo para a escolha final é a avaliação de quatro pontos estratégicos: aspectos estéticos, requisitos de manutenção e operação, custo e confiabilidade. O trabalho apresenta fluxogramas para direcionar a escolha, bem como tabelas de custo médio dos sistemas mais usuais.

No estudo disponibilizado pela UNEP (2003), embora seja um caso desenvolvido no Caribe, pode-se utilizar muitos dados e critérios de análise para o caso brasileiro. Para o processo de planejamento do tratamento de esgoto doméstico, o estudo cita oito passos:

- traçar o perfil da comunidade;
- definir os problemas;
- desenvolver e avaliar alternativas (disponíveis, operáveis e financeiramente sustentáveis), selecione a mais indicada;
- avaliar o impacto ambiental;
- encorajar a participação pública;
- finalizar o planejamento;
- desenvolver a infra-estrutura institucional;
- planejar o uso do solo.

O capítulo 6, do referido trabalho (UNEP, 2003), traz uma metodologia para a escolha do sistema mais adequado, utilizando fluxogramas para a decisão por meio de respostas às perguntas sobre a disponibilidade de água, se há sistema de coleta municipal de esgotos, se o problema é urbano ou rural, se há disponibilidade de mão-de-obra qualificada e de terreno, quais os requisitos ambientais do corpo receptor, como é o clima e as características sociais da população, além da possibilidade de reuso (Figura 2.5).

Em outro estudo, a UNEP (2003b) mostra formas de gerenciamento de lagos e reservatórios para evitar eutrofização. Eutrofização é o nome dado ao fenômeno de aumento de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, em corpos d'água, que elevam sua produtividade biológica, mais do que a massa de água pode estabilizar, desencadeando a proliferação de algas, cianobactérias e de macrófitas, e conseqüente desequilíbrio ecológico (BRAGA et al., 2002). Um dos grandes contribuintes de nutrientes responsáveis pela eutrofização é o esgoto municipal. O trabalho da UNEP (2003b) apresenta grafos para auxiliar a escolha do melhor sistema para minimizar efluentes com excesso de nutrientes. Um dos exemplos de grafos é apresentado na Figura 2.6 e complementado pela Figura 2.7 e Tabelas 2.25 e 2.26.

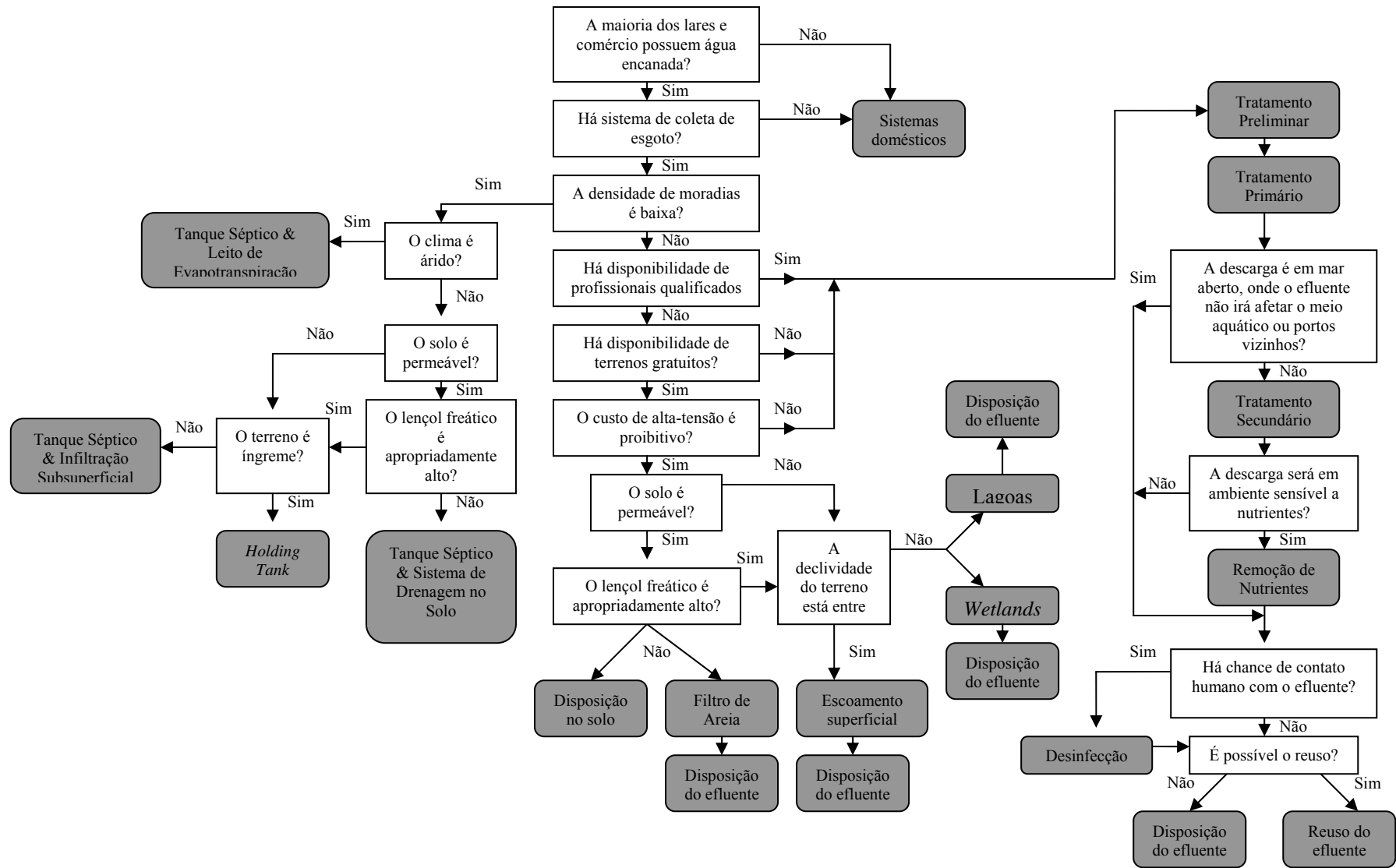
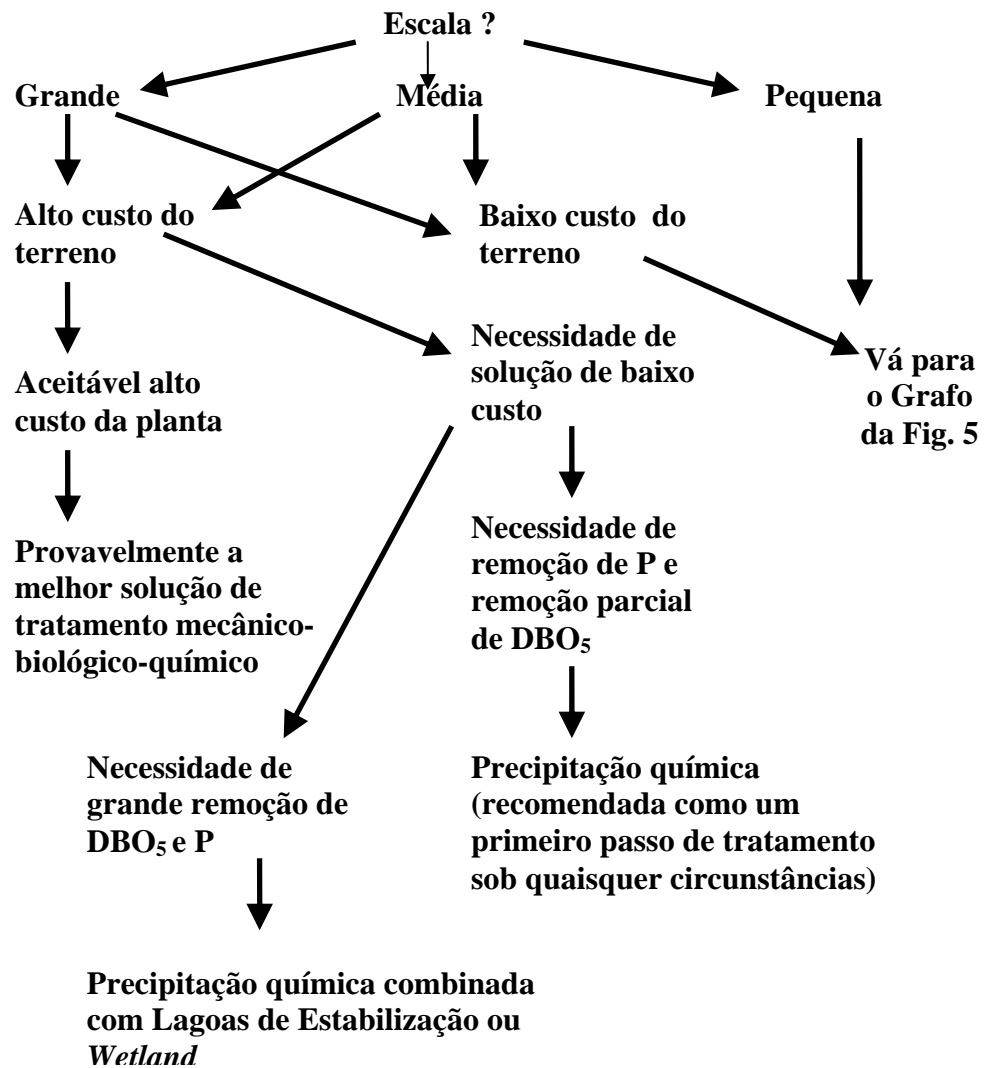
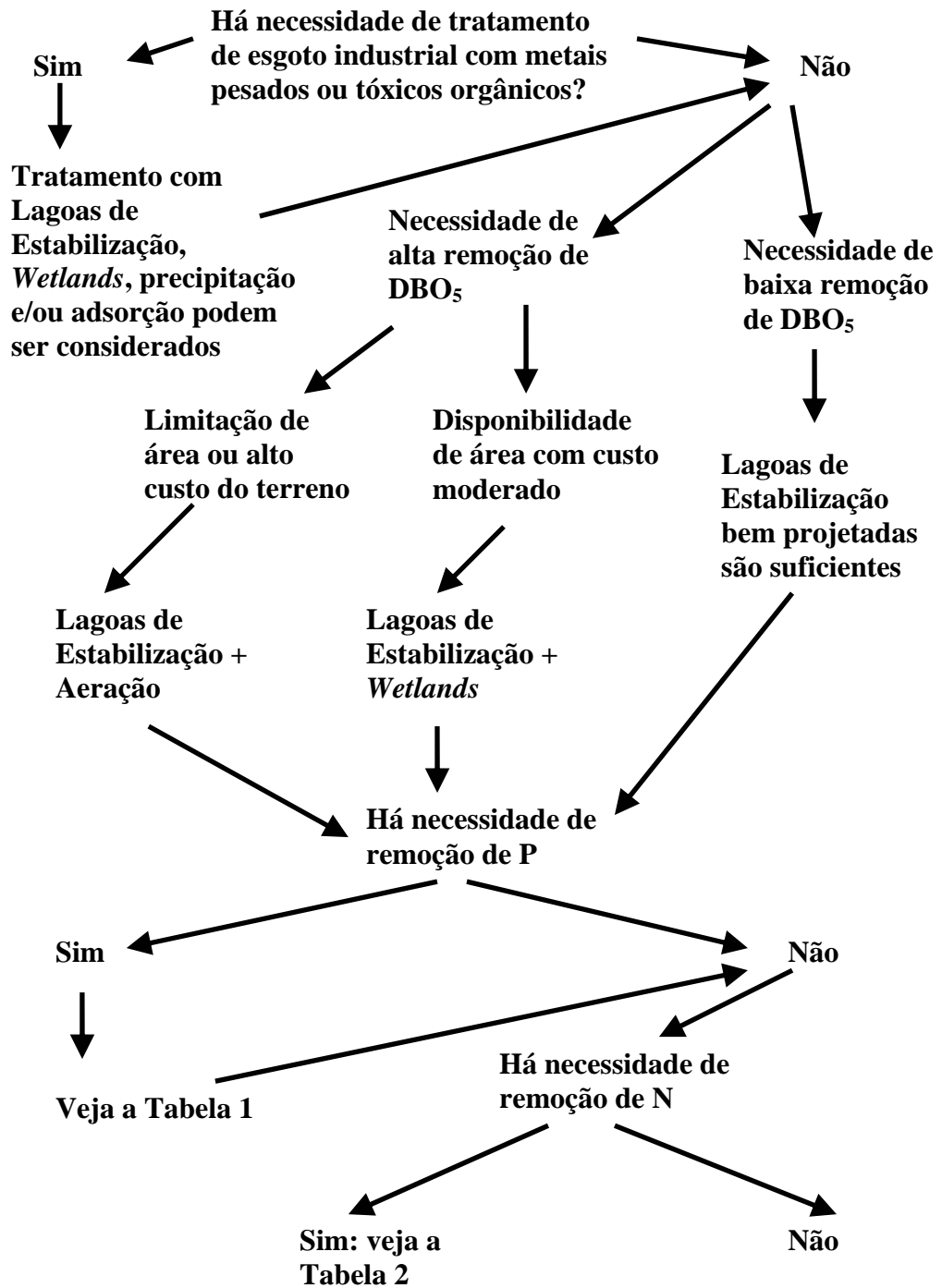


Figura 2.5 – Fluxograma para definição de tratamento de esgoto doméstico (UNEP, 2003)



**Figura 2.6 – Exemplo de grafo para a seleção de métodos de sistema de tratamento de águas residuárias a serem usados principalmente em estações de larga escala**

Fonte: Adaptado de UNEP (2003b)



**Figura 2.7 – Grafo para a seleção de métodos de tratamento de águas residuárias envolvendo a remoção de Fósforo e Nitrogênio**

Fonte: Adaptado de UNEP (2003b)

**Tabela 2.25 – Processos de tratamento para a remoção de fósforo por métodos de custo moderado**

<b>Método</b>	<b>Eficiência Esperada</b>
Precipitação em Lagoas de Estabilização	50-75%
Colheita das <i>Wetlands</i> (2-4 vezes/ano)	40-180 kg P/ha*
Aplicação no solo com alta capacidade de adsorção de fósforo	100-300 kg P/ha
Precipitação direta em conjunto com tratamento mecânico-biológico	75-95%

\*Com base na concentração de fósforo nas mais comuns *Wetlands*. A colheita é altamente dependente do clima, particularmente da precipitação.

Fonte: Adaptado de UNEP (2003b)

**Tabela 2.26 – Processos de tratamento para a remoção de Nitrogênio por métodos de custo moderado**

<b>Método</b>	<b>Eficiência Esperada</b>
Desnitrificação em <i>Wetland</i> construída	1.000-2.500 kg N/ha*
Colheita das <i>Wetlands</i> (2-4 vezes/ano)	250-1.200 kg N/ha **
Nitrificação e desnitrificação	75-90%

\* Com base principalmente na experiência de climas temperados (condições de verão).

\*\* Com base na concentração de nitrogênio em *Wetlands* comuns; o número de colheitas é dependente do clima.

Fonte: Adaptado de UNEP (2003b)

Outras ferramentas disponíveis sem custo para a escolha de sistemas de tratamento são os programas SAD – Sistema de Apoio à Decisão, SANEX<sup>TM</sup> e WAWTTAR – *Water and Wastewater Treatment Technologies Appropriate for Reuse*

O Sistema de Apoio à Decisão – SAD (CHERNICHARO et al., 2001) foi desenvolvido por Marco Antônio Almeida de Souza, Oscar de Moraes Cordeiro Netto e Reynaldo Pena Lopes Júnior para a avaliação tecnológica de alternativas de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Esse *software* é de livre utilização e pode ser encontrado para *download* na página do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB (PROSAB, 2003). A metodologia de análise é composta por quatro fases: (I) instruções gerais e informação de dados; (II) pré-seleção de alternativas viáveis; (III) avaliação tecnológica e (IV) análise tecnológica global (multicritério). Esse programa é de uso restrito a casos em que haja o local da futura estação, há ou haverá sistema de coleta de esgoto separador absoluto – as águas pluviais possuem sistema coletor totalmente independente, o clima é tropical ou subtropical e

as alternativas contemplam o tratamento de esgotos municipais semelhantes. O *software* SAD visa fornecer a alternativa mais aceitável com bases sociais, culturais, ambientais e econômicas.

O programa SANEX<sup>TM</sup> (LOETSCHER, 2003) foi desenvolvido por Thomas Loetscher, professor da *University of Queensland*, Austrália, para avaliação de sistemas sanitários (coletores e de tratamento) de países em desenvolvimento. Os aspectos utilizados na escolha são sócio-culturais, financeiros e técnicos e são utilizadas técnicas de análise de decisão multicritério, com 176 alternativas de sistemas sanitários, muitos deles individuais ou para pequenas comunidades. A Figura 2.8 apresenta um caso hipotético, a título de ilustração, de seleção da alternativa 169 para uma comunidade de 300 habitantes com custo de US\$ 1.00 por m<sup>3</sup> de água consumida, para o ano base de 2000.

O programa *Water And Wastewater Treatment Technologies Appropriate for Reuse* (WAWTTAR) (MCGAHEY, 2003) foi desenvolvido por professores de engenharia do Departamento de Engenharia de Recursos Ambientais da Humboldt State University, na Califórnia, EUA, para auxiliar engenheiros, contadores, planejadores e tomadores de decisão nas estratégias sustentáveis de gestão de recursos hídricos e saneamento, a fim de minimizar seus impactos. Ele é aplicável nas primeiras etapas de planejamento de estações de tratamento de água, no tratamento de esgoto sanitário e no reuso. Os parâmetros utilizados são padrão de eficiência, custo de materiais, qualidade da água e do efluente da estação, necessidades e competência da comunidade e tempo de vida útil do sistema.

Esses estudos demonstram a importância da utilização de métodos quantitativos, principalmente com a aplicação de modelos, na escolha de sistemas de tratamento de esgoto. Deve ser frisado novamente que nesses trabalhos também não foram utilizadas em conjunto as técnicas de análise de sensibilidade, diagrama de influência e árvore de decisão, além de muitos trabalhos terem especificidade para determinadas situações ou condições, nem sempre condizentes para o tratamento de esgoto sanitário municipal.

## SANEX - Selected Alternative

File: C:\Sonia\Tese\Auxiliares\TESTE.san

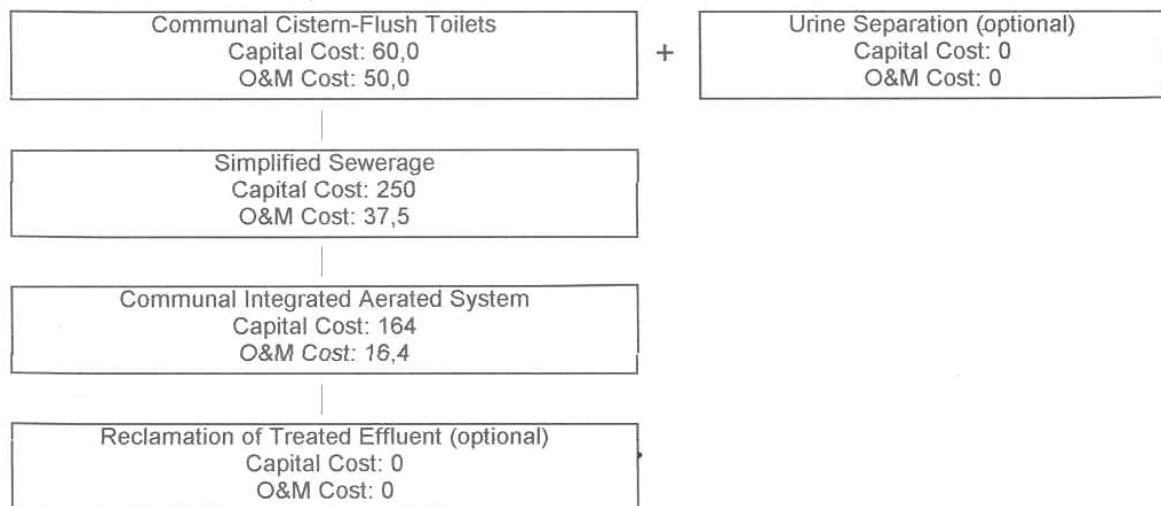
23/11/2003 Page 1

Alternative: Alternative 169

**Costing:** Base Year: 2000  
 Currency: Int. \$  
 US CPI: 172,2  
 PPP Factor: 1,000  
 Cost of Water: 1,000  
 Population: 300  
 Total Capital Cost per Household: 474  
 Total Annual O&M Cost per Household: 104

**Rating:** [input missing]

**Components:**



**Figura 2.8 – Output do programa SANEX™ para exemplo de escolha de alternativa de tratamento de esgoto sanitário**

## 2.5. FATORES RELEVANTES PARA A ESCOLHA DO TIPO DE TRATAMENTO

Vários autores propuseram conjuntos de fatores relevantes para a escolha do tipo de tratamento; em muitos casos há consenso sobre alguns deles. É importante lembrar que o nível de desenvolvimento do país onde se desenvolveu o estudo interfere na relevância de certos fatores em relação a outros.

Metcalf e Eddy (1991) identificaram vinte e um fatores importantes que podem ser considerados para a avaliação e seleção de sistemas de tratamento:

- aplicabilidade do processo;
- vazão aplicável no processo;
- variação da vazão aplicável;
- características do afluente;
- constituintes inibidores e recalcitrantes (substâncias de difícil degradação) do afluente;
- disponibilidade de terreno;
- condições climáticas;
- cinética da reação e seleção do reator;
- eficiência do sistema;
- tratamento dos resíduos;
- processamento do lodo;
- restrições ambientais;
- requisitos químicos;
- requisitos de energia;
- requisitos de outros recursos;
- requisitos de pessoal;
- requisitos de manutenção e operação;
- processos auxiliares;
- viabilidade;
- complexidade;
- compatibilidade.

Para a criação de um modelo de otimização de escolha de sistema de tratamento de esgoto para países em desenvolvimento, Tang (Escola Politécnica de Hong Kong) e Ellis (Universidade de Tecnologia de Loughborough, Reino Unido) utilizaram os seguintes fatores (TANG; ELLIS, 1991; 1994):

- vazão;
- afluente e efluente;
- tamanho do local;
- natureza do local;
- custo do terreno;
- recursos financeiros locais para a construção;

- recursos financeiros externos para construção;
- habilidade local para a construção;
- apoio da comunidade;
- fonte de energia;
- disponibilidade local de material;
- custo de operação e manutenção;
- disponibilidade de habilidade profissional para operação e manutenção;
- disponibilidade de habilidade técnica local para operação e manutenção;
- planejamento da administração;
- treinamento;
- ética profissional;
- clima;
- doenças locais de veiculação hídrica;
- endemias relacionadas à água.

Pode-se perceber que os fatores utilizados pelos autores nos dois trabalhos (TANG; ELLIS, 1991; 1994) não são muito distintos dos sugeridos por Metcalf e Eddy (1991).

Campos (1994) sugere uma série de tópicos, fases ou considerações para que se adquira informações para os estudos técnico e econômico de sistemas de tratamento de esgotos:

1. conhecimento da classe e avaliação da capacidade de auto-depuração do corpo receptor;
2. definição da eficiência necessária para tratamento;
3. espaço disponível para implantação da (s) estação (ões);
4. sondagem e estudos geofísicos na (s) área (s) para implantação da (s) estação (ões);
5. definição do número de estações;
6. definição do módulo que constitui a (s) estação (ões);
7. utilização de tecnologias disponíveis e apropriadas;
8. definição de critérios de projeto;
9. *lay-out* de ante-projetos;
10. análise sobre o balanço de sólidos para avaliar problemas, soluções e custos para transporte, tratamento e destino final de “lodos”;
11. análise sobre o balanço energético para avaliar consumo de energia e seus custos;
12. análise sobre as condições técnicas gerais de cada alternativa;
13. análise de custos (construção, operação e manutenção) de cada alternativa (devem ser comparados os valores presentes considerando-se a construção e a operação e manutenção nos próximos 20 anos);
14. análise do impacto ambiental de cada alternativa;
15. escolha da melhor solução. (CAMPOS, 1994, p.15)

Por meio destes tópicos apresentados por Campos (1994), é possível identificar-se algumas variáveis também mencionadas em outros estudos como:

- restrições ambientais;
- eficiência do sistema;
- disponibilidade de terreno;
- natureza do local;
- disponibilidade de habilidade técnica;
- tratamento dos resíduos;
- requisitos de energia;
- custo de construção;
- custo de operação e manutenção;
- vida útil do sistema.

Para o desenvolvimento do modelo integrativo entre sistemas de tratamento de esgoto sanitário, Oron (1996) utilizou as seguintes variáveis:

- capacidade da estação;
- disponibilidade de terreno;
- custo do terreno;
- vizinhança de áreas urbanas ou rurais;
- investimento na construção;
- custo de operação e manutenção (energia, mão de obra);
- custo do monitoramento e controle da qualidade do esgoto;
- vazão média de esgoto ( $\text{m}^3/\text{dia}$  per capita);
- número de habitantes atendidos;
- restrições ambientais;
- características do esgoto.

Em estudo brasileiro, Von Sperling (1996) utiliza as mesmas variáveis propostas por Metcalf e Eddy (1991) para a avaliação comparativa entre diferentes sistemas, definindo elementos fundamentais para os estudos preliminares, como: (1) caracterização quantitativa e qualitativa dos esgotos afluentes à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE); (2) requisitos de qualidade do efluente e nível de tratamento desejado; (3) estudos populacionais e (4) determinação do período de projeto e das etapas de implantação. O autor apresenta alguns métodos para a

avaliação do crescimento populacional, uma vez que é preciso conhecer a população final a ser atendida pelo sistema, bem como suas características de crescimento, no caso de implantação modular.

O modelo para determinação da seqüência “ótima” de processos de tratamento de esgoto sanitário propostos por Elimam e Kohler (1997) foi baseado em (1) características dos maiores poluentes presentes no afluente, (2) características dos materiais empregados na construção (resistência física, espessura, custo e resistência térmica) e (3) requisitos ambientais do corpo d’água receptor, com vistas a minimizar o custo de tratamento. A forma de abordagem da escolha dos processos não utiliza a maioria das variáveis empregadas nos outros estudos de escolha de sistemas de tratamento.

Os indicadores para a avaliação do melhor sistema de tratamento utilizados por Tao e Hills (1999) dividem-se em quantitativos e qualitativos. Os quantitativos são: (1) investimento na construção, (2) custo unitário de tratamento, (3) área necessária para remoção de cada unidade de poluição do esgoto e (4) quantidade de DBO<sub>5</sub> removida por m<sup>3</sup> de esgoto. Os qualitativos são: (1) período de construção, (2) manutenção, (3) necessidade de sistema de coleta de esgoto urbano e (4) pressão ambiental. De acordo com a necessidade de terreno, pode-se designar pesos para os indicadores, fazendo-se uma análise de sensibilidade.

No *software* SAD, específico para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, Souza, Cordeiro Netto e Lopes Júnior (CHERNICHARO et al., 2001) utilizam dados como:

- especificação do caso a ser estudado;
- variáveis de projeto e planejamento;
- condições locais e do terreno;
- capacidade local em suprimento de recursos necessários;
- qualidade da água residuária bruta;
- qualidade mínima para o efluente tratado;
- pesos para os diferentes critérios que serão utilizados nos algoritmos de análise de decisão.

Na fase de análise, os autores usaram os seguintes fatores:

- demanda por área de implantação/construção;

- custo de implantação/construção;
- custo de operação e manutenção;
- simplicidade/facilidade de implantação/construção;
- simplicidade/facilidade de operação e manutenção;
- resistência a choques de cargas;
- flexibilidade e possibilidade de expansão;
- produção de impacto ambiental;
- quantidade produzida de resíduos sólidos;
- disposição adequada/reaproveitamento de resíduos sólidos;
- exigência em capacitação de recursos humanos;
- utilização preferencial de recursos materiais locais; nível de rejeição do público ao tratamento;
- confiabilidade no fornecimento de energia.

O programa WAWTTAR (MCGAHEY, 2003) necessita dois conjuntos de dados: os que descrevem as condições em que será implementada a nova estação e os específicos do processo de tratamento. Os do primeiro conjunto foram subdivididos em 6 grupos:

I. *gerais:*

- identificação da comunidade
- localização da comunidade;
- *stakeholders* (todos os públicos envolvidos).

II. *demográficos:*

- população, densidade e crescimento;
- tamanho dos domicílios;
- crescimento espacial;
- consumo de água atual e previsto;
- produção de esgoto atual e previsto.

III. *recursos:*

- disponibilidade de equipamentos e materiais para construção, operação e manutenção;
- recursos humanos de energéticos;
- disponibilidade de produtos químicos e serviços de laboratório.

IV. *hidro-meteorológicos:*

- índices de precipitação e evaporação;
- temperatura superficial e limite de penetração da geada no solo;
- qualidade da água bruta e do esgoto;
- fontes pontuais;
- descrição do sistema coletor.

V. *financeiros:*

- vida-útil;
- taxa de câmbio;
- taxas de inflação, desconto e juros;
- índices de custo de construção;
- O&M (operação e manutenção);
- valores do terreno.

VI. *locais:*

- tipos de solo e terreno;
- nível do lençol freático;
- distâncias de isolamento de obras relevantes;
- tipos de moradias;
- práticas de defecação;
- distribuição dos sexos;
- acessibilidade e práticas de afastamento de resíduos.

Os dados do processo de tratamento do programa WAWTTAR (MCGAHEY, 2003) também são subdivididos em seis grupos:

I. *gerais:*

- tipo de processo;
- identificação dos dados descritivos para o processo.

II. *construção:*

- requisitos de mão-de-obra, energia e equipamentos;
- custos de construção em relação a cargas hidráulicas, de sólidos e orgânica;
- vida útil econômica do processo.

III. *operação e manutenção:*

- requisitos de terreno em relação a cargas hidráulicas, de sólidos e orgânica;

- requisitos de equipamentos, produtos químicos, comunicação, análises laboratoriais e materiais;
- necessidades de energia e de controle do processo;
- operação e manutenção em relação a cargas hidráulicas, de sólidos e orgânica;
- taxa de produção de sólidos e índice de umidade;
- valores da qualidade admissível do afluente;
- eficiência de remoção dos constituintes do afluente;
- adaptabilidade do processo a aumento, variações de vazão e qualidade do afluente.

#### IV. *Localização:*

- precipitação admissível e temperatura superficial;
- requisitos de tipo de superfície de solo e índices de percolação;
- distâncias necessárias de isolamento horizontal e vertical.

#### V. *Impactos:*

- necessidade de nutrientes;
- produção de organismos patogênicos;
- procriação de pragas;
- geração de odores;
- necessidade de educação.

#### VI. *Locais:*

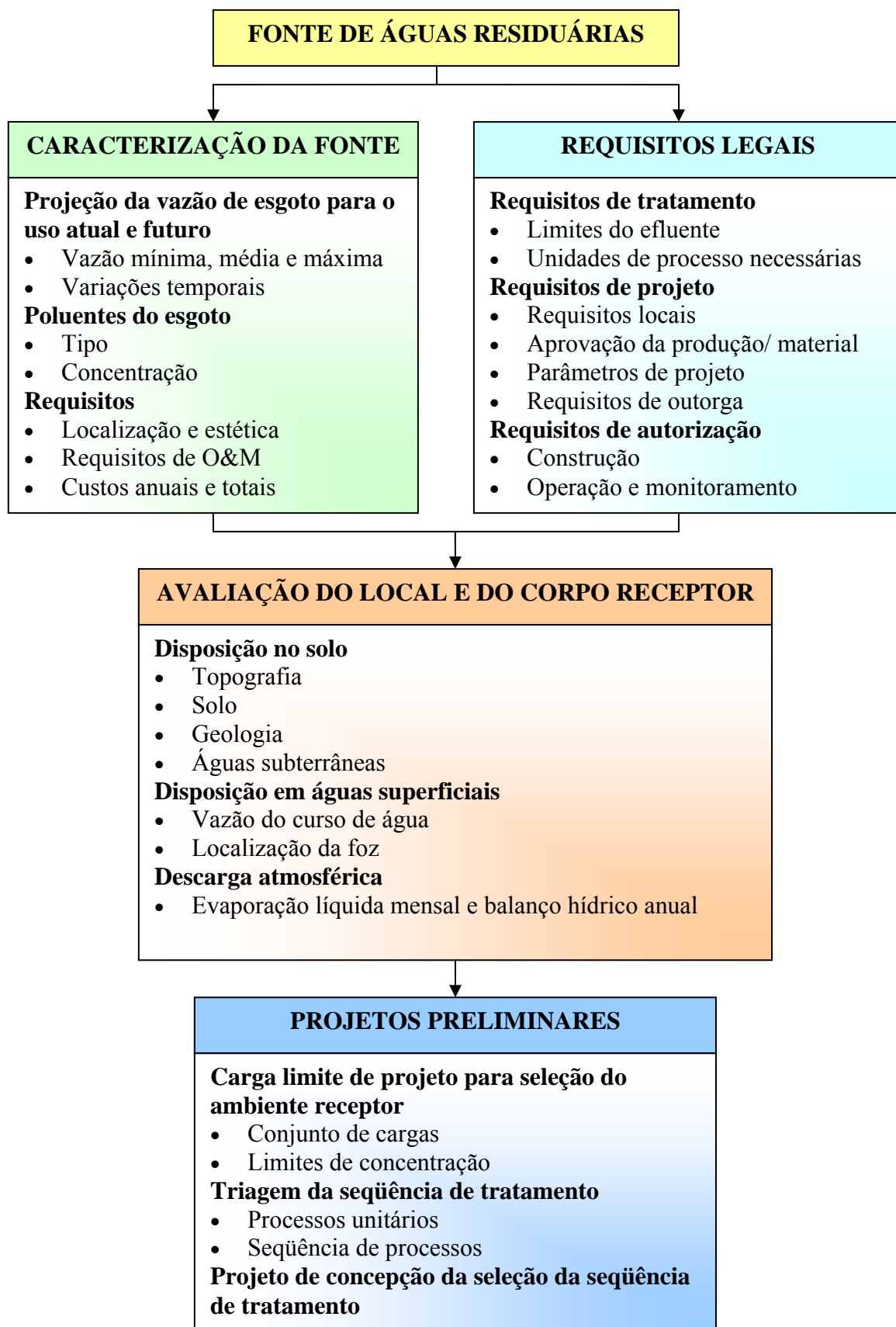
- requisitos institucionais;
- densidade populacional admissível e requisitos habitacionais
- adaptabilidade a práticas sociais e condições de vida;
- requisitos de gerenciamento de resíduos.

O manual de sistemas de tratamento de esgoto sanitário da EPA (2003) subdivide as variáveis e informações necessárias em quatro grupos: (1) caracterização da fonte; (2) requisitos legais; (3) avaliação do local receptor e (4) projeto preliminar. A Figura 2.9 apresenta resumidamente os quatro conjuntos de dados, que são descritos com muitos detalhes nos capítulos do manual. Esse estudo aborda as condições de projeto predominantes para a escolha apropriada do sistema. O manual também apresenta um fluxograma para auxiliar o planejamento de um sistema de tratamento, como pode ser visto na Figura 2.10, quando múltiplas alternativas são

tecnicamente equivalentes e possíveis, deve-se utilizar parâmetros relativos à estética, requisitos de operação e manutenção, custo e confiabilidade antes da concepção da concepção final do projeto.

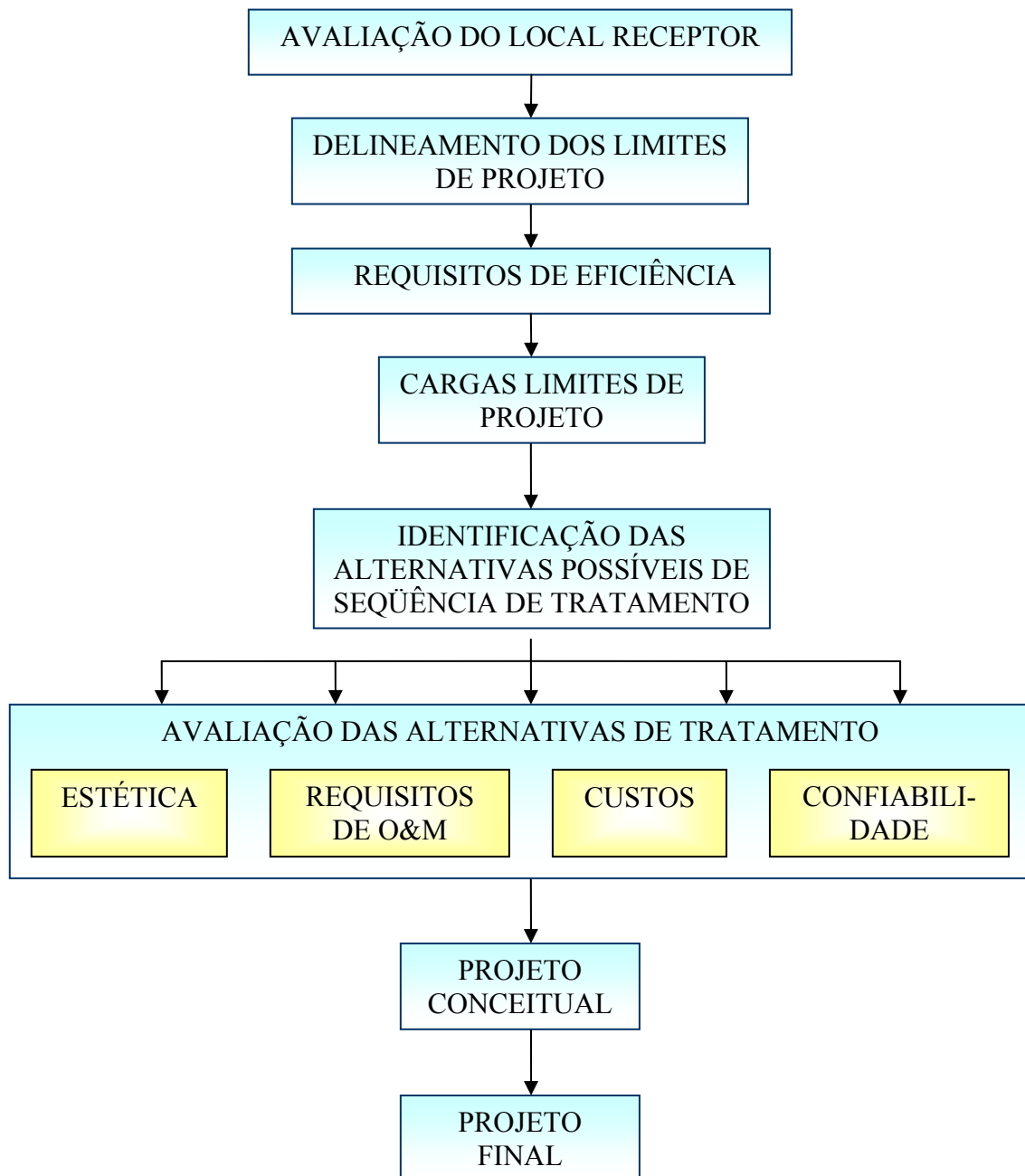
As variáveis empregadas nos fluxogramas apresentados no manual da UNEP (2003) para pequenas comunidades são:

- existência de rede de abastecimento de água;
- existência de rede coletora de esgoto;
- densidade habitacional;
- clima;
- permeabilidade do solo;
- disponibilidade de mão de obra e administração qualificada;
- custo do terreno;
- restrições ambientais.



**Figura 2.9 – Considerações e passos para o projeto preliminar de sistema de tratamento de esgoto**

Fonte: Adaptado de EPA (2003, chap.5, p.52)



**Figura 2.10 – Fluxograma de concepção de projeto de sistema de tratamento de esgoto**

Fonte: Adaptado de EPA (2003, p. 5-25)

A Tabela 2.27 apresenta um resumo dos principais fatores necessários à indicação do sistema adequado de tratamento de esgotos encontrados na literatura. Alguns foram ajustados para aproximarem-se de outros, a fim de não se criar uma quantidade muito grande de fatores. Os fatores mais relevantes, em ordem de importância, foram:

- restrições ambientais;

- requisitos de manutenção e operação;
- requisitos de energia;
- características do afluente;
- requisitos de pessoal;
- custo de construção;
- disponibilidade de terreno;
- características do local;
- custo do terreno.

Muitos desses fatores são compostos por diversas variáveis, quantitativas e qualitativas. A seguir são apresentados os fatores com suas definições, algumas variáveis importantes que os compõem e alguns termos e conceitos utilizados nos estudos e *software* comentados:

- Aplicabilidade do processo: disponibilidade de tecnologia – deverá ser verificado se a cidade dispõe de equipamentos e de pessoas habilitadas para operar sistemas complexos de tratamento;
- Características do local: este item é composto por características do solo, como permeabilidade, topografia, profundidade do lençol freático;
- Características do afluente: deverá ser feita a caracterização das águas residuárias, identificando-se as suas características físicas, químicas e biológicas, por meio de análises de parâmetros como DQO média, pH, alcalinidade, concentração de sólidos, coliformes, metais pesados, presença de substâncias tóxicas, nutrientes, dentre outros descritos no capítulo 3 de Metcalf e Eddy (1991); também deve ser conhecido o comportamento das vazões das águas residuárias;
- Clima: deverão ser identificados os índices pluviométricos, bem como o regime de ventos e a temperatura média ao longo das estações do ano, para não prejudicar o sistema de tratamento ou inviabilizá-lo em áreas urbanizadas por motivo de odores;
- Compatibilidade: deverá ser avaliado se a estação poderá ser usada com sucesso com as instalações disponíveis e se será possível uma expansão da estação;

**Tabela 2.27** – Resumo dos principais fatores para escolha de sistema de tratamento encontrados na literatura

FATORES	AUTORES											TOTALS
	Tchobanoglous (1991)	Tang e Ellis (1991; 1994)	Campos (1994)	Oron (1996)	Von Sperling (1996)	Elimam e Kohler (1997)	Tao e Hills (1999)	Souza, Cordeiro Netto e Lopes Júnior (CHERNICHARO, 2001)	WAWTTAR (MCGAHEY, 2003)	EPA (2003)	UNEP (2003)	
Restrições ambientais	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	<b>10</b>
Requisitos de manutenção e operação	x	x	x	x	x		x	x	x	x		<b>9</b>
Requisitos de energia	x	x	x	x	x			x	x	x		<b>8</b>
Características do afluente	x	x	x	x	x	x			x	x		<b>8</b>
Requisitos de pessoal	x	x			x			x	x	x	x	<b>7</b>
Custo de construção			x	x		x	x	x	x	x		<b>7</b>
Disponibilidade de terreno	x	x	x	x	x			x				<b>6</b>
Características do local		x	x					x	x	x	x	<b>6</b>
Custo do terreno				x			x	x	x	x	x	<b>6</b>
Clima	x	x	x		x				x		x	<b>6</b>
Processamento do lodo	x		x		x			x	x			<b>5</b>
Requisitos químicos	x				x			x	x	x		<b>5</b>
Requisitos de outros recursos	x				x			x	x	x		<b>5</b>
Eficiência do sistema	x		x		x		x		x			<b>5</b>
Vazão aplicável no processo	x	x	x	x	x							<b>5</b>
Variação da vazão aplicável	x				x				x	x		<b>4</b>
Compatibilidade	x		x		x		x					<b>4</b>
População				x	x				x		x	<b>4</b>
Aplicabilidade do processo	x		x		x							<b>3</b>
Vizinhança rural ou urbana				x					x	x		<b>3</b>

- Custo de construção: inclui todos os custos envolvidos na construção, desde a delimitação do canteiro de obras, todas as etapas da obra, bem como o pagamento dos honorários dos profissionais contratados; custo do projeto e planejamento: inclui os custos de levantamentos planaltimétricos e cadastral, análise do solo, de execução do projeto, cópias, dentre outros; taxas e impostos envolvidos: inclui as taxas de licenciamento, impostos da prefeitura ou de outros âmbitos.
- Custo do terreno: deverá ser verificado o custo do terreno que atenda às especificações e restrições para o tipo de estação a ser implantada, incluindo valores de desapropriação, se necessário;
- Disponibilidade de terreno: deverá ser avaliada a facilidade/dificuldade de se utilizar áreas para o sistema de tratamento, quanto ao custo, características, propriedade etc.;
- Eficiência do sistema: deve ser medida em termos da qualidade do efluente, com vistas a satisfazer os requisitos legais do corpo de água receptor;
- População: número de habitantes e projeção para o tempo de vida útil do sistema – deverá ser utilizado um método de projeção para a população, para o número de anos esperado para o sistema, de acordo com os dados de crescimento da cidade;
- Processamento do lodo: facilidade de tratamento e disposição dos resíduos – deverá ser identificado o local de tratamento e disposição final dos resíduos gerados durante os processos, bem como sua disponibilidade de transporte para esses resíduos; custo de retirada, tratamento, transporte e disposição do excesso de lodo e outros resíduos; é preciso incluir as despesas anuais com máquinas, caminhões, mão-de-obra, taxa de utilização de aterros, outros;
- Requisitos de energia: deverá ser verificado se a cidade possui fontes de energia com quantidade e confiabilidade necessárias ao sistema de tratamento a ser implantado; custo relacionado ao consumo de energia elétrica – identificar o consumo de energia elétrica para cada sistema de tratamento e o custo anual resultante;
- Requisitos de manutenção e operação: custo relacionado ao consumo de combustíveis; custo de aluguel de equipamentos – para cada tipo de sistema poderá ser necessário o aluguel de equipamentos para monitoramento dos processos, dentre outros fins; custo de análises laboratoriais – ao longo do ano deverá ser realizado o monitoramento da estação, através de análises do afluente e do efluente, para identificação da eficiência do sistema e de possíveis distúrbios nos processos; custo relacionado à mão-de-obra qualificada – identificar a

necessidade de mão-de-obra especializada para cada tipo de sistema de tratamento e o custo anual que ela representa;

- Requisitos de outros recursos: custo relacionado ao consumo de água; disponibilidade de água;
- Requisitos de pessoal: deverá ser verificado se há disponibilidade de pessoal, tanto em quantidade quanto em qualidade, que satisfaça as necessidades do sistema de tratamento, bem como prever a necessidade de treinamento;
- Requisitos químicos: verificar quais produtos químicos serão necessários para a operação do sistema, o seu custo, disponibilidade e resíduos gerados;
- Restrições ambientais: requisitos legais do corpo d'água receptor – deverá ser verificada em que classe está enquadrado o rio receptor do efluente da estação, de acordo com a Resolução CONAMA 20/86 (ANEXO A); deverá ser realizado Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) ; também deverá ser verificada a legislação estadual;
- Variação da vazão aplicável: alguns processos são mais sensíveis à variação da vazão afluente, de onde a necessidade de um sistema de equalização anterior ao de tratamento em regiões com grande variação de vazão;
- Vazão aplicável no processo: em alguns processos há uma vazão determinada para o seu bom funcionamento, como no caso de lagoas;
- Vizinhança rural ou urbana: devido, principalmente, à produção de odores, alguns sistemas anaeróbios não devem ser instalados próximos à zona urbana.

## **2.6. TÉCNICAS DE AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO**

Quando o tomador de decisão está frente de um problema com diversas alternativas, além de incertezas e riscos para eventos futuros, a análise de decisão pode auxiliá-lo a encontrar a estratégia ótima para a solução do problema (ANDERSON et al., 2003). Para a formulação do problema é preciso identificar os eventos de chance, equivalentes aos eventos futuros incertos, e as conseqüências resultantes de cada alternativa.

A tomada de decisão em sistemas de gerenciamento de recursos hídricos possuem diversas características que podem torná-la bastante difícil, como:

1. complexidade;
2. incertezas de diversas naturezas;

3. existência de conflitos;
4. investimentos de porte elevado;
5. necessidade de planejamento em longo prazo;
6. dinamismo ao longo da vida útil;
7. repercussões econômicas, sociais e ambientais significativas;
8. participação de grupos heterogêneos no processo decisório. (PORTO, 1997, p.44)

Três ferramentas muito utilizadas para a análise e cálculo da melhor alternativa em tomadas de decisão são a análise de sensibilidade com o diagrama de tornado, a árvore de decisão e o diagrama de influência.

### **2.6.1 Análise de Sensibilidade e Diagrama de Tornado**

A análise de sensibilidade avalia como mudanças nos elementos de um modelo podem afetar a solução ótima (WINSTON, 1994). A análise de sensibilidade, também conhecida por análise *what-if*, é uma técnica de melhoria de processo, pois identifica os componentes críticos do modelo. A análise *what-if* envolve a geração de valores para os dados probabilísticos e cálculo do valor resultante (ANDERSON; SWEENEY; WILLIAMS, 2003)

Para se realizar a análise de sensibilidade de um modelo, deve-se construir inicialmente o modelo em uma planilha eletrônica, por exemplo. Por meio da geração de diferentes valores para as variáveis, podem ser identificadas as variáveis mais impactantes no modelo. Por último, a decisão poderá ser feita construindo-se um modelo com as variáveis mais impactantes.

A avaliação das variáveis pode ser realizada a partir de um Diagrama de Tornado. Esse gráfico compara os efeitos de todas as variáveis nos resultados. Para cada variável (listadas no eixo Y) o comprimento da barra desenhada indica a margem de mudança que ela causou nos resultados. Como a variável com efeito maior (barra mais longa) é mostrada no topo e a de menor impacto na base, o diagrama muitas vezes apresenta a forma de um tornado. O diagrama de tornado identifica as variáveis que requerem maior atenção, ou seja, aquelas plotadas no topo do gráfico.

Um exemplo do uso do diagrama de Tornado é apresentado por Rocco et al. (2000), por meio de análises de sensibilidade em problemas de otimização com incerteza. O autor utilizou o

diagrama para interpretar os efeitos do custo médio provocados por mudanças em cada variável, em problemas genéricos de maximização e minimização.

### **2.6.2 Árvore de Decisão**

A árvore de decisão é uma técnica de avaliação de diversas alternativas, por meio de cálculo do valor monetário esperado para cada alternativa. É um grafo composto por nós quadrados que representam as escolhas a serem feitas (alternativas possíveis) e nós em forma de círculos que representam as chances de cada alternativa (CLEMEN, 1996). O fluxo da montagem dos valores de cada chance é feito da esquerda para a direita, inserindo-se todos os valores que compõem o seu custo final. Já o fluxo da avaliação é feito da direita para a esquerda, por meio do somatório dos valores esperados em cada chance, multiplicados pela probabilidade a ela associada.

As árvores de decisão podem ser utilizadas na solução de problemas ambientais como apresentado por Chao e Peck (1999). Os autores avaliaram o nível de investimento a ser feito com pesquisa e desenvolvimento na área ambiental, com vistas a maximizar o controle ambiental, minimizando os impactos ambientais e possíveis custos gerados para mitigação desses impactos. Também fizeram um estudo de sensibilidade das variáveis para avaliação do comportamento do modelo.

Quando o problema de decisão é multidimensional, pode ser feita uma análise de decisão multicritério em uma árvore de decisão, como sugere Lootsma (1997). O autor utiliza também o processo de hierarquia analítica para o ranqueamento das opções, fazendo comparações entre a importância de uma variável perante a outra. Nesse trabalho foi possível fazer comparações via critério de desempenho, opinião do tomador de decisão e probabilidades dos resultados.

### **2.6.3 Diagrama de Influência**

Outra ferramenta importante da análise de decisão é o diagrama de influência. Por meio dele é possível visualizar o problema holisticamente, com todos os fatores que fazem parte do contexto da tomada de decisão. Em um diagrama de influência, os retângulos representam as decisões, as formas ovais representam os eventos de chance, os retângulos com cantos

arredondados são as conseqüências intermediárias e o losango é a conseqüência final. Essas quatro formas são conhecidas como nós: nós de decisão, nós de chance, nós de conseqüências e nós de *payoff* (CLEMEN, 1996).

Embora as técnicas de tomada de decisão possam trazer grandes ganhos na escolha da alternativa ótima, Howard (1988) alerta para a importância de opções quando se tem que fazer escolhas. Essa opção não deve ser uma simples alternativa, mas uma alternativa que permita ou possa permitir uma decisão futura seguida da revelação de informações. A simples escolha entre duas alternativas, ou entre fazer ou não fazer, leva a tomadas de decisão pobres. O autor exemplifica sua questão com vários exemplos com o emprego de árvores de decisão.

A utilização de diagramas de influência na análise de problemas ambientais pode ser encontrada no estudo de Heger e White (1997). Nesse trabalho, os autores lidaram com problemas de remediação ambiental e gerenciamento de resíduos, quando há incerteza e informação incompleta. A análise dos custos envolvidos é enfatizada, porque tem grande contribuição na escolha da solução ótima.

## **2.7. CONSIDERAÇÕES**

Como pôde ser visto, vários estudos têm sido feitos para auxiliar a avaliação do melhor sistema de tratamento de esgoto sanitário para um município. Não há um consenso sobre as variáveis mais relevantes na composição do resultado, mas pode-se notar que muitos aspectos aparecem em grande parte dos trabalhos.

Vanrollenghem et al. (1996) destacam a importância de se estudar em conjunto os custos de implantação e de operação de sistemas de tratamento de águas residuárias, por razões econômicas e ecológicas.

O modelo desenvolvido no presente estudo pretende auxiliar os tomadores de decisão na escolha do melhor sistema, por meio de técnicas acessíveis como a árvore de decisão, no qual é possível transferir os dados e características locais para se obter uma solução apropriada para o seu contexto. Como observam Varis e Kuikka (1999), os cientistas não devem somente observar e medir passivamente, mas também ajudar os governantes a tomar decisões melhores.

### **3 – MÉTODO**

---

---

### **3.1. TIPO DE PESQUISA**

O presente trabalho é uma pesquisa aplicada, com desenvolvimento de modelo matemático para avaliação de alternativas de menor valor monetário, para auxiliar a escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário.

Sua elaboração foi dividida em três fases: pesquisa bibliográfica, pesquisa exploratória e pesquisa experimental.

A pesquisa bibliográfica visou a coleta de dados sobre os sistemas de tratamento usados no modelo, formas de avaliação de alternativas de tratamento e técnicas de auxílio à tomada de decisão.

A pesquisa exploratória foi necessária para complementação de dados não disponíveis na literatura. Cabe lembrar que “variáveis importantes podem não ser conhecidas ou não estar totalmente definidas” (COOPER; SCHINDLER, 2003, p. 131), enfatizando a importância de um estudo exploratório inicial. Os resultados dessa pesquisa exploratória tiveram forte contribuição para o desenvolvimento do modelo.

A fase experimental incluiu o desenvolvimento do modelo e avaliação de sua aplicabilidade. Na pesquisa experimental, pode-se manipular as variáveis independentes e verificar como a variável dependente é afetada pela intervenção (COOPER; SCHINDLER, 2003). A análise de sensibilidade e o Diagrama de Tornado (CLEMEN, 1996) foram as ferramentas usadas para elucidar as variáveis de maior influência no custo de sistemas de tratamento de esgoto sanitário do modelo.

### **3.2. PERGUNTAS DE PESQUISA**

Para auxiliar o levantamento das variáveis necessárias ao desenvolvimento do modelo e permitir a melhor compreensão do problema, foram utilizadas as perguntas de pesquisa apresentadas a seguir.

- É possível utilizar árvores de decisão para a avaliação quantitativa do melhor sistema de tratamento de esgoto sanitário?

- O custo de implantação é um fator relevante na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário?
- O custo de operação e manutenção (depreciação) é um fator relevante na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário municipais?
- As restrições ambientais são fatores relevantes na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário?
- As restrições tecnológicas são fatores relevantes na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário?
- Quais as principais fatores que interferem na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário?

### **3.3. PROPOSIÇÕES DE PESQUISA**

De acordo com as perguntas de pesquisa, várias proposições podem ser levantadas. Segundo Cooper e Schindler (2003, p. 57), as proposições “são declarações sobre conceitos que podem ser julgados como verdadeiros ou falsos caso se refiram a fenômenos observáveis”. como se segue.

- As árvores de decisão podem contribuir na escolha do melhor sistema de tratamento de esgoto sanitário.
- O custo de implantação é um fator relevante na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário.
- A contribuição do custo de implantação de um sistema de tratamento depende do tipo de processo utilizado.
- O custo de operação e manutenção (depreciação) é um fator relevante na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário.
- A contribuição do custo de manutenção de um sistema de tratamento depende do tipo de processo utilizado.
- As condições climáticas são fatores relevantes na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário.
- As restrições do corpo d’água receptor do efluente da estação de tratamento são fatores relevantes na escolha do melhor sistema de tratamento de esgoto sanitário.

- As características do esgoto sanitário a serem tratadas são fatores relevantes na escolha do melhor sistema de tratamento de esgoto sanitário.
- A disponibilidade de terreno é fator fundamental na escolha do melhor sistema de tratamento de esgoto sanitário.

### **3.4. COLETA DE DADOS**

A coleta de dados foi dividida em pesquisa bibliográfica e pesquisa exploratória. A literatura nacional sobre tratamento de esgoto sanitário e demais águas residuárias pôde fornecer grande parte dos parâmetros de projeto para desenvolvimento do modelo. Fontes internacionais foram utilizadas para complementar as informações sobre tratamento de esgoto e, também, sobre técnicas de tomada de decisão.

A pesquisa exploratória foi fundamental para coletar dados que não estavam disponíveis nos diversos livros e artigos de periódicos sobre o assunto. Outro fator importante foi a adequação das variáveis às características brasileiras, uma vez que muitos dados internacionais sobre sistemas de tratamento não se aplicam totalmente à realidade nacional.

Cooper e Schindler (2003, p.222) argumentam a importância da pesquisa exploratória por meio dos seguintes objetivos:

- a. aumentar o entendimento do problema de administração;
- b. saber como outras pessoas trataram e/ou resolveram problemas similares ao seu problema ou à sua questão de administração;
- c. reunir informações anteriores sobre o tópico para refinar a questão de pesquisa;
- d. identificar informações que possam ser reunidas para formular as questões investigativas;
- e. identificar fontes e questões reais que possam ser usadas como questões de mensuração;
- f. identificar fontes e estruturas reais de amostra que possam ser usadas no projeto de amostragem. (COOPER; SCHINDLER, 2003, p.222)

As fontes de informação primária foram profissionais da área de projeto de estações, pesquisadores de sistemas de tratamento de esgoto sanitário e especialistas do Programa Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES), ligado à Agência Nacional de Águas (ANA), do Ministério do Meio Ambiente, em Brasília. Foram realizadas entrevistas pessoais

semi-estruturadas a fim de identificar quais as variáveis mais significativas utilizadas para a determinação do tipo de estação e a forma com que atualmente se faz a escolha do sistema de tratamento para os municípios. As questões a seguir foram usadas como roteiro da entrevista, embora nem todos tivessem respondido a todas elas.

- Quais os dados demográficos, geográficos, climáticos, geomorfológicos, ou outros, necessários para se dar início ao projeto de uma estação municipal de tratamento de esgoto sanitário?
- Quais os parâmetros mais importantes para a caracterização do esgoto sanitário para a elaboração do projeto da estação de tratamento?
- Quais os principais parâmetros utilizados na definição do tipo de sistema de tratamento a ser implantado?
- Como é definida a vida útil de uma estação municipal de tratamento?
- Qual o indicador utilizado para se identificar o nível tecnológico do município?
- São utilizadas técnicas quantitativas ou qualitativas para a análise dos dados? Quais?
- São levantados os custos de projeto, construção, manutenção, monitoramento, taxas ou multas para a escolha do sistema de tratamento?
- Quais os sistemas de tratamento mais utilizados em seu Estado?

### **3.5. DESENVOLVIMENTO DO MODELO**

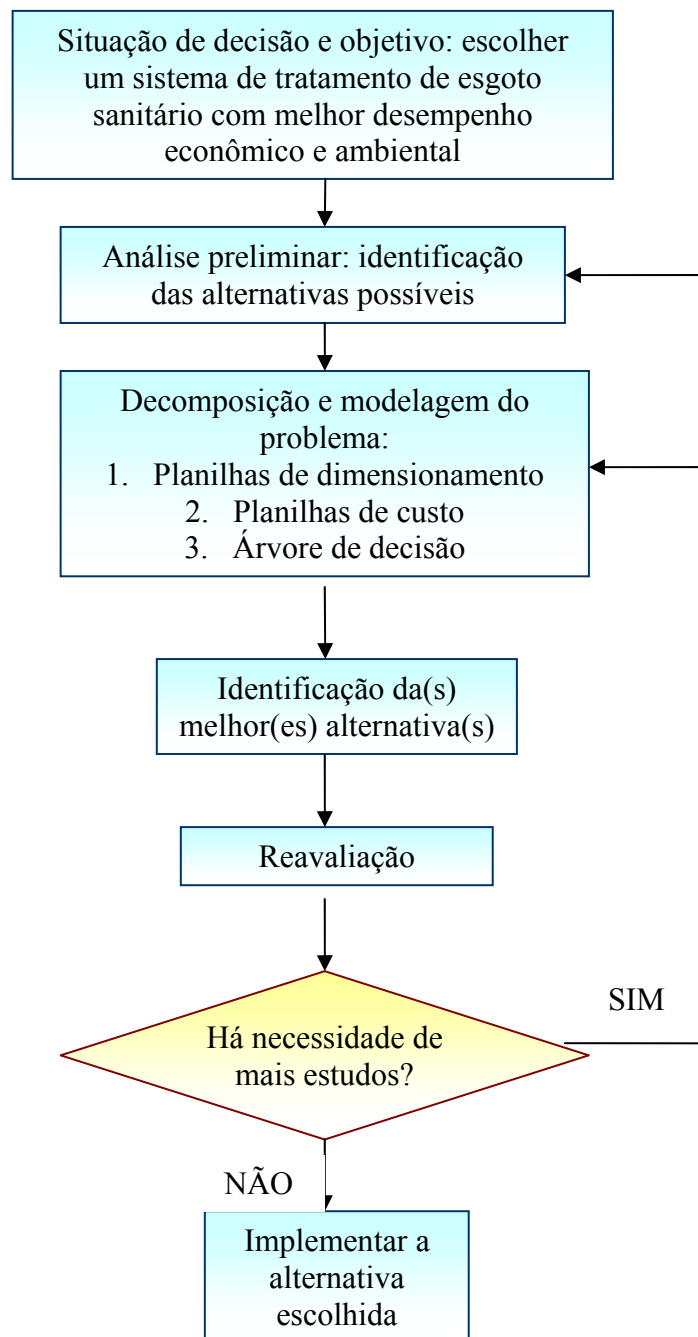
O desenvolvimento do modelo envolveu uma série de etapas, desde a definição do fluxograma do processo de análise, das variáveis a serem inseridas, dos programas de computador mais adequados para sua montagem e a forma que seriam criadas as planilhas de cálculo no programa.

A seguir, são apresentadas essas etapas.

#### **3.5.1. Fluxograma do Processo de Análise**

Para a avaliação do melhor sistema de tratamento de esgoto sanitário foram utilizadas as técnicas de análise de decisão, uma vez que podem trazer muitos subsídios como estruturação e direcionamento para o pensamento sistematizado em decisões difíceis (CLEMEN, 1996).

A Figura 3.1 apresenta o processo de análise de decisão utilizado no modelo para avaliação de alternativas de sistemas de tratamento de esgoto sanitário, com base no fluxograma adaptado de Clemen (1996).



**Figura 3.1 – Fluxograma do processo de análise de decisão utilizado no modelo**

Fonte: adaptado de Clemen (1996)

O primeiro passo do fluxograma é a identificação do problema: escolher um sistema de tratamento de esgoto sanitário com o melhor desempenho econômico e ecológico para uma determinada comunidade que possui características específicas que também deverão ser levantadas.

O segundo passo é a identificação das alternativas possíveis. O modelo foi composto por oito sistemas, portanto, oito alternativas de decisão. Algumas variáveis podem excluir certas alternativas, como terreno pré-escolhido com área inferior ao necessário para a alternativa ou distância menor que 500 metros para os sistemas com lagoas anaeróbias. No dimensionamento dos sistemas também poderão ser eliminadas alternativas que não atendam à qualidade do efluente final em relação à classe do rio receptor, ou necessitem de adaptações nas faixas de parâmetros, como taxa de aplicação superficial, carga orgânica volumétrica ou tempo de detenção hidráulica. Nesses casos, é possível verificar as faixas nas planilhas de parâmetros de cada tipo de processo, adequar os dados e verificar se a alternativa tornou-se viável. Esse procedimento deverá ser realizado por profissionais com experiência na área.

No terceiro passo, serão realizados os cálculos de dimensionamento das unidades de tratamento dos sistemas, os cálculos dos custos em função desse dimensionamento e serão aplicadas técnicas de tomada de decisão – árvore de decisão – perante as alternativas viáveis. A árvore de decisão indica a melhor alternativa por meio do menor valor monetário esperado.

Deve-se também verificar o valor das demais alternativas, de modo a identificar alternativas com valores muito próximos. Essa identificação das melhores alternativas deve ser realizada no quarto passo do fluxograma.

No quinto passo, de reavaliação, o usuário poderá proceder a análises de sensibilidade, para verificar quais variáveis têm maior influência no custo total do sistema.

Identificadas as variáveis mais impactantes, poderão ser feitos novos estudos, no sexto passo, modificando os valores dessas variáveis para se obter novas composições de custo. Ao se modificar valores de variáveis é possível que alternativas que não haviam sido as melhores na primeira iteração, passem a ser alternativas atrativas. Dependendo da situação, o tomador de decisão poderá fazer várias iterações até chegar à alternativa mais adequada.

O último passo, implementar a alternativa escolhida, deve ser visto como um direcionamento a um dos oito tipos de sistemas. Como o modelo utiliza dados gerais sobre o município e o esgoto a ser tratado, ele não deve ser usado para o dimensionamento final da alternativa indicada. A partir dele, deverão ser criteriosamente levantados todos os parâmetros necessários e desenvolvidos os projetos específicos para a construção da estação de tratamento.

### **3.5.2. Definição das Variáveis**

A definição das variáveis de dimensionamento foi feita de acordo com a literatura apresentada no Capítulo 2 do presente trabalho, complementada com as informações obtidas na pesquisa exploratória.

Embora a literatura apresente diversas variáveis qualitativas do local a ser instalada a estação de tratamento, como nível tecnológico, qualidade da mão-de-obra, comprometimento dos governantes e da população, esses itens não foram diretamente inseridos no modelo, pela dificuldade de se conferir valores a eles. Quanto a variáveis como disponibilidade de energia e água, o tomador de decisão poderá avaliar entre as alternativas definidas pelo modelo, quais as que realmente seriam viáveis no local a ser instalada a ETE.

As variáveis usadas no modelo podem ser divididas em três grupos:

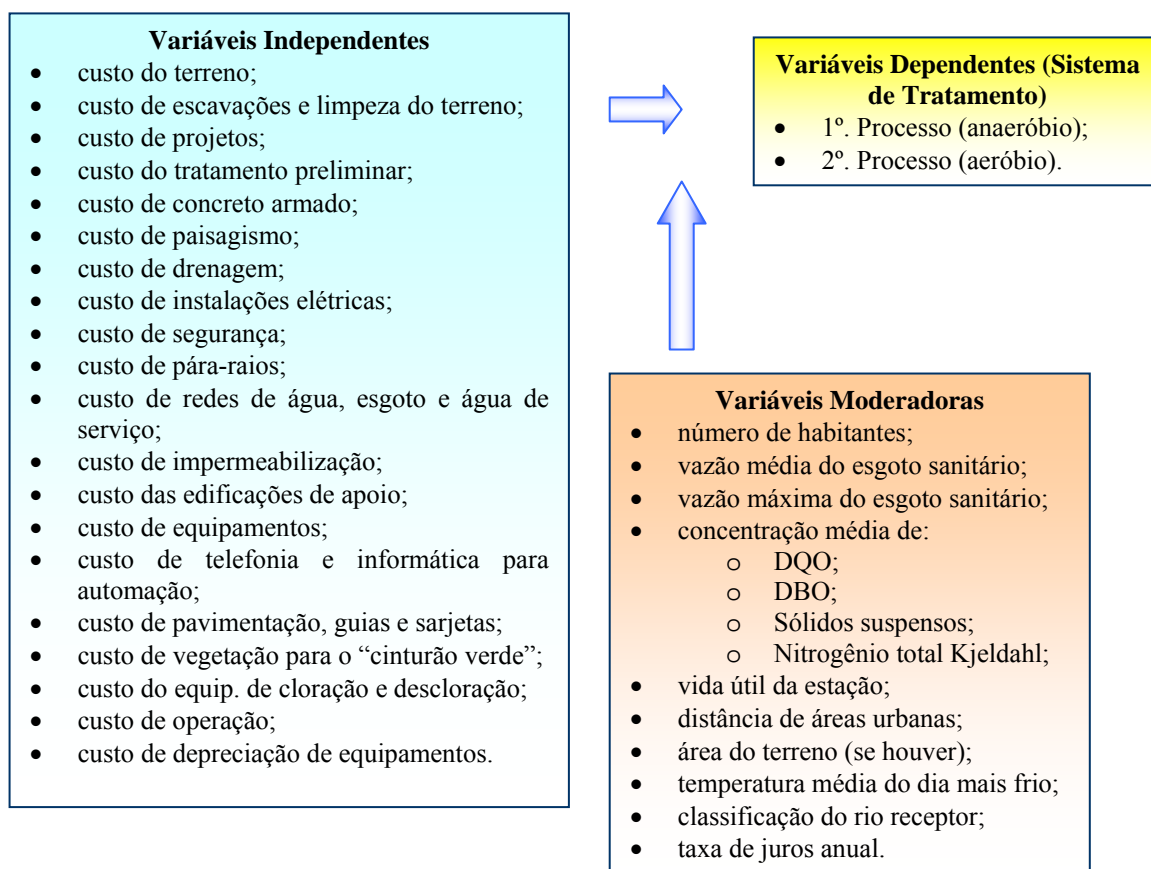
- Variáveis independentes, relacionadas aos custos de implantação, operação e manutenção:
  - custo do terreno;
  - custos de escavações e limpeza do terreno;
  - custo de projetos, em função do valor estimado da obra;
  - custo do tratamento preliminar: processo anterior aos sistemas de tratamento que compõem o modelo;
  - custo de concreto armado: para construção dos reatores e tanques;
  - custo de paisagismo;
  - custo de drenagem;
  - custo de instalações elétricas: em função da potência instalada para equipamentos;
  - custo de segurança: fechamento externo do terreno e guarda-corpo no entorno dos tanques;

- custo de pára-raios;
  - custo de redes de água, esgoto e água de serviço;
  - custo de impermeabilização: de concreto e de lagoas;
  - custo das edificações de apoio: em função do custo médio de construção do local a ser implantada a estação;
  - custo de equipamentos: usados nos reatores, tanques e lagoas aeradas, para aeração, distribuição do fluxo e raspagem de lodo;
  - custo de telefonia e informática para automação;
  - custo de pavimentação, guias e sarjetas;
  - custo de vegetação para o “cinturão verde”;
  - custo do equip. de cloração e descloração;
  - custo de operação: estimado em função do custo anual de operação por habitante;
  - custo de depreciação de equipamentos.
- 
- Variáveis moderadoras, que interferem ou modificam a relação causa-efeito das variáveis independentes sobre as dependentes (COOPER; SCHINDLER, 2003):
    - número de habitantes: projeção para o prazo de vida útil da estação;
    - vazão média do esgoto sanitário;
    - vazão máxima do esgoto sanitário;
    - concentração média de:
      - DQO;
      - DBO;
      - Sólidos suspensos;
      - Nitrogênio total Kjeldahl;
    - vida útil da estação;
    - distância de áreas urbanas;
    - área do terreno: quando já houver um terreno pré-determinado;
    - temperatura média do dia mais frio: para cálculo da temperatura do líquido nos reatores e lagoas;
    - classificação do rio receptor: de acordo com a resolução CONAMA 20 de 1986 (ANEXO A);
    - taxa de juros anual.

As variáveis dependentes compõem o sistema de tratamento de esgoto sanitário, podendo ser subdivididas em:

- primeiro processo (anaeróbio):
  - Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB);
  - Lagoa Anaeróbia.
- segundo processo (aeróbio):
  - Lodos Ativados;
  - Lagoa Facultativa;
  - Filtro Biológico Percolador;
  - Lagoa Aerada seguida de Lagoa de Decantação.

A Figura 3.2 mostra de maneira esquemática as variáveis independentes, dependentes e moderadoras do modelo e respectivas formas de intervenção no mesmo.



**Figura 3.2 – Esquema das variáveis dependentes, independentes e moderadoras que compõem o modelo e suas formas de intervenção**

### 3.5.3. Seleção dos Programas de Computador e das Técnicas de Análise

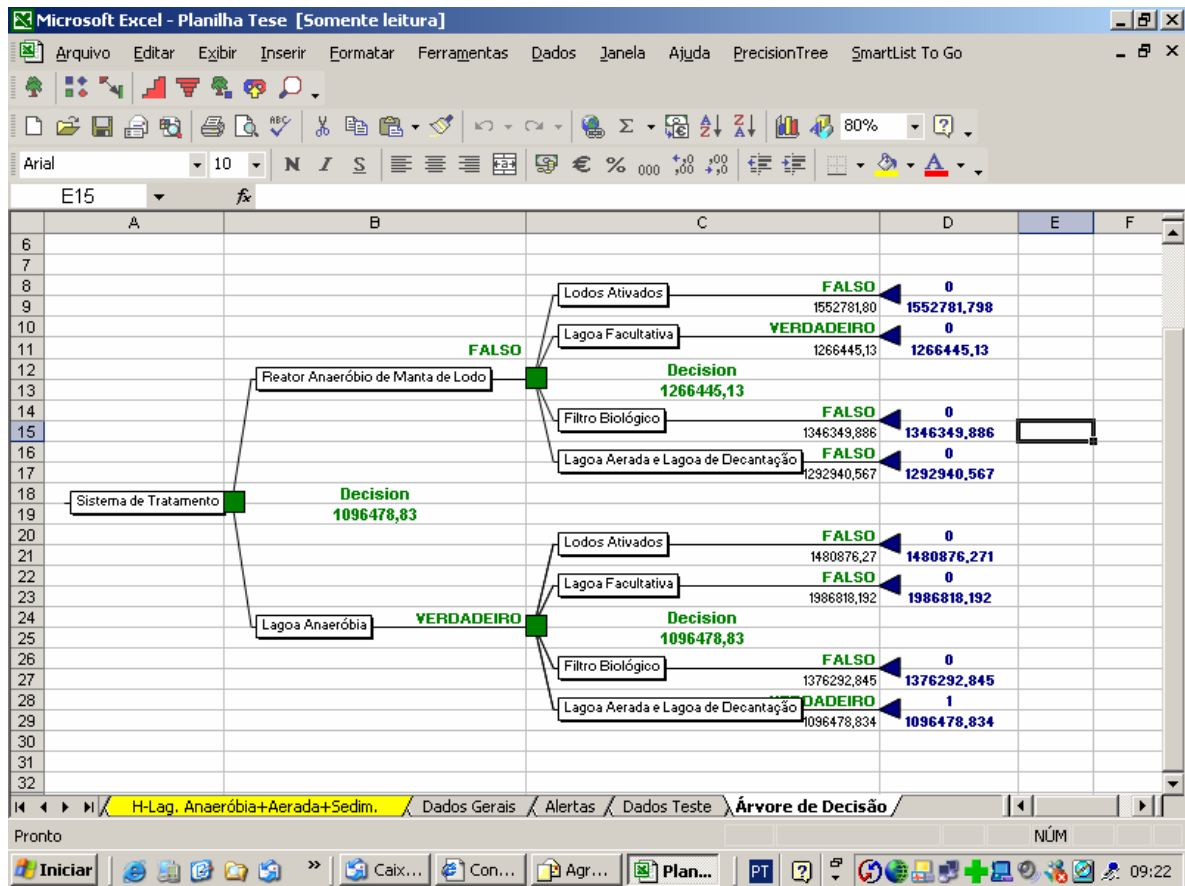
No desenvolvimento do modelo, foi usado o programa de planilhas eletrônicas “*Excel*” da Microsoft (MICROSOFT, 2004), uma vez que é o mais difundido nesse perfil de aplicativo. Isso permite que os seus prováveis usuários tenham facilidade em usá-lo, entendê-lo e modificá-lo à medida que for necessário. Os recursos mais utilizados do programa, além da montagem de fórmulas com as principais operações aritméticas, foram as funções “SE” para os testes lógicos, “E” para atender a mais de uma restrição, “INT” para transformar frações em números inteiros e “HYPERLINK” para fazer a conexão de duas células.

Para facilitar e organizar as planilhas de cálculo e os dados, foram criadas diversas planilhas interdependentes, com os dados gerais, sistemas de tratamento, parâmetros dos processos de tratamento e árvore de decisão.

A árvore de decisão foi montada com o auxílio do programa “*Precision Tree*” da empresa Palisade (PALISADE, 2004), acoplado ao programa “*Excel*”. Como os sistemas são compostos por processo anaeróbio seguido de aeróbio, a árvore de decisão tem dois ramos iniciais com os sistemas anaeróbios – Reator Anaeróbio de Manta de Lodo e Lagoa Anaeróbia – seguidos dos quatro sistemas aeróbios – Lodos Ativados, Lagoa Facultativa, Filtro Biológico e Lagoa Aerada com Lagoa de Decantação.

A Figura 3.3 mostra a árvore de decisão do modelo.

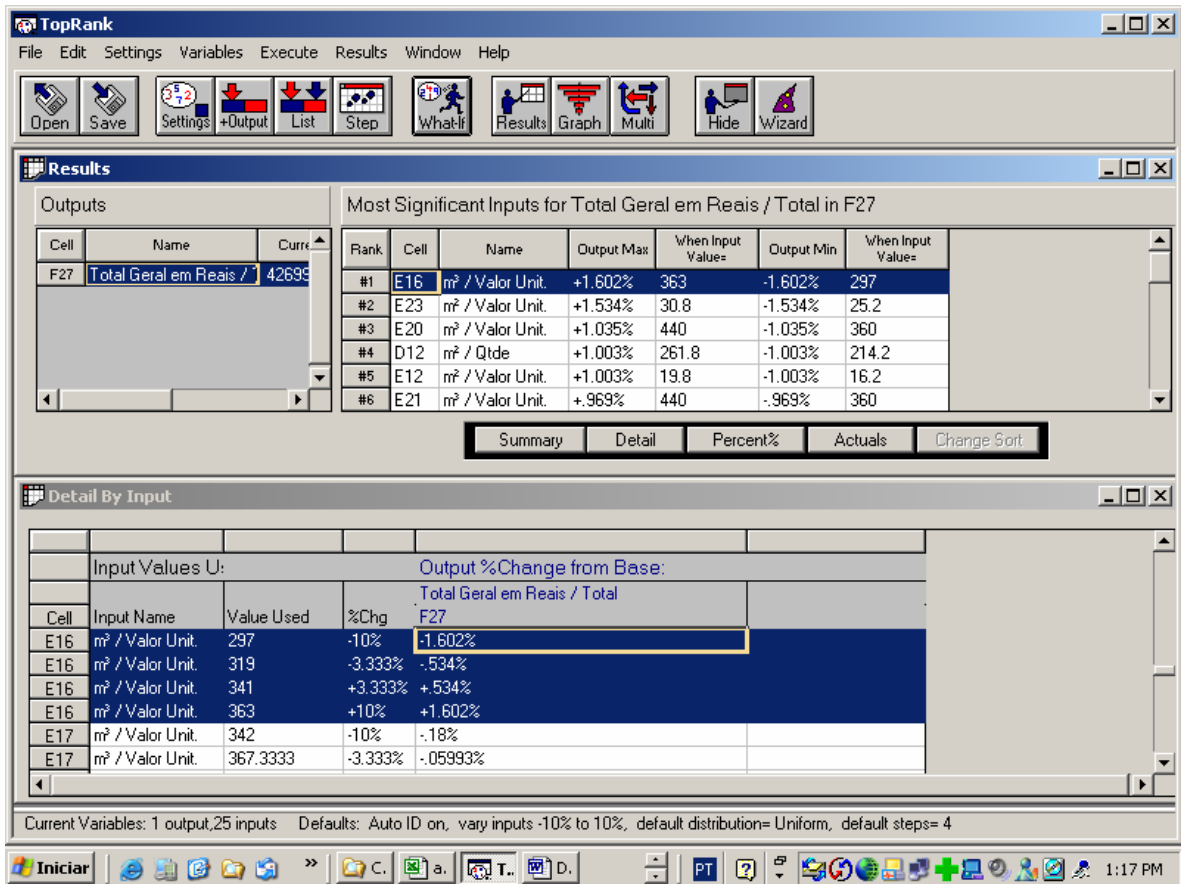
As células contendo os totais dos custos de cada um dos oito sistemas estudados são transferidas para a árvore de decisão, a qual indica o sistema com menor custo de cada ramo e o de menor custo global.



**Figura 3.3 – Planilha “Árvore de Decisão” do modelo, apresentando as alternativas, com auxílio do programa Precision Tree da Palisade**

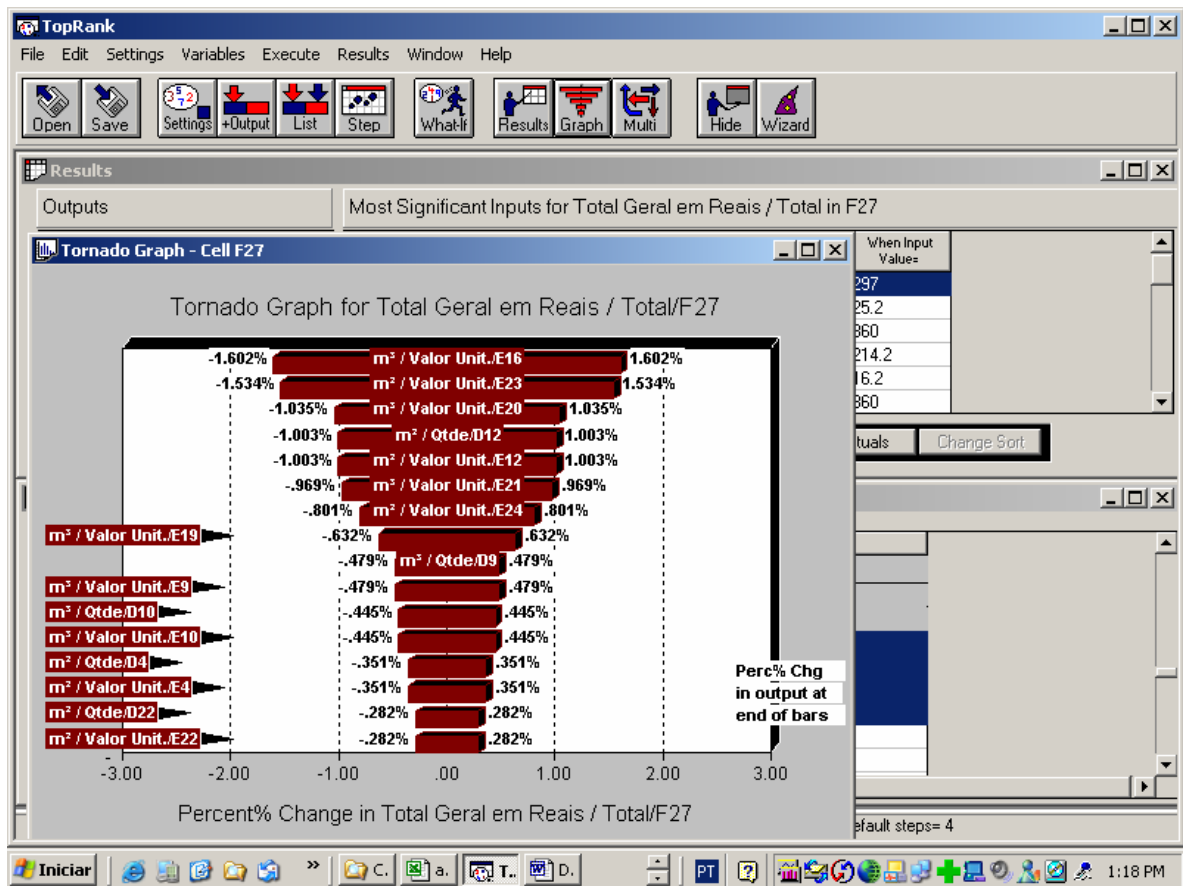
Quando houver diferenças de custo final menores que 15% entre as melhores alternativas, deve-se realizar estudos mais refinados para identificar quais variáveis possuem maior impacto no custo total e tentar alterá-las, analisando os resultados. Essa identificação pode ser feita por meio de análises de sensibilidade.

As análises de sensibilidade, também conhecidas por “*What-if*” foram realizadas com o auxílio do programa “*Top Rank*” da Palisade (PALISADE CORPORATION, 2000), que também utiliza o programa “*Excel*” como base. Ao fazer as análises, o programa cria funções de variação nos valores que compõem a planilha para identificar as variáveis mais impactantes no custo final de cada sistema. Sendo assim, pode-se concentrar as atenções nesses fatores críticos e como mudanças neles podem afetar os resultados na tomada de decisão (PALISADE CORPORATION, 2000). A Figura 3.4 apresenta a tela do programa “*Top Rank*” ao se fazer a análise “*What-if*”.



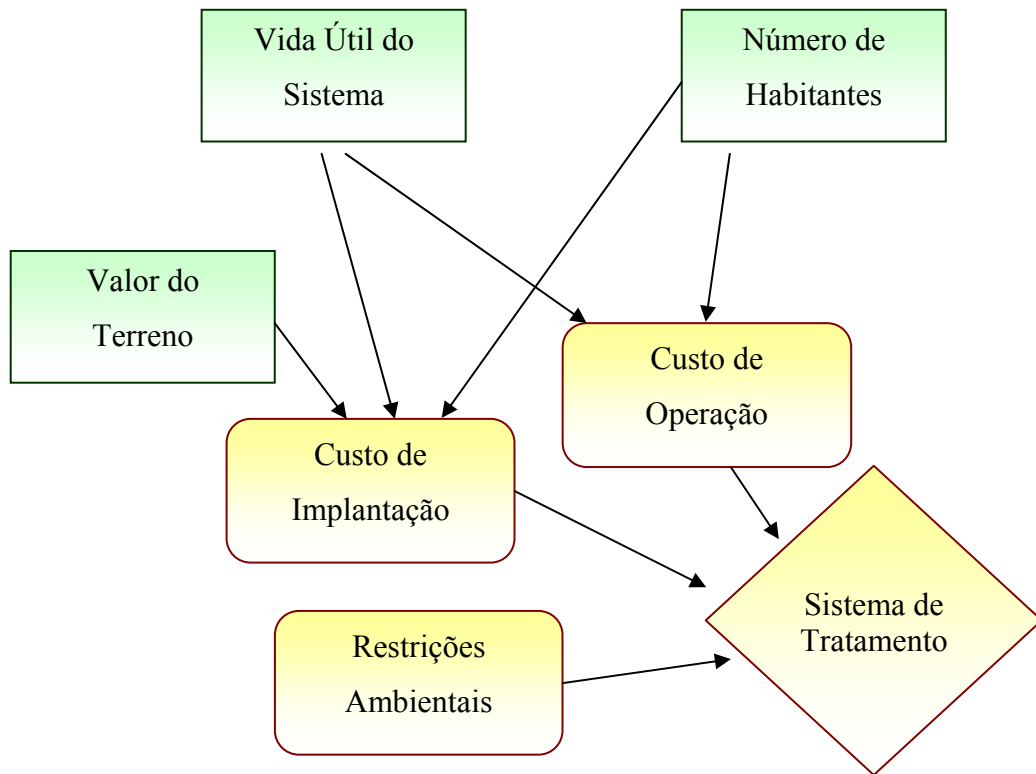
**Figura 3.4 – Tela do programa “Top Rank” da Palisade, apresentando um resultado de análise “What-if”**

O Diagrama de Tornado, resultante da análise de sensibilidade, apresenta o ranqueamento das variáveis de acordo com seu impacto no custo total (Figura 3.5). Deverão ser definidos quais itens serão avaliados, qual a forma de avaliação e então solicitar que o programa as proceda. Essa interação entre o usuário e o *software* é muitas vezes necessária em aplicações de pesquisa operacional. O capítulo 6 desta tese apresenta com mais detalhes o uso dessa ferramenta.



**Figura 3.4 – Tela do programa “Top Rank” da Palisade, apresentando um Diagrama de Tornado gerado a partir de uma análise de sensibilidade**

Outra ferramenta que facilita a visualização geral do problema em uma análise de decisão é o diagrama de influência. Nele são colocadas as variáveis mais impactantes em cada trecho do problema e a influência na consequência final, ou objetivo a ser alcançado. Esse diagrama é facilmente interpretado por pessoas com menor qualificação na área. A Figura 3.5 representa um exemplo de diagrama de influência para o modelo de escolha do sistema de tratamento de esgoto sanitário. Por meio do programa “Precision Tree” também é possível elaborar esse diagrama.



**Figura 3.5 – Exemplo de diagrama de influência com algumas variáveis para o modelo de escolha do sistema de tratamento**

#### 3.5.4. Elaboração das Planilhas

As planilhas de dimensionamento dos sistemas foram elaboradas com base em exemplos da literatura, conforme descrição detalhada no capítulo 5 desta tese. Cada passo do dimensionamento possui uma sub-planilha com todos os itens componentes, mesmo que sejam repetidos de cálculos anteriores. Isso facilita a visualização dos elementos que fazem parte daquela sub-planilha específica.

A inserção de dados de outras planilhas, como “Dados Gerais” ou de “Parâmetros” foi feita pelo comando “=” (igual) para que qualquer modificação desses dados nas suas planilhas de origem seja automaticamente efetuada nas planilhas dos sistemas. Também foram digitadas graficamente as fórmulas de cada cálculo para o usuário poder identificar como ele foi realizado. As células resultantes de cálculos têm sua fonte em negrito para melhor identificação.

O planilhamento dos custos seguiu esses mesmos critérios e também está descrito com detalhes no capítulo 5 deste trabalho.

Para facilitar ao usuário, há uma planilha final com o resumo dos 21 custos que compõem a estimativa de custo do sistema, descritos no item 5.4 do presente trabalho, além dos seguintes dados: custo total do sistema, custo total de implantação, custo total de operação e manutenção e custo de implantação por habitante.

### **3.6. AVALIAÇÃO DO MODELO**

Para a avaliação da aplicabilidade do modelo foram inseridos quatro conjuntos de dados disponíveis na literatura, para populações de 10.000, 20.000, 50.000 e 67.000 habitantes, conforme tabela 6.1, do capítulo 6 desta tese. As árvores de decisão geradas em cada um dos quatro casos identificaram os sistemas de menor valor esperado, para vida útil de 20 anos. Em um dos casos, com pequena diferença entre os dois sistemas de menor valor, foram realizadas análises de sensibilidade para identificação das variáveis mais impactantes no custo total, com respectivos diagramas de tornado e diagramas de influência. O capítulo 6 apresenta os resultados dessas análises.

Nos quatro casos avaliados, foram usados os mesmos valores, em dólares, nos itens que compõem os custos, como concreto, ajardinamento, pavimentação e demais.

O modelo ainda não foi testado em situações reais de escolha de sistema de tratamento. Pretende-se fazê-lo numa próxima etapa da pesquisa.

Cabe lembrar que o modelo desenvolvido pode ser enriquecido com diversas outras variáveis, à medida que o avaliador exija uma análise mais refinada, ou disponha de mais dados significativos.

### **3.7. ETAPAS DA PESQUISA**

A pesquisa foi realizada de acordo com as seguintes etapas:

- revisão bibliográfica – por ser um estudo com base tecnológica, foi feita uma busca inicial para se identificar o estado da arte; porém, no decorrer do trabalho, também foram realizadas buscas na literatura para verificar possíveis dados complementares;
- elaboração do roteiro de entrevista – de acordo com as definições e variáveis obtidas na literatura, foi feito um roteiro da entrevista, semi-estruturado, para haver flexibilidade na condução de novas perguntas em função das respostas dos entrevistados;
- pesquisa exploratória – foi feita por meio de entrevistas com profissionais e pesquisadores da área de tratamento de esgoto sanitário, além de material, não bibliográfico, fornecido por eles;
- elaboração do fluxograma do processo de decisão do modelo – para a identificação das etapas que deveriam ser seguidas no desenvolvimento do modelo;
- escolha das variáveis – a partir das variáveis identificadas na bibliografia e na pesquisa exploratória;
- elaboração das planilhas de dimensionamento e estimativa de custo dos sistemas – com base na literatura e informações da pesquisa exploratória;
- elaboração da árvore de decisão – com as estimativas de custo de cada sistema foi elaborada a árvore de decisão;
- avaliação do modelo – foi feita com quatro conjuntos de dados da literatura e posterior análise de sensibilidade do caso com menor diferença entre os dois primeiros colocados, além da elaboração dos respectivos diagramas de tornado e de sensibilidade.

### **3.8. LIMITAÇÕES DA PESQUISA**

Algumas limitações foram encontradas no decorrer do trabalho, como:

- dificuldade em generalizar os cálculos do modelo para populações acima de 100.000 habitantes. Este fato não é grave uma vez que o modelo pode atender à maior parte das cidades brasileiras e cidades acima desse porte muitas vezes necessitam de mais de uma estação, por problemas geográficos ou do assentamento urbano;
- falta de exemplos de cálculos de custo na literatura, que praticamente só apresenta cálculos de dimensionamento;
- falta de dados sobre dimensionamento de sistemas compostos por dois processos distintos (anaeróbico seguido de aeróbico): foram necessárias adaptações no dimensionamento

apresentado na literatura para processos únicos de tratamento. Isso ocorreu principalmente para os sistemas iniciando com lagoa anaeróbia, exceto quando seguida de facultativa;

– grande parte das faixas dos custos de implantação, operação ou área necessária, por habitante, relatadas na literatura, são muito amplas e geralmente para um único processo. Os valores usados no modelo foram adaptações de médias da literatura.

## **4 – PESQUISA EXPLORATÓRIA**

---

#### **4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS PILOTO**

Uma primeira entrevista piloto com um pesquisador do estado de São Paulo, Prof. Dr. José Roberto Campos da Escola de Engenharia de São Carlos-USP, trouxe importantes informações para o início do trabalho.

O Prof. Campos comentou que algumas dificuldades na escolha, implantação, operação e manutenção de estações municipais de tratamento de esgoto estão na falta de informação dos órgãos contratantes, bem como na não realização de estudos por parte dos projetistas, sobre as condições locais do município a ser instalada a estação de tratamento. Muitas vezes a inexistência de terrenos pode prejudicar a localização de estações, desconsiderando-se as análises que indicariam o local mais adequado para sua implantação. Para uma boa conscientização dos governantes e da população é necessário muito trabalho político a ser feito por quem vai projetar a estação. Por esses motivos, o Prof. Campos define que o problema da instalação de estações de tratamento acaba tendo cinco dimensões: técnica, política, ambiental, social e econômica.

Outro problema com a escolha de sistemas, apresentado pelo Prof. Campos, se refere ao custo de implantação contra o custo de operação/manutenção: muitos órgãos tendem a optar por certos tipos de sistemas que lhes serão convenientes para o período imediato, desconsiderando o alto custo de operação/manutenção que deixarão para os próximos mandatos.

Uma seqüência de itens foi definida pelo pesquisador para a implantação de um sistema de tratamento:

- terreno (geralmente não há muitas alternativas);
- solo;
- acesso;
- projeto;
- RAP (Relatório Ambiental Preliminar – CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – SP);
- estrutura de concreto;
- infra-estrutura: água, paisagismo; pavimentação, energia etc.;
- automação, informatização e telefonia;

- equipamentos (depreciação);
- consumo de energia elétrica;
- consumo de produtos químicos;
- empregados;
- manutenção.

Quanto aos dados necessários para se dar início ao projeto de uma estação de tratamento de esgoto sanitário, o pesquisador sugeriu os tópicos, fases ou considerações descritas no item 2.4 do presente trabalho, conforme publicação de sua autoria (CAMPOS, 1994).

As variáveis mais importantes para a caracterização de esgoto sanitário indicados pelo pesquisador foram: variação de vazão, de DQO, de pH, de temperatura, DBO, DQO, nitrogênio, alcalinidade, sólidos, fosfato total, óleos e graxas, metais, taxa de infiltração, coeficiente de máxima vazão horária, coeficiente de esgoto per capita e DBO per capita. Um estudo específico sobre caracterização de esgotos sanitários, indicado por ele, foi o de Hanai (1997). O estudo de Hanai também comprovou a importância de se realizar um levantamento preliminar de dados de esgotos e da área de estudo e propõe um método de caracterização, com técnicas de amostragem.

O tempo de vida útil da estação, segundo o pesquisador, pode ser determinado considerando-se que os equipamentos tenham cerca de 10 anos de vida útil, o concreto cerca de 50 anos, adotando-se geralmente 20 anos para o projeto, ou seja, duas vezes a provável vida útil dos equipamentos. No caso de lagoas, a impermeabilização é um fator relevante por ser muito caro; uma forma de contornar problemas de custo ou validade de produtos industrializados é a utilização de solo-cimento para a impermeabilização das mesmas.

Uma das dificuldades de manutenção de estações é a falta de pessoal com formação para operação de sistemas. O Prof. Campos comentou a importância de se formar tecnólogos na área, o que traria grande benefício, principalmente para municípios com pessoal pouco qualificado. Quanto ao número e qualificação de funcionários por estação, ele informou que deve ser em torno de oito funcionários para pequenas estações, sendo um tecnólogo, quatro guardas e três para trabalhos gerais, podendo variar de acordo com o tipo e tamanho do sistema.

O monitoramento padrão definido pelo Prof. Campos foi: durante a partida, deverá ser feito monitoramento diário; durante o primeiro ano, deverá ser feito monitoramento semanal; após um ano, poderá ser menos rígido.

Quanto aos pontos fortes e fracos de sistemas de tratamento, o Prof. Campos frisou os problemas de alta geração de lodo de estações tipo “lodos ativados”. Uma forma de contornar o problema é a implantação de sistemas mistos: anaeróbio seguido de aeróbio. Essa solução possibilita a degradação de parte considerável de matéria orgânica na unidade anaeróbia, com pouca geração de lodo (porém menos eficiente), e, posteriormente, o restante da matéria orgânica é degradada na unidade aeróbia, que gera grandes quantidades de lodo, porém é mais eficiente. Não só a geração de lodo é fator de distinção entre os sistemas: o custo por habitante de estação anaeróbia é de cerca de R\$ 40,00, contra R\$ 250,00 para estação exclusivamente de lodos ativados e de cerca de R\$ 160,00 para sistemas mistos – UASB e lodos ativados.

Também foram comentados alguns problemas que podem ter os sistemas de lagoas. O seu custo não é tão inferior ao custo de reatores, uma vez que necessita de impermeabilização para impedir a percolação do líquido, o que geralmente não é feito. Outro aspecto negativos são a produção de lodo, odores e metano, nocivo à camada de ozônio.

Outro tipo de tratamento de esgoto sanitário que vem recebendo maior atenção, comentado pelo Prof. Campos, é a utilização de membranas, como já citado no item 2.1 desta tese. Também tem sido ampliado o uso de ultravioleta para a desinfecção de esgoto.

O pesquisador também comentou formas de auxílio financeiro para a instalação de estações nos municípios, como o Fundo Estadual de Recursos Hídricos da Secretaria de Energia (FEHIDRO), Recursos Hídricos e Saneamento do Estado de São Paulo e o programa da ANA – Agência Nacional de Águas para a compra de esgoto tratado em troca de construção de estações de saneamento básico.

Muitas referências bibliográficas sugeridas pelo Prof. Campos foram pesquisadas e inseridas no referencial teórico do presente trabalho, bem como serviram de base para as planilhas de dimensionamento.

Essas informações foram de grande importância no direcionamento do trabalho e na definição das perguntas que fizeram parte das demais entrevistas.

## **4.2. COMPLEMENTAÇÃO DE DADOS DA ENTREVISTA PILOTO**

A segunda coleta de dados com o Prof. José Roberto Campos, foi realizada após desenvolvimento de parte do trabalho, durante a Qualificação.

A Figura 4.1 apresenta um fluxograma proposto por ele, com diversas variáveis que foram usadas na construção do modelo.

A seguir são descritos os itens do fluxograma:

A.1. Definições de cargas diárias média, máxima e mínima: kg DBO/dia, kg N/dia, kg P/dia, coliformes. Definição de vazões e contribuições.

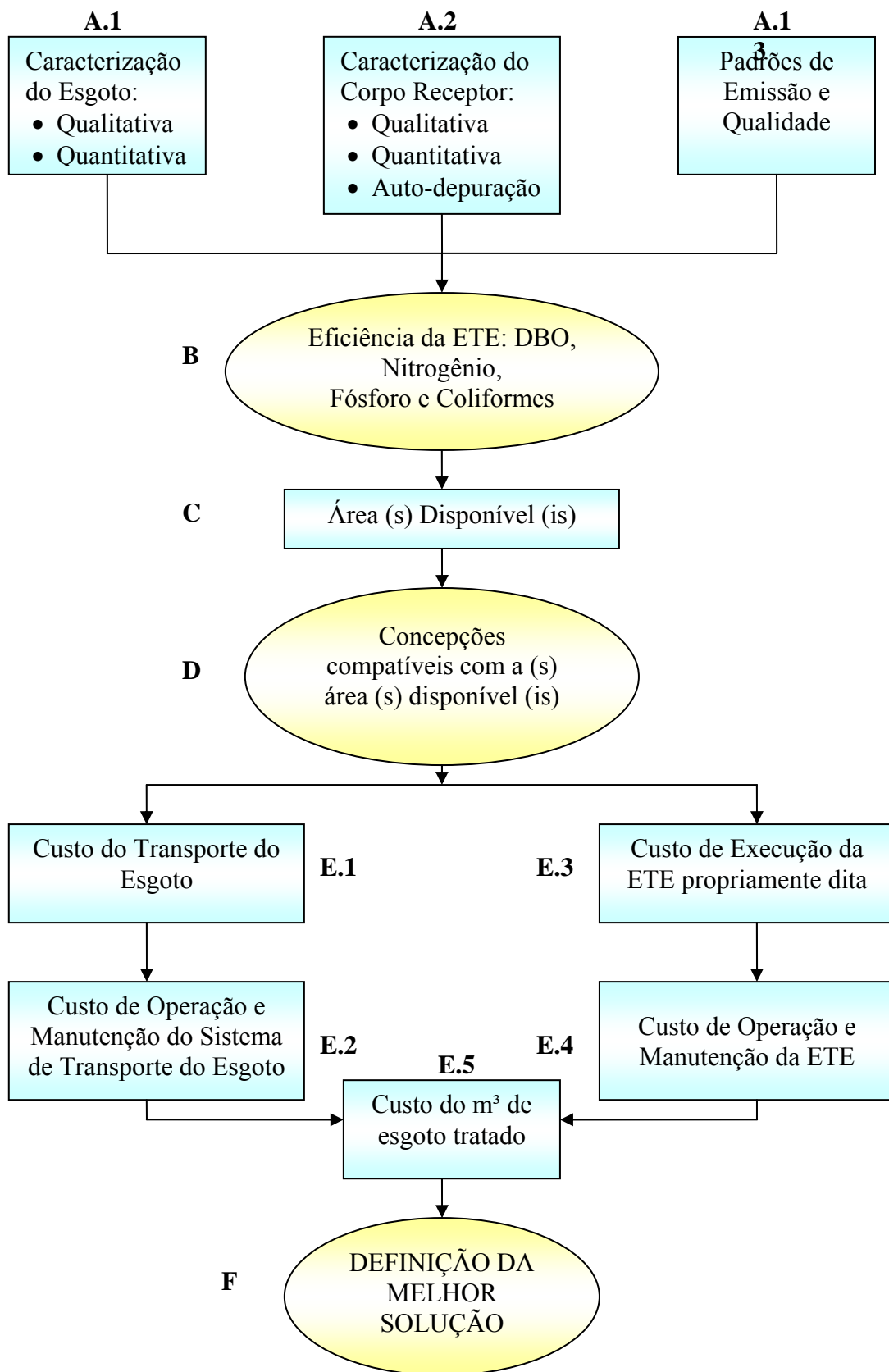
A.2. Caracterização da qualidade da água, medição de vazões máxima, média e mínima e  $Q_{710}$ . Estabelecimento de equações de auto-depuração e conhecimento da bacia hidrográfica e usos da água.

A.3. Padrões de emissão e de qualidade: estabelecimento dos padrões correspondentes ao (s) corpo (s) receptor (es).

B. Com base nos dados do item 1: definir eficiência da ETE, DBO, N, P e coliformes.

C. Definir localização, topografia e tamanho; conhecer uso da terra da circunvizinhança: sondagens, potenciais impactos na região, restrições para implantação etc.

D. Conhecendo-se o tamanho da área e as restrições: alternativas de tratamento viáveis (com compatibilidade com aspectos: ambientais, sociais, políticos e “econômicos”, preliminares).



**Figura 4.1 – Fluxograma de processo de escolha de sistema de tratamento**  
 Fonte: Campos (manuscrito), em 2004

E.1. Para cada área viável: definir custos de transporte de esgoto (abertura e fechamento de valas, canalizações, acessórios (?) etc e elevatórias, se necessário).

E.2. Custos de operação e manutenção do sistema de transporte: energia, depreciação, pessoal, manutenção, reparos etc.

E.3. Definição do custo da ETE:

- Terreno
- Projetos
- Fundações
- Paisagismo
- Drenagem
- Automação
- Instalações elétricas
- Segurança
- Pára-raios
- Redes de água, esgoto, água de serviço
- Concreto
- Impermeabilização
- Edificações
- Equipamentos
- Telefonia/informática
- Vias de circulação
- Área de “cinturão verde”
- Etc.

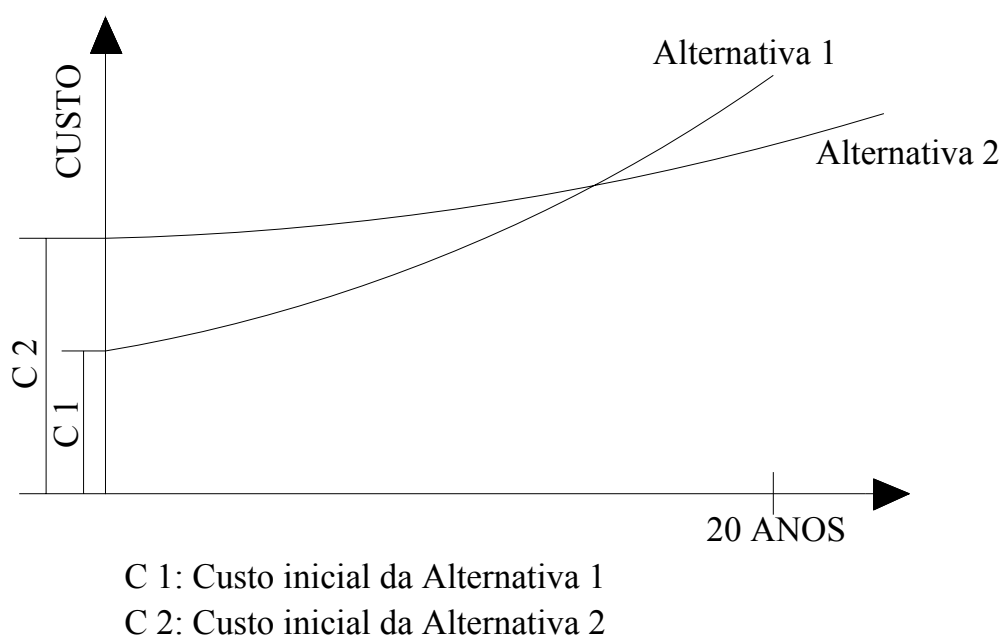
E.4. Custo de operação:

- Energia
- Pessoal
- Adensamento / inertização / afastamento e destino do lodo
- Depreciações
- Manutenção geral

- Afastamento de resíduos (além do lodo): de jardins, gradeamento, areia, resíduos de escritório etc.

E.5. Custo do m<sup>3</sup> tratado envolvendo os valores de 5.2 e 5.4 e custos financeiros

O Prof. Campos complementa que esse estudo deve resultar em um gráfico, como exemplificado na Figura 4.2.



**Figura 4.2 – Exemplo de gráfico comparativo entre duas alternativas de tratamento de esgoto com custos iniciais e finais (após 20 anos)**

Fonte: Campos (manuscrito), em 2004

F. Definição da melhor solução: esse gráfico deve decidir.

### 4.3. COLETA DE DADOS NA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Em julho de 2004 foram realizadas entrevistas com cinco especialistas do Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES), da Agência Nacional de Águas (ANA), do Ministério do Meio Ambiente, em Brasília. Esse programa também é conhecido como "programa de compra de esgoto tratado"; é uma iniciativa inovadora, uma vez que não

financia obras ou equipamentos, paga pelos resultados alcançados, pelo esgoto efetivamente tratado (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2004).

Grande parte das perguntas do roteiro de entrevista não foram elucidadas nessa busca de informações, uma vez que o PRODES só conta com dados de 34 estações. Mas alguns dados relevantes podem ser conferidos no Quadro 4.1.

O primeiro dado é quase todas as estações, exceto uma na Bahia e três no Paraná, estão localizadas na Região Sudeste do Brasil, sendo 24 no Estado de São Paulo.

O segundo fator importante é que muitas estações foram projetadas com combinação de processos e que, de todas as estações, 18 incluem processos anaeróbios no tratamento. Embora a amostra seja restrita, pode-se verificar que, pelo menos em estados mais desenvolvidos do Brasil, já há a aplicação de processos combinados, indicados como ótimas alternativas na literatura.

O terceiro dado é que o processo de Lodos Ativados como sistema único, ainda foi empregado em nove cidades, embora a literatura demonstre seu alto custo de implantação e operação, além de problemas com grande geração de lodo.

Sobre indicadores de nível tecnológico, qualificação da mão-de-obra, nível cultural ou outros, os especialistas da ANA comentaram sobre o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. O IDH é formado basicamente por três componentes: o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*, a longevidade e a educação (PNUD, 2004). Embora não haja outros índices para a avaliação dos municípios, os especialistas da ANA não estavam certos de ser aplicável no modelo de escolha de sistema de tratamento.

**Quadro 4.1 – Relação de cidades e respectivos processos de tratamento contempladas no PRODES**

<b>Cidade</b>	<b>Estado</b>	<b>Processo(s) de tratamento</b>
Muriae	MG	Decanto-digestor + FAnaeróbio
Capivari	SP	FB + Decantador secundário
Itatiba	SP	Filtros Aeróbios Submersos
Vinhedo	SP	L. ativados c/ aeração prolongada + Desinfecção
Biritiba Mirim	SP	LAerada + LD
Hortolândia	SP	LAerada + LD + Desinfecção
São Luiz do Paraitinga	SP	LAerada + LD + Desinfecção
Arujá	SP	LAerada + LD + pós aeração
São José dos Campos	SP	Lodos Ativados
Juiz de Fora	MG	Lodos ativados c/ aeração prolongada
Jacareí	SP	Lodos ativados c/ aeração prolongada
Jacareí	SP	Lodos ativados c/ aeração prolongada
Vota Redonda	RJ	Lodos ativados c/ aeração prolongada
Santa Bárbara D'Oeste	SP	Lodos ativados c/ aeração prolongada
Sorocaba	SP	Lodos Ativados Convencional
Pindamonhangaba	SP	Lodos ativados p/ batelada
Atibaia	SP	Reator Anaeróbio/Aeróbio
Ibaté	SP	Sistema Australiano
Santa Bárbara D'Oeste	SP	Sistema Australiano
Pindamonhangaba	SP	Sistema Australiano
Belo Horizonte	MG	UASB (primeira etapa)
Divinópolis	MG	UASB + FAnaeróbio + Ozonização
Itabira	MG	UASB + FB
Almirante Tamandaré	PR	UASB + Flotação
Piracicaba	SP	UASB + LAerada + Decantadores
Curitiba	PR	UASB + LAnaeróbia
Curitiba	PR	UASB + LAnaeróbia
Campinas	SP	UASB + Lodos ativados
Campinas	SP	UASB + Lodos ativados
Rio Claro	SP	UASB + Lodos ativados
Campinas	SP	UASB + Lodos ativados + Desinfecção
Lençóis	BA	UASB + LF + LM
Valinhos	SP	UASB + Reator aeróbio
Americana	SP	Valo de oxidação

Fonte: Adaptado de dados do PRODES (2004) sobre as 34 cidades do programa (informação verbal)<sup>1</sup> (Obs.: LF: Lagoa Facultativa; LM: Lagoa de maturação; F: Filtro; FB: Filtro Biológico; LAerada: Lagoa Aerada; LD: Lagoa de Decantação)

<sup>1</sup> Informação fornecida por engenheiro do PRODES em Brasília, em 2004.

Outras fontes de informações sugeridas pelos engenheiros da ANA foram o “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2002”, do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), do Ministério das Cidades e a “Pesquisa Nacional de Saneamento Básico” realizada em 2000 pelo IBGE. No entanto, nos dois trabalhos há diversos dados gerais sobre saneamento, grande parte sobre abastecimento de água, mas não contêm dados específicos unitários de estações ou de processos de tratamento.

#### **4.4. INFORMAÇÕES SOBRE USO DE CONCRETO ARMADO EM ESTAÇÕES**

O concreto é sempre indicado na literatura e pelos projetistas como um dos itens de grande impacto no custo de construção de estações, principalmente que utilizam o processo de Lodos Ativados.

Os dados da Tabela 4.1 foram fornecidos por engenheiro da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), com a finalidade de indicar volumes de concreto estrutural usados na construção de unidades de tratamento. Como cada estação possui unidades de tratamento distintas não é possível avaliar quantidades de concreto em função da vazão média. A única observação a ser feita é que, para esse conjunto de estações, independente do processo de tratamento, a relação entre o concreto aplicado nas unidades e a vazão média diminuiu à medida que a vazão foi maior.

Esses dados não foram diretamente usados no desenvolvimento do modelo desta tese, mas são importantes para mostrar a importância desse item no custo e na escolha final do processo de tratamento a ser implantado.

**Tabela 4.1 – Informações sobre volume de concreto e vazões em três estações de tratamento da SABESP**

Descrição da Estação	Vazão Média em Final de Plano	Vazão Máxima em Final de Plano	Concreto estrutural aplicado nas unidades de tratamento	Relação entre concreto e vazão média
	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>
ETE 1: lodos ativados modalidade aeração mecanizada; caixa de areia mecanizada; desidratação do lodo via centrífuga; caixa de contato para desinfecção; escada de aeração	30.240,0	50.976,0	3.545,0	0,0695
ETE 2: lodos ativados modalidade batelada (LAB); caixa de areia limpeza manual; desidratação do lodo via leito de secagem; caixa de contato para desinfecção	860,0	1.127,0	312,5	0,2773
ETE 3: Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente; caixa de areia mecanizada; desidratação do lodo via centrífuga; escada de aeração	17.322,0	27.648,0	2.798,0	0,1012

Fonte: Moreno (2004) com base em dados da SABESP (informação verbal)<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Informação fornecida pelo Eng<sup>o</sup> Moreno da SABESP em São Carlos, SP, em 2004.

## **5 – DESENVOLVIMENTO DO MODELO**

---

## 5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Brasil ainda conta com um índice muito baixo de esgoto tratado, principalmente em municípios com população abaixo de 10.000 habitantes, conforme dados da Tabela 5.1. Deve-se também ressaltar que cerca de 50% das cidades brasileiras têm menos de 10.000 habitantes (Tabela 5.2), o que não as deixa isentas das responsabilidades de tratamento, perante o Comitê de Bacia ao qual pertencem e à legislação ambiental.

**Tabela 5.1 – Esgoto coletado e tratado, segundo classes de tamanho da população no Brasil**

<b>Classes de tamanho da população</b>	<b>Esgoto coletado, volume (m<sup>3</sup>/d)</b>	<b>Esgoto tratado, volume (m<sup>3</sup>/d)</b>	<b>Proporção de esgoto tratado</b>
Até 5.000	599.029	60.875	10,16%
De 5.001 a 10.000	420.843	68.092	16,18%
De 10.001 a 20.000	687.864	174.379	25,35%
De 20.001 a 50.000	2.036.736	422.830	20,76%
De 50.001 a 100.000	1.115.946	404.455	36,24%
De 100.001 a 200.000	1.952.907	580.952	29,75%
De 200.001 a 500.000	2.219.725	740.818	33,37%
De 500.001 a 1.000.000	905.083	259.007	28,62%
Mais de 1.000.000	4.631.946	2.425.763	52,37%

Fonte: IBGE (2000)

**Tabela 5.2 – Distribuição das cidades brasileiras em classes de tamanho da população**

<b>Classes de tamanho da população - 2004</b>	<b>Número de Cidades</b>	<b>% de Cidades</b>	<b>% Acumulada</b>
Até 5.000	1.359	24,44%	24,44%
De 5.001 a 10.000	1.312	23,60%	48,04%
De 10.001 a 20.000	1.317	23,69%	71,73%
De 20.001 a 50.000	1.010	18,17%	89,89%
De 50.001 a 100.000	309	5,56%	95,45%
De 100.001 a 200.000	131	2,36%	97,81%
De 200.001 a 500.000	88	1,58%	99,39%
De 500.001 a 1.000.000	20	0,36%	99,75%
Mais de 1.000.000	14	0,25%	100,00%
<b>Totais</b>	<b>5560</b>	<b>100,00%</b>	

Fonte: dados do IBGE (2004)

Embora a concepção do modelo desenvolvido neste trabalho tenha sido para qualquer faixa de população, é importante destacar que praticamente 90% das cidades brasileiras possuem menos de 50.000 habitantes em 2004 (Tabela 5.2). Dessa forma, o dimensionamento de aeradores, equipamentos de remoção de lodo, distribuidores de líquido para filtro, dentre outros, foi feito para populações de até cerca de 100.000 habitantes. Para os sistemas que não utilizam esses equipamentos, não há maiores restrições para cálculos com populações acima desta. Como o modelo é de fácil alteração, poderão ser feitos ajustes nas faixas de tamanhos ou potência de equipamentos para atender à população de projeto.

Cabe lembrar, ainda, que cidades com mais de 100.000 habitantes, ou até mesmo menores, poderão necessitar de mais de uma estação de tratamento, dependendo da topografia ou disposição da malha urbana. A concentração do tratamento do esgoto em uma única estação pode levar à redução de alguns custos, porém à introdução de gastos com energia e manutenção de sistemas de recalque para as regiões mais baixas. Se for possível a condução do esgoto por gravidade até a estação, poderá ser alcançada uma redução de problemas, como entupimento de bombas, além da própria economia com pessoal, instalações ou energia.

O baixo custo de terrenos em cidades menores pode ser uma fator de relevância na escolha de sistemas que requerem grandes áreas, como o caso de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa. Esse sistema também é interessante para cidades com poucos recursos tecnológicos e financeiros, uma vez que sua operação é relativamente simples e de custo inferior aos demais sistemas.

No entanto, ao se estudar a implantação de sistemas de tratamento de esgotos para cidades de médio e grande porte, começam a ser relevantes os custos do terreno e sua escassez. Para a redução do espaço de tratamento, podem ser utilizadas opções de sistemas otimizados, como reatores ou tanques de aeração e decantadores, os quais poderão necessitar de recursos mais refinados de tecnologia, mão de obra especializada, além de fontes confiáveis de energia e água, para sua implantação, operação e manutenção. Quanto à necessidade de mão de obra especializada, o Prof. José Roberto Campos (2004) comenta que o ideal é se conseguir alguém que realmente se envolva com a estação e se dedique a ela, não importando tanto a sua qualificação, mas experiência, boa vontade e *feeling* (informação pessoal)<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Informação fornecida por Campos em São Carlos, em 2004.

Embora, a princípio, possa parecer que cidades pequenas devam instalar sistemas mais simples de tratamento, enquanto cidades médias e grandes devam utilizar sistemas mais sofisticados, isso não é necessariamente obrigatório, já que cada cidade tem suas próprias características físicas, sociais, culturais e econômicas.

## 5.2. PLANILHAS DO MODELO

Diversas planilhas foram criadas para facilitar a disposição dos dados e do dimensionamento de cada sistema. A distribuição das planilhas foi feita da seguinte forma:

– Planilha “Dados Gerais”: onde são inseridos os dados como população, vida útil, vazões, dentre outros, além de todos os custos unitários dos itens orçados (Apêndice A). As células preenchidas na cor amarelo já estão sendo usadas nos cálculos; as demais foram colocadas para futuro aprimoramento do modelo (Figura 5.1).

	A	B	C	D	E	F
1	<b>Variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Qtd./Valor</b>			
2	Vida útil	anos	20			
3	Número de habitantes atual	hab				
4	Projeção do número de habitantes	hab	200000			
5						
6	<b>Características do Terreno (se disponível)</b>					
7	Dimensões	m <sup>2</sup>				
8	Comprimento (médio)	m				
9	Largura (média)	m				
10	Declividade (média)	%				
11	Distância de aglomerados urbanos	m	600			
12						
13	<b>Demanda média de água</b>	L/hab.d	200			
14	Fator de conversão de água para esgoto (C)	-	0,8			
15						
16	<b>Vazão Estimada = ((CxqáguaxPop.)+I+Qind.</b>	m <sup>3</sup> /dia	<b>32000</b>			
17	C : Fator de conversão da água para esgoto	-	0,8			

**Figura 5.1 – Planilha “Dados Gerais” do modelo, onde o usuário insere dados relativos ao local de implantação da estação**

– Planilhas dos oito sistemas: contêm todos os cálculos dos sistemas A a H e os cálculos dos custos de implantação, manutenção e operação (Apêndices B a I). Cada um dos oito sistemas possui uma planilha geral com o dimensionamento do primeiro processo (anaeróbico), seguido do dimensionamento do segundo processo (aeróbico) e da estimativa dos custos do sistema. Cada planilha geral é formada por diversas pequenas planilhas (sub-planilhas) em seqüência, que efetuam os cálculos a partir das variáveis da planilha “Dados Gerais”, dos parâmetros de cada unidade de tratamento nas planilhas de “Parâmetros” e dos resultados das sub-planilhas anteriores. As oito planilhas dos sistemas de tratamento estão bloqueadas para que o usuário não as modifique. Foi usado o negrito para identificação das células que contêm cálculos.

As sub-planilhas de dimensionamento foram identificadas com a letra referente ao sistema seguida da numeração seqüencial (por exemplo: A13; B16.1). As sub-planilhas de estimativa de custo foram identificadas com a letra do sistema em duplicata e a numeração seqüencial (por exemplo: AA2; HH7). Dessa forma, cada sub-planilha é única e de fácil identificação (Figura 5.2).

– Planilhas dos parâmetros de projeto das seis unidades de tratamento: essas planilhas contêm todos os parâmetros de projeto apresentados no item 2.2 da presente pesquisa. As planilhas de cada um dos oito sistemas estão interligadas aos dados das planilhas de parâmetros das unidades de tratamento que contêm.

	A	B	C	D	E
1	<b>Sistema A: Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de Lodos Ativados</b>				
2	<b>Planilhas de Cálculo: UASB (Adaptado de CHERNICHARO, 1997, p.189-194))</b>				
3	<b>A1) Cálculo da carga afluyente média de DQO (<math>L_0</math>)</b>	<b>Unidade</b>	<b>Qtd./Valor</b>		
4	$L_0 = S_0 \times Q_{méd}$	kg DQO/d	850		
5	$S_0$ DQO (DQO afluyente)	kg/m <sup>3</sup>	0,58		
6	$Q_{méd}$	m <sup>3</sup> /d	1478		
7					
8	<b>A2) Tempo de detenção hidráulica</b>	<b>Unidade</b>	<b>Qtd./Valor</b>		
9	TDH	h	8		
10	T	°C	23		
11					
12	<b>A3) Volume total do reator</b>	<b>Unidade</b>	<b>Qtd./Valor</b>		
13	$V = Q_{méd} \times TDH$	m <sup>3</sup>	492,67		
14	$Q_{méd}$	m <sup>3</sup> /h	61,58		
15	TDH	h	8		
16					
17	<b>A4) Número de módulos de reatores</b>	<b>Unidade</b>	<b>Qtd./Valor</b>		

**Figura 5.2 – Planilha do Sistema A - Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de Lodos Ativados – com as sub-planilhas de cálculo**

– Planilha “Alertas”: resumo dos alertas de cada sistema quanto a algum parâmetro ou dado que necessita correção (Apêndice J). Nessa planilha aparecem os problemas identificados automaticamente pelo modelo, como concentração efluente de DBO acima da recomendada, potência de equipamentos fora das faixas inseridas no modelo ou distância de áreas urbanas inferior a 500 m (Figura 5.3). Quando forem identificados problemas por meio dessa planilha, o usuário deverá posicionar o cursor na célula da “Condição” e, após clicar o botão do *mouse*, aparecerá a sub-planilha onde foi identificado o problema. Todos os alertas podem ser vistos no Apêndice J ou nas próprias planilhas dos sistemas.

Resumo de Alertas dos Sistemas		C	D	E	F
<b>Sistema A</b>		<b>Condição</b>			
A10.1) Velocidade superficial para Qméd	Adequado				
A10.2) Velocidade superficial para Qmáx	Inadequado				
A19.10) Ajuste da potência para um valor comercial	Adotar mais aeradores				
A21.5) Produção per capita de lodo, expresso como matéria seca	Adequado				
A21.9) Produção per capita de lodo a ser disposto	Adequado				
A23) Avaliação da Concentração de DBO Efluente	Adequado				
<b>Sistema B</b>					
B10.1) Velocidade superficial para Qméd	Adequado				
B10.2) Velocidade superficial para Qmáx	Inadequado				
B22) Carga de Remoção Superficial	Adequado				
B27) Avaliação da Concentração de DBO Efluente	Adequado				

**Figura 5.3 – Planilha “Alertas”, com o resumo dos alertas de todos os sistemas**

– Planilha “Árvore de Decisão”: contém a árvore final com as alternativas e sua classificação. As células contendo os totais dos custos de cada um dos oito sistemas estudados são transferidas para a árvore de decisão, a qual indica o sistema com menor custo de cada ramo e o de menor custo global.

### 5.3. PLANILHA DE INSERÇÃO DE DADOS

Na planilha “Dados Gerais” deverão ser inseridos ou poderão ser modificados pelo próprio usuário, diversos dados, como segue:

– vida útil: embora a maior parte dos sistemas apresentados na literatura sejam projetados para 20 anos, o usuário poderá alterar esse dado. Ao se projetar estações de tratamento pode-se definir módulos a serem instalados por etapas, por exemplo, para atender aos próximos dez anos e uma segunda etapa para atender a demanda dos outros dez anos. Isso pode trazer

redução considerável de custos. No entanto, como o modelo foi desenvolvido para avaliar alternativas e não definir o sistema final, admitiu-se uma etapa única de implantação;

- população: o modelo não calcula a população estimada para a cidade a ser implantada a estação, uma vez que não há constância nos índices de crescimento populacional. Assim, o provável número de habitantes a ser atendido pela estação deverá ser pesquisado e definido pelo usuário;

- características do terreno: caso já houver um terreno pré-definido para a implantação do sistema de tratamento, o usuário deverá inserir a sua dimensão e a provável distância desse em relação a áreas urbanizadas. Caso a área do terreno não seja suficiente para algum dos oito sistemas, ou sua distância de áreas residenciais seja inferior a 500 m, o modelo excluirá a(s) alternativa(s). Nesse item foram deixadas células onde poderão ser inseridos outros dados sobre o terreno, à medida que o modelo for refinado e puder utilizá-los;

- os itens “demanda média de água”, “vazão estimada” e “características aproximadas do esgoto sanitário” foram inseridos para o caso de não haver definição real das características do esgoto sanitário do local em estudo. Nessa situação, o modelo buscará as células desses dados para executar os cálculos;

- vazões: o usuário deverá inserir os dados de vazão média e máxima, em m<sup>3</sup> por dia, ou utilizar os dados que o modelo sugere nos itens anteriores;

- cargas no esgoto bruto: o modelo calcula automaticamente as cargas de DQO, DBO, sólidos suspensos (SS) e Nitrogênio total Kjeldahl (NTK), em kg/d, em função das concentrações médias diárias por habitante apresentadas na literatura (CHERNICHARO et al., 2001);

- concentrações no esgoto bruto: o usuário deverá inserir os dados das concentrações de DQO, DBO, SS e NTK de esgoto bruto, em mg/L;

- temperatura: é importante inserir esse dado com certa precisão, uma vez que sistemas biológicos têm desempenhos diferentes em temperaturas distintas, determinando o dimensionamento das unidades de tratamento. Os sistemas foram calculados em função da temperatura média do líquido. Na planilha, poderá ser inserida a temperatura média do ar no dia mais frio ou a temperatura do líquido na mesma condição. Caso o usuário não tiver o segundo dado, ele poderá inserir a temperatura do ar e digitar a correção calculada pelo modelo na célula abaixo do cálculo, na mesma planilha;

- condições do rio receptor: o modelo não estima a autodepuração do rio receptor. Então, foram estabelecidas as condições mínimas da concentração de DBO do efluente final para

garantir a qualidade do rio receptor, de acordo com as determinações da Resolução CONAMA 20 de 1986 (ANEXO A) e Portaria nº. 518, de 25 de março de 2004 (ANEXO B). O usuário deverá apenas inserir a Classe do rio receptor do efluente da estação e o modelo indicará a concentração máxima de DBO solúvel aceitável;

- custo do terreno: o usuário deverá indicar o valor estimado em dólares do metro quadrado do terreno e dasapropriação, quando houver;
- custos de construção: esses dados comporão os custos das obras de engenharia dos sistemas. Esses valores poderão sofrer grandes alteração em função da região do Brasil onde será construída a estação. Grande parte dos valores usados para os testes do modelo são para o Estado de São Paulo, com base em planilhas do órgão central de obras da Universidade de São Paulo. Esses valores contemplam mão-de-obra e material e já estão com bonificação de despesas indiretas (BDI) de 30%, percentagem usada para obras prediais em geral. O usuário poderá inserir custos locais para obter resultado mais preciso;
- aeradores de alta rotação: os preços foram fornecidos, a título de pré-orçamento, por empresa de equipamentos para saneamento da cidade de São Paulo. Os valores da planilha já estão com 30% de BDI;
- removedor de lodo para decantador: preços fornecidos pela mesma empresa do item anterior;
- dispositivo de distribuição para filtro: média de preços de diversas empresas;
- taxas de juros e depreciação: deverá ser usada a taxa de juros local; para realização dos cálculos, utilizou-se a taxa de juros anual do exemplo apresentado por Von Sperling (1996), de 11%. A taxa de 6% para depreciação anual dos equipamentos foi sugerida pelo Prof. Campos;
- custos médios diversos: esses valores foram sugeridos pelo Prof. Campos, em função de sua experiência com estimativa de custos de estações.

#### **5.4. PLANILHAS DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO**

Os sistemas de tratamento utilizados para a composição do modelo foram sugeridos por Campos et al. (1997), combinando tratamento inicial anaeróbio seguido de aeróbio, e vão ao encontro dos resultados das pesquisas apresentadas no Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB – Edital 2 (CHERNICHARO et al., 2001). É importante salientar que para

o modelo inicial foram inseridos oito tipos de sistemas (Quadro 5.1), mas não há limitação quanto a esse número, devendo ser atualizada a árvore de decisão ao se inserir novos sistemas.

**Quadro 5.1 – Sistemas e unidades de tratamento usados no modelo**

<b>Sistemas do Modelo</b>	<b>Unidades de Composição dos Sistemas</b>	
	<b>Unidade Anaeróbia (1º. Processo)</b>	<b>Unidade Aeróbia (2º. Processo)</b>
Sistema A	Reator Anaeróbio de Manta de Lodo UASB	Lodos Ativados (Convencional)
Sistema B	Reator Anaeróbio de Manta de Lodo UASB	Lagoa Facultativa
Sistema C	Reator Anaeróbio de Manta de Lodo UASB	Filtro Biológico Percolador de Alta Taxa
Sistema D	Reator Anaeróbio de Manta de Lodo UASB	Lagoa Aerada de Mistura Completa seguida de Lagoa de Decantação
Sistema E	Lagoa Anaeróbia	Lodos Ativados (Convencional)
Sistema F	Lagoa Anaeróbia	Lagoa Facultativa
Sistema G	Lagoa Anaeróbia	Filtro Biológico Percolador de Alta Taxa
Sistema H	Lagoa Anaeróbia	Lagoa Aerada de Mistura Completa seguida de Lagoa de Decantação

Os itens a seguir contêm a descrição de como foram montadas as planilhas e sub-planilhas de cada sistema, com o respectivo esquema ilustrativo da estação. O modelo não faz pré-dimensionamento do tratamento preliminar, etapa descrita no item 2.1 do presente trabalho, uma vez que não há grande variação deste para os diferentes sistemas do modelo. No entanto, ele consta nas ilustrações e nas estimativas de custo de cada sistema, para que o custo total final seja o mais real possível.

A literatura usada para montagem das planilhas de dimensionamento foi em grande parte brasileira, embora muitos dados originais dessas obras pertençam a autores estrangeiros. Dessa forma, muitas informações estão adequadas às condições climáticas ou à realidade brasileira. Para a generalização de alguns passos do processo de dimensionamento de alguns autores, foi necessário inserir procedimentos de cálculo propostos por Metcalf e Eddy (1991).

As planilhas de cálculo da estimativa de custo dos oito sistemas foram compostas por 21 itens propostos por Campos (informação verbal)<sup>4</sup>. Em todos os sistemas foram usados os mesmos itens para possibilitar diversas análises. Na composição dos custos houve a preocupação de se construir estações de tratamento com qualidade ambiental e paisagística, a fim de criar uma área agradável e de baixo impacto ambiental. Nesse intuito, todas as lagoas são impermeabilizadas para reduzir a percolação de poluentes no solo; o efluente final é clorado e desclorado para evitar contaminação do rio receptor; todas as áreas livres foram gramadas e ajardinadas; a pavimentação das vias é de blocos de concreto sobre cama de areia para permitir uma cota de drenagem natural das águas pluviais; há coleta de águas pluviais; foi previsto um cinturão verde de 10 metros de largura ao redor do terreno da estação, bem como instalação de equipamentos de coleta e queima de gás gerado nos reatores anaeróbios (metano) e equipamento para desaguamento do lodo.

As planilhas de composição de custos de obras foram desenvolvidas de acordo com orçamentos para obras prediais, pavimentação e tratamento paisagístico de entornos<sup>5</sup>. A composição dos 21 itens pode ser vista em detalhes nos Apêndices B a J, para cada sistema do modelo. A seguir são apresentados os itens de forma resumida:

- Terreno: o cálculo do custo do terreno é feito com base na estimativa de área necessária por habitante, apresentada na literatura, e pelo preço do m<sup>2</sup> de terreno inserido na planilha “Dados Gerais”;
- Escavações e Limpeza do Terreno: o volume de escavações é calculado a partir do volume de lagoas ou tanques enterrados, acrescido de 10% para prováveis erros. A limpeza do terreno é calculada em função da área definida no item anterior. Os preços desses dois itens constam na planilha “Dados Gerais”;
- Valor de Projetos (5% valor obra): o valor estimado da obra é calculado em função do custo de implantação do sistema por habitante, com base na literatura. A porcentagem de 5% do valor da obra é de uso comum para cálculo de valor de projetos de engenharia;
- Tratamento Preliminar: como o modelo não faz pré-dimensionamento dessa fase do tratamento, o valor é calculado em função do custo unitário por habitante;
- Fundações (20% concreto armado): o valor das fundações foi estimado no custo de 20% do volume de concreto usado na construção dos tanques ou reatores;

---

<sup>4</sup> Informação fornecida por Campos em São Carlos, em 2004.

<sup>5</sup> Experiência profissional da autora (12 anos) em projetos e orçamentos de obras públicas e privadas.

- Paisagismo: foi adotado um percentual de 30% do terreno a receber tratamento paisagístico;
- Drenagem: o cálculo do metro de tubulação com bocas de lobo foi feito em função da área pavimentada e da provável largura da pista;
- Instalações Elétricas: o custo das instalações elétricas dos equipamentos foi calculado em função da potência instalada. Nos sistemas em que não há utilização de equipamentos elétricos, esse item não se aplica;
- Segurança: nesse item foram incluídos guarda-corpo ao redor de tanques e reatores, cerca em todo o perímetro da estação e sistema de câmeras e alarme. Os cálculos do guarda-corpo e da cerca de fechamento foram feitos em função do perímetro estimado dos tanques e do terreno;
- Pára-raios: o cálculo desse item foi feito em função do custo estimado por habitante;
- Redes de água, esgoto, água de serviço: inclui irrigação e componentes das redes de água e esgoto para atender à estação. O custo da irrigação foi estimado em função da população. O custo das redes hidráulicas seguiu o padrão usado para estimativa de instalações hidráulicas prediais, ou seja, 2,5% do valor da obra;
- Concreto Armado: inclui a estimativa do volume de concreto dos tanques e reatores, em função do perímetro e altura dos mesmos;
- Impermeabilização: todos os tanques, reatores e lagoas deverão ser impermeabilizados. A estimativa da área de impermeabilização foi feita em função das áreas e alturas dos mesmos;
- Edificações: foram definidas algumas áreas de apoio à estação que poderão ser modificadas de acordo com a necessidade;
- Equipamentos: esse item inclui equipamentos como aeradores, coletores e queimadores de gás, raspadores de decantador, distribuidores de fundo para UASB, distribuidores para filtros, dentre outros. Grande parte dos custos é calculado por unidade de equipamento;
- Telefonia/informática para automação: o cálculo foi realizado em função da população;
- Vias de circulação: inclui pavimentação, guias e sarjetas. A área de pavimentação foi estimada em 15% da área total do terreno e a metragem de guias e sarjetas, em função da largura da pista;
- Área de “cinturão verde”: foi estipulada uma faixa de dez metros de cinturão verde ao redor de todo o terreno da estação;
- Desinfecção: custo de cloração e descloração em função da população;

- Estimativa do Custo de Operação pela literatura: os custos de operação anuais por habitante de alguns sistemas, principalmente com primeiro processo com UASB, já constam na literatura, bem como de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa. Para os demais, foi feita uma estimativa em função de sistemas semelhantes. Esses custos foram estimados com taxa de juros anual de 11%, tempo de vida útil da estação de 20 anos e trazidos ao valor presente. Tanto a taxa de juros, quanto a vida útil do sistema podem ser alterados pelo usuário;
- Depreciação de equipamentos: foi estipulada uma taxa de 6% para depreciação anual de equipamentos, no período de vida útil de 20 anos e o custo total foi trazido ao valor presente.

A seguir, são apresentados os oito sistemas de tratamento do modelo, com os respectivos fluxogramas das unidades que os compõem e descrição dos cálculos de dimensionamento. Em todos os sistemas o afluente do segundo processo (aeróbio) é o efluente do primeiro (anaeróbio). Todos os parâmetros usados no dimensionamento dos dois processos constam no item 2.2 desta tese e nas planilhas “Parâmetros” de cada um dos seis processos.

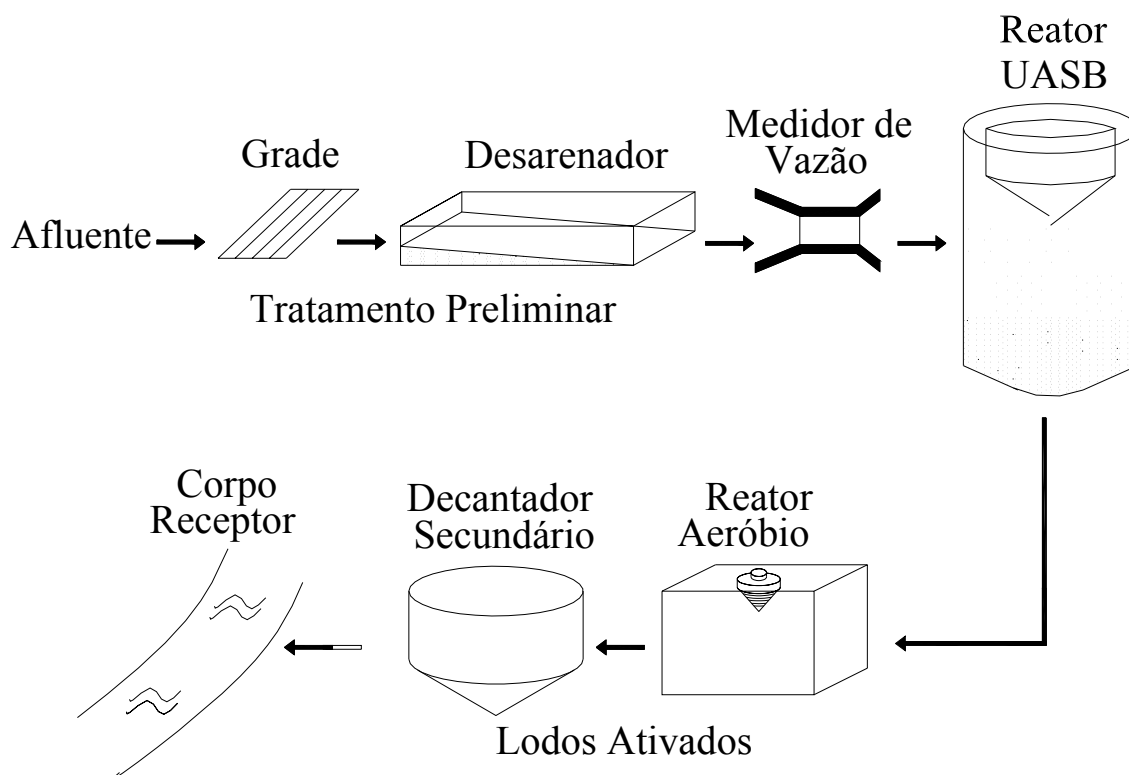
A área do terreno é um fator limitante e deve ser preenchida no item “Dimensões”, em “Características do Terreno” da planilha “Dados Gerais”. Caso algum sistema indique um terreno de área superior à área do terreno existente, automaticamente o custo desse sistema será multiplicado por um fator para eliminá-lo das melhores alternativas.

#### **5.4.1. Sistema A – Reator Anaeróbio de Manta De Lodo (UASB) seguido de Lodos Ativados**

A combinação de reator tipo UASB seguido de lodos ativados é uma alternativa com diversas vantagens, como redução de área, efluente de ótima qualidade, não há necessidade de decantador primário e o lodo aeróbio é retornado ao reator UASB para digestão (CHERNICHARO et al., 2001). A Figura 5.5 mostra o fluxograma desse sistema.

As planilhas de dimensionamento do reator UASB foram montadas a partir do exemplo proposto por Chernicharo (1997, p.189-194). Para o dimensionamento dos lodos ativados, utilizou-se o exemplo de cálculo específico para pós-tratamento de reator UASB (CHERNICHARO et al., 2001, p.322-329). A planilha completa para um exemplo de população de 20.000 habitantes pode ser vista no Apêndice B.

O ajuste da potência dos aeradores para um valor comercial, item A19.10 da planilha, foi feito com base em Von Sperling (1997, p.128), para as potências 5, 7,5, 10, 20 e 25 cv. Após o cálculo da potência total necessária para aeração, o modelo escolhe automaticamente a potência comercial para cada aerador. Caso o número inicial de aeradores não seja suficiente para toda a potência total necessária, o modelo indica “Aumentar número de aeradores”.

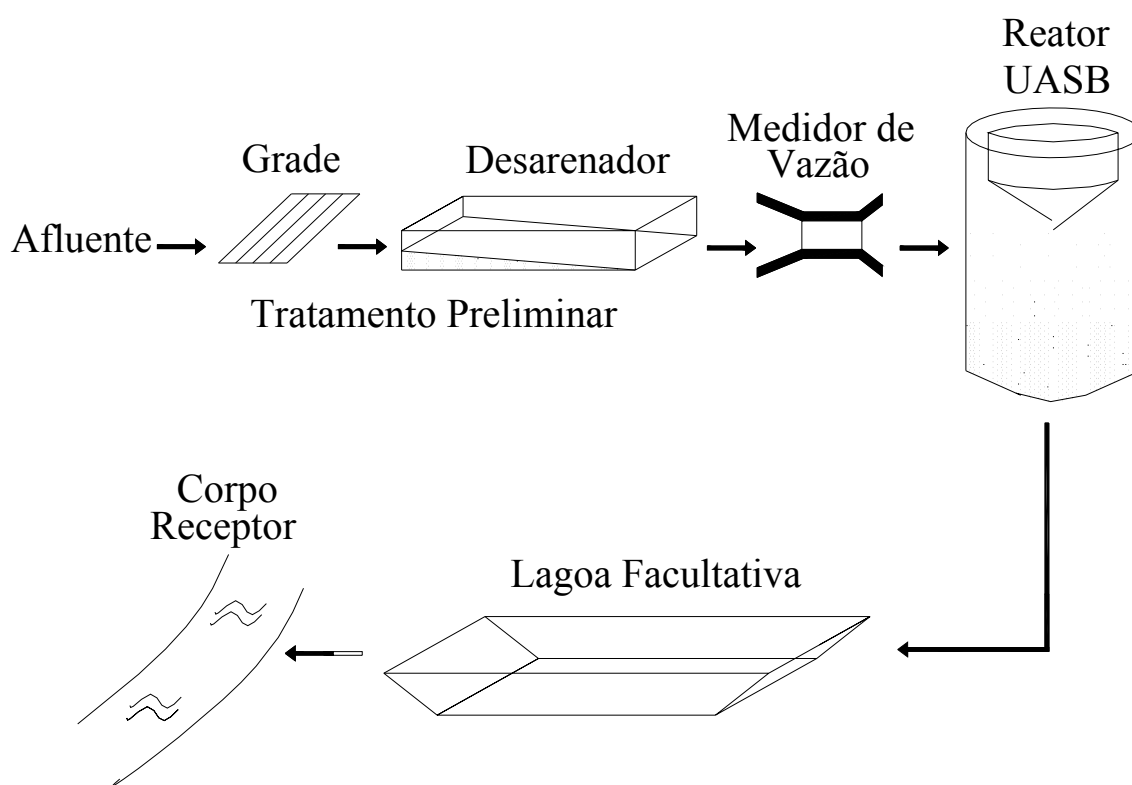


**Figura 5.5 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de Lodos Ativados – Sistema A**

Em termos financeiros, esse sistema tem a vantagem de custar cerca de 80% de uma estação de tratamento convencional, já que há redução de custos de implantação e de operação, pela diminuição do consumo de energia elétrica (CAMPOS et al, 1999).

#### 5.4.2. Sistema B – Reator Anaeróbio de Manta De Lodo (UASB) seguido de Lagoa Facultativa

Algumas vantagens em se combinar um reator UASB com lagoa facultativa são a boa qualidade do efluente final, facilidade de operação e não há consumo de energia nos processos de degradação. No entanto, esse sistema necessita de áreas maiores e o tempo de detenção hidráulica pode chegar até cerca de 12 dias. Esse sistema pode ser visto no fluxograma da figura 5.6.



**Figura 5.6 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de Lagoa Facultativa – Sistema B**

O dimensionamento do reator UASB do Sistema B usou as mesmas planilhas do Sistema A. Para o dimensionamento da lagoa facultativa foram utilizadas duas fontes de informações. A seqüência de cálculos baseou-se em anotações de aula (informação verbal)<sup>6</sup> de Campos (1999). O ajuste da temperatura média do líquido em relação à temperatura média do dia mais

<sup>6</sup> Informação fornecida por Prof. José Roberto Campos em disciplina ministrada na Escola de Engenharia de São Carlos, em 1999.

frio, bem como parâmetros já apresentados no item 2.2 deste trabalho, foram adaptados de Von Sperling (1986). A planilha completa para um exemplo de população de 20.000 habitantes pode ser vista no Apêndice C.

#### **5.4.3. Sistema C – Reator Anaeróbio de Manta De Lodo (UASB) seguido de Filtro Biológico Percolador de Alta Taxa**

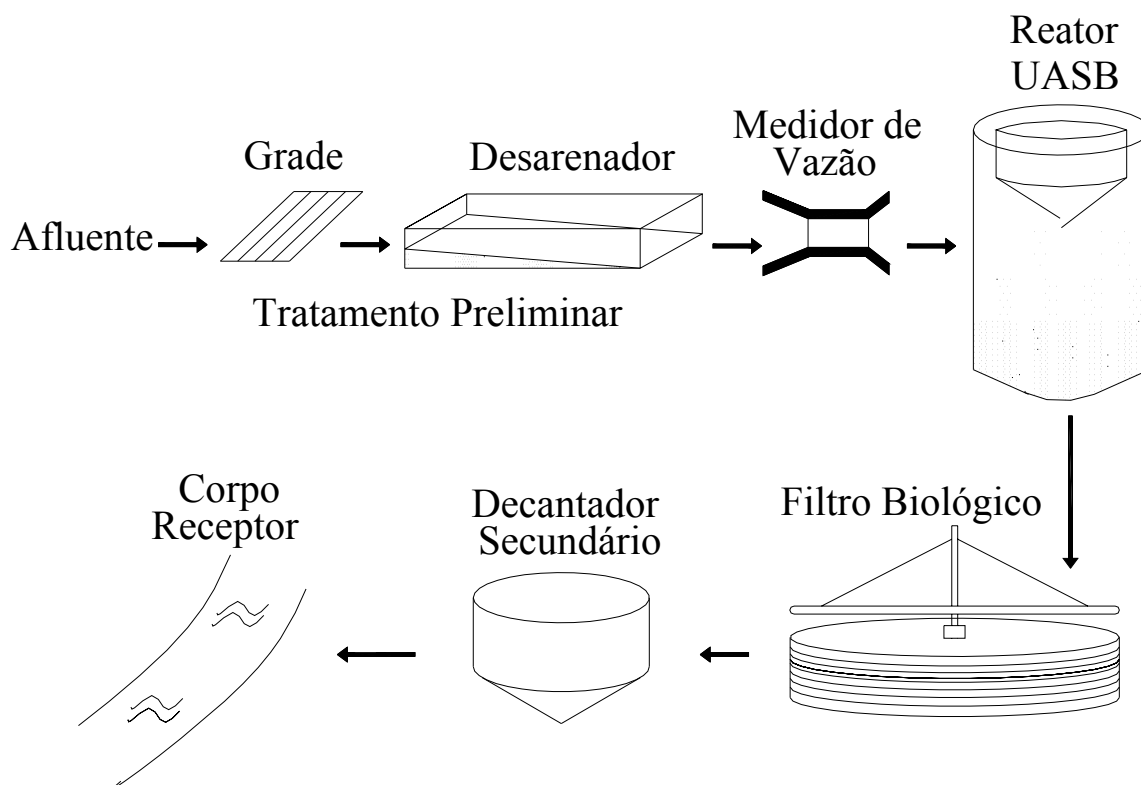
As duas maiores vantagens dos filtros biológicos percoladores são o baixo custo operacional e a simplicidade (CHERNICHARO et al., 2001). Mesmo assim, os autores comentam que esse sistema ainda é pouco utilizado no Brasil.

Associado a um reator UASB, o filtro deverá receber uma concentração razoavelmente baixa de DBO, porquanto não foi estabelecida recirculação do líquido. O filtro escolhido para o modelo foi o filtro biológico percolador de alta taxa, em função do exemplo de cálculo apresentado por Chernicharo et al. (2001, p.198-199), usado na planilha de dimensionamento. Esse tipo de filtro requer uma área menor que os filtros comuns.

A Figura 5.7 apresenta o fluxograma do Sistema C. A remoção do sólidos é feita no decantador instalado após o filtro.

O dimensionamento do reator anaeróbio UASB seguiu novamente os cálculos do Sistema A. As planilhas completas com o Sistema C, para uma população de 20.000 habitantes, podem ser vistas no Apêndice D.

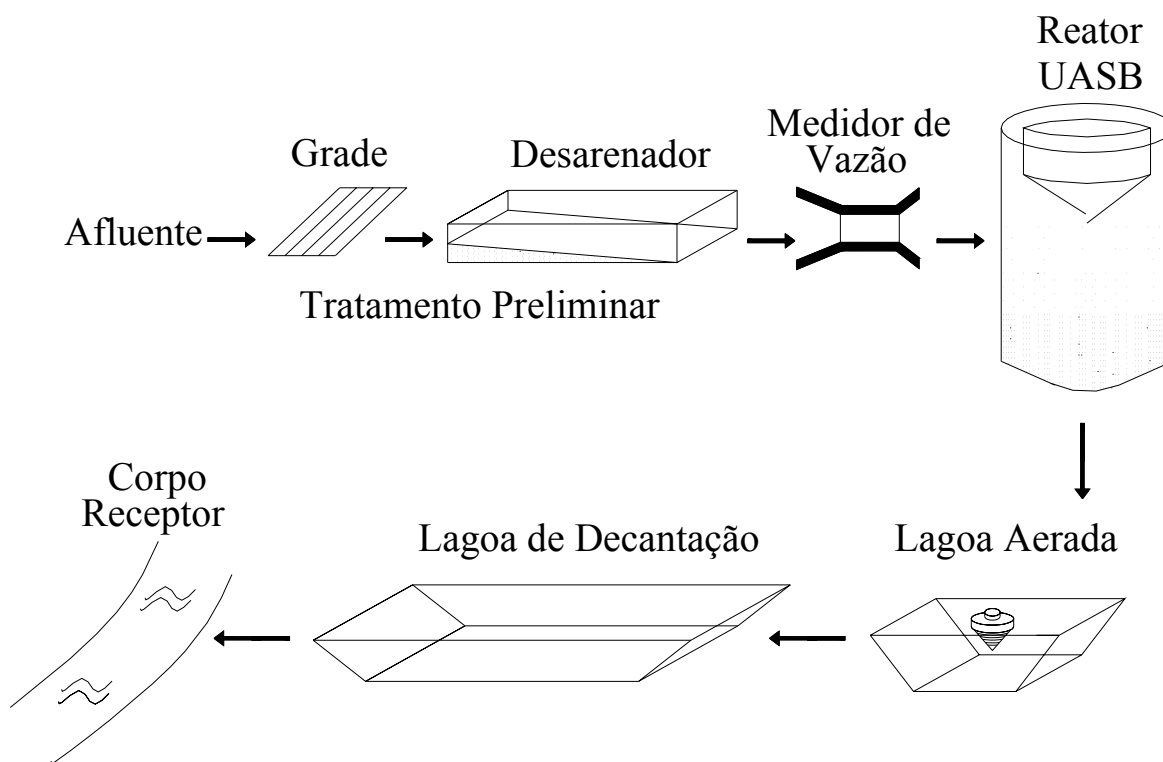
Como o filtro biológico e o decantador necessitam de equipamentos de distribuição e raspagem, respectivamente, foi preciso definir o diâmetro máximo para esses dois compartimentos, para que não inviabilize a construção desses equipamentos.



**Figura 5.7 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de Filtro Biológico Percolador – Sistema C**

#### **5.4.4. Sistema D – Reator Anaeróbio de Manta De Lodo (UASB) seguido se Lagoa Aerada e Lagoa de Decantação**

Esse sistema possui algumas semelhanças do Sistema A (UASB e lodos ativados), porém com redução do consumo de concreto. O efluente final esperado é de baixa concentração de DBO. A Figura 5.8 mostra o fluxograma desse sistema.



**Figura 5.8 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) seguido de Lagoa Aerada e Lagoa de Sedimentação – Sistema D**

A planilha de dimensionamento para o UASB acompanhou a dos demais sistemas anteriormente citados. Os cálculos das lagoas aerada e de decantação foram elaborados a partir do exemplo apresentado por Von Sperling (1986, p.97-103), para lagoa aerada de mistura completa. As planilhas desse sistema, para uma população de 20.000 habitantes, estão no Apêndice E.

Foi necessária uma alteração na seqüência de cálculos sugerida por Von Sperling (1986) para que o modelo efetuasse o dimensionamento automaticamente, sem a intervenção de um especialista. Isso foi feito na sub-planilha D16.5, para a estimativa da DBO solúvel efluente. Nesta estimativa, Von Sperling adota uma estimativa inicial de DBO para determinar a concentração de sólidos suspensos voláteis ( $X_v$ ) e, então, a partir deste  $X_v$  determinar a concentração de DBO solúvel. No modelo, adotou-se o cálculo para estimativa de DBO solúvel proposto por Metcalf e Eddy (1991, pg. 608-609), a partir da constante de remoção  $K_{20}$  de  $2,5 \text{ d}^{-1}$ , para temperatura de  $20^\circ\text{C}$ . Após esse ajuste, os demais passos seguiram o dimensionamento de Von Sperling (1986).

Alguns pontos importantes devem ser ressaltados para esse sistema. Como há uma remoção significativa de matéria orgânica no reator UASB, o afluente da lagoa aerada possui uma concentração baixa de DBO. Após o tratamento na lagoa aerada, onde é reduzida a concentração de DBO solúvel, a parcela de DBO particulada do líquido é baixa, o que poderia até eliminar o tratamento na lagoa de decantação. Por medida de segurança, foi mantido o dimensionamento da lagoa de decantação e computado nos custos totais do sistema.

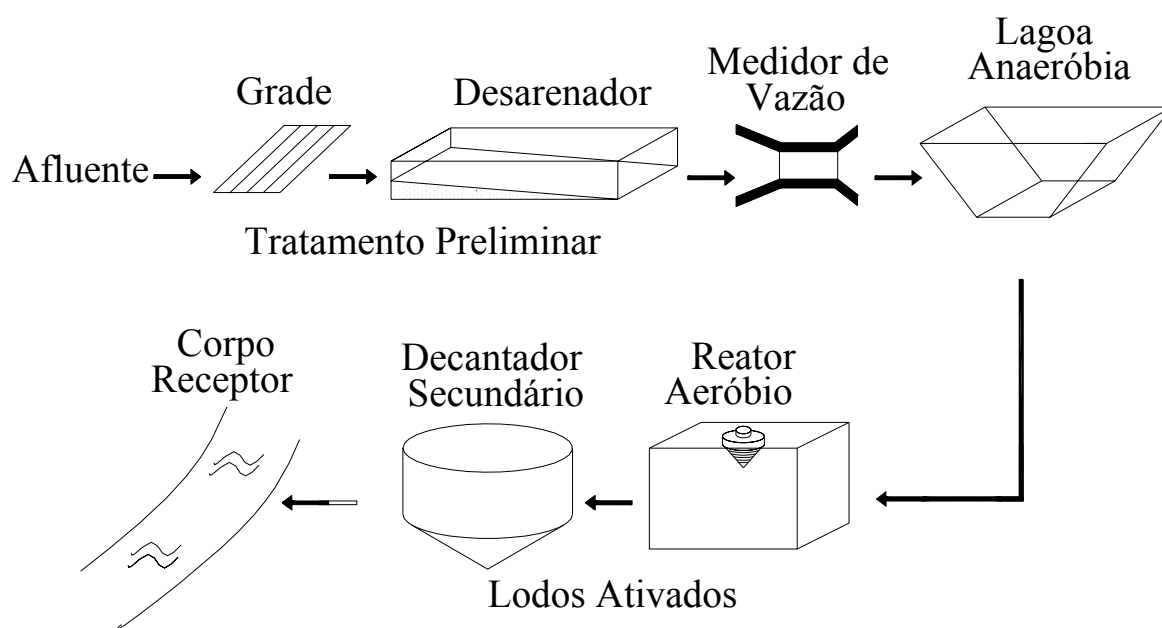
Outro ponto a ser observado é o fato dos aeradores serem dimensionados para garantir tanto a oxigenação, quanto o regime de mistura completa na lagoa de aeração. No modelo, foram definidos os dois cálculos (sub-planilhas D16.12 e D16.13), como sugerido por Von Sperling, mas prevalece o dimensionamento dos aeradores para manter a mistura completa, já que sua exigência de potência é maior. Sendo assim, poderia ser eliminado esse passo, utilizando-se diretamente a potência para garantir mistura completa. Da mesma forma que nos lodos ativados do Sistema A, é feito automaticamente o ajuste da potência necessária para a potência comercial dos aeradores.

A área *per capita* desse sistema apresentada por Chernicharo et al. (2001) e usada no cálculo da área total requerida é de cerca de 0,25 metros quadrados. No entanto, os mesmos autores comentam que essa seqüência de processos no nordeste brasileiro poderia ocupar apenas 0,05 m<sup>2</sup> por habitante. Isso indica que, além das vantagens já apresentadas, esse sistema pode ser uma boa alternativa para regiões quentes e com restrições de área.

#### **5.4.5. Sistema E – Lagoa Anaeróbia seguida de Lodos Ativados**

A utilização de lagoa anaeróbia como processo inicial de tratamento de esgotos é vantajosa pela simplicidade, redução de custos com concreto e remoção de carga significativa de matéria orgânica. Entretanto, necessitam de área maior que reatores UASB, pode haver ocorrência de maus odores, além da emissão de metano para a atmosfera.

O fluxograma do Sistema E está representado na Figura 5.9. Igualmente ao Sistema A, não há necessidade de decantador primário e o lodo aeróbio volta à lagoa anaeróbia para ser digerido.



**Figura 5.9 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Lagoa Anaeróbia seguida de Lodos Ativados – Sistema E**

As dimensões dos tanques de aeração e decantadores de um sistema de pós-tratamento de lagoas anaeróbias são inferiores às de um sistema de lodos ativados como único tratamento. Porém, podem ser ainda menores no caso de pós-tratamento de reatores UASB.

A planilha de dimensionamento da lagoa anaeróbia utilizou dados de três diferentes fontes. A seqüência de cálculos baseou-se em anotações de aula (informação verbal)<sup>7</sup> de Campos (1999), complementadas por parâmetros apresentados por Von Sperling (1986, p. 69-74) e Campos et al. (1999, p. 101-116). No caso de já haver terreno para a lagoa, a seqüência de passos do cálculo é simples e foi adotada a eficiência de remoção de 50%.

As planilhas dos Sistemas E a H, com lagoa anaeróbia, iniciam com o item “Distância de aglomerados urbanos”. Caso já exista um terreno para implantação e a distância deste seja menor que 500 metros de áreas urbanas, o modelo identifica o sistema como “inadequado” e, automaticamente, elimina as alternativas com lagoa anaeróbia, multiplicando o custo final por um fator que o torna extremamente alto. Caso o usuário queira manter as opções de sistemas

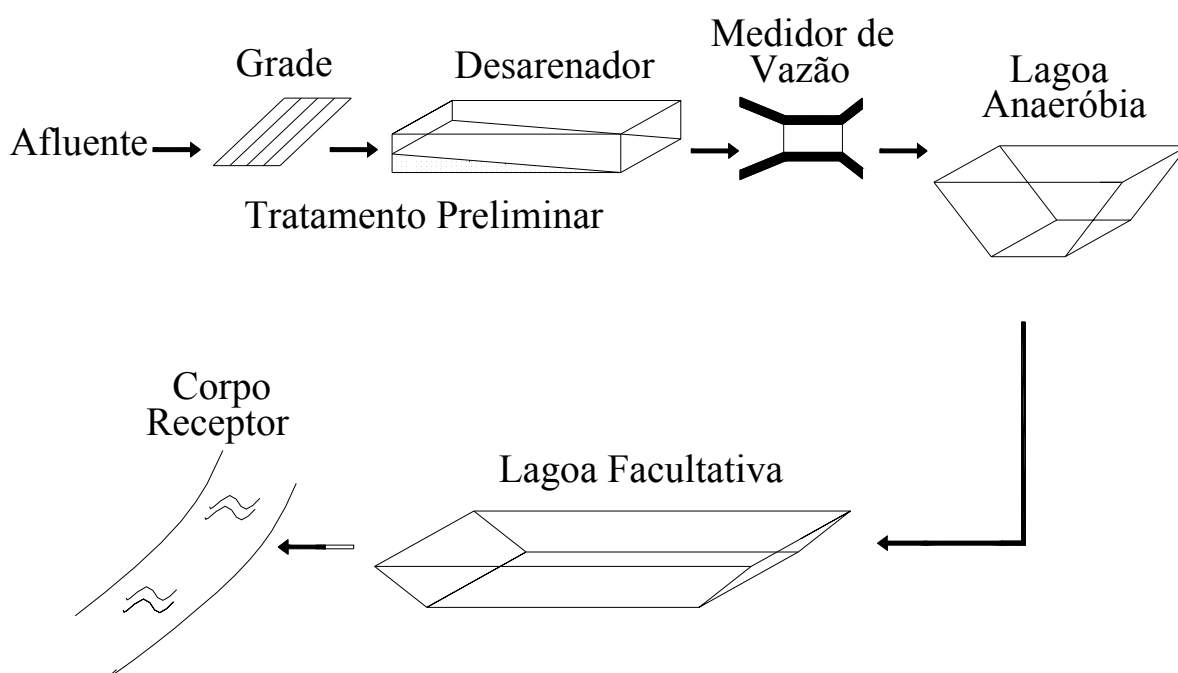
<sup>7</sup> Informação fornecida por Prof. José Roberto Campos em disciplina ministrada na Escola de Engenharia de São Carlos, em 1999.

com lagoa, ele poderá deixar em branco o item “Dimensões” na planilha “Dados Gerais”, e optar pela escolha de outro terreno.

O dimensionamento do processo de lodos ativados foi o mesmo adotado no Sistema A. A planilha completa do Sistema E encontra-se no Apêndice F, para uma população de 20.000 habitantes.

#### 5.4.6. Sistema F – Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa

O emprego de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa é bastante difundido. Esse conjunto é conhecido como “sistema australiano” e tem as vantagens de não necessitar energia para aeração, nem concreto, além da simplicidade de operação. Porém, a área necessária é muito maior em relação a sistemas com reatores ou tanques de aeração. A Figura 5.10 mostra o fluxograma desse sistema.



**Figura 5.10 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa – Sistema F**

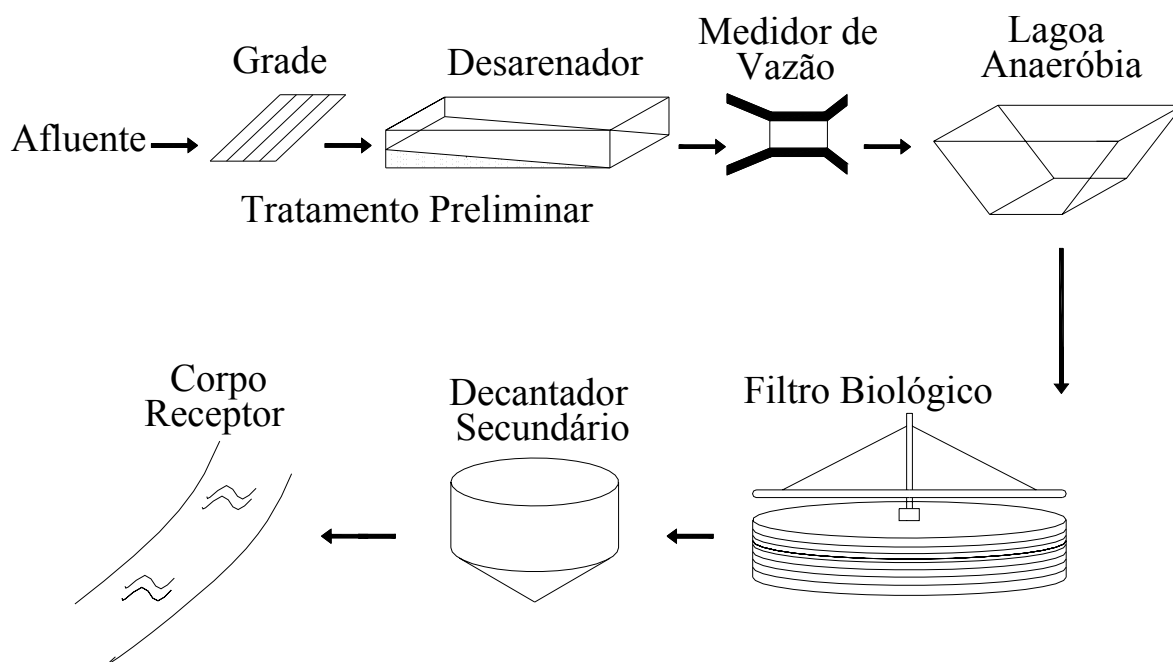
As dimensões da lagoa facultativa como pós-tratamento de lagoa anaeróbia são bem maiores que as de pós-tratamento de reator UASB, uma vez que a remoção de matéria orgânica é muito inferior na lagoa anaeróbia.

A planilha de dimensionamento do Sistema F contém o cálculo da lagoa anaeróbia, da mesma forma que discutido no Sistema E, e da lagoa facultativa já apresentado no Sistema B. A planilha completa consta no Apêndice F desta tese, para uma população de 20.000 habitantes.

#### **5.4.7. Sistema G – Lagoa Anaeróbia seguida de Filtro Biológico Percolador de Alta Taxa**

Como nos sistemas E e F, o uso da lagoa anaeróbia como processo inicial de tratamento reduz as dimensões das unidades de pós-tratamento, sem consumo de energia ou concreto. Todavia, necessita de áreas maiores, o que deve ser verificado no momento da seleção. O fluxograma do Sistema G está representado na Figura 5.11.

A planilha do dimensionamento da lagoa anaeróbia é a mesma dos sistemas E e F. No entanto, foi necessário adequar alguns parâmetros para os cálculos do filtro biológico, em relação ao dimensionamento usado no Sistema C, como pós-tratamento de reator UASB. A carga orgânica volumétrica (sub-planilha G10.1) e a profundidade do filtro (sub-planilha G10.2) estão no limites superiores das faixas sugeridas na literatura por Chernicharo et al. (2001). Embora o efluente final tenha sido satisfatório, talvez fosse necessária recirculação no filtro. A planilha com todos os passos de cálculo, para uma população de 20.000 habitantes, encontra-se no Apêndice H.

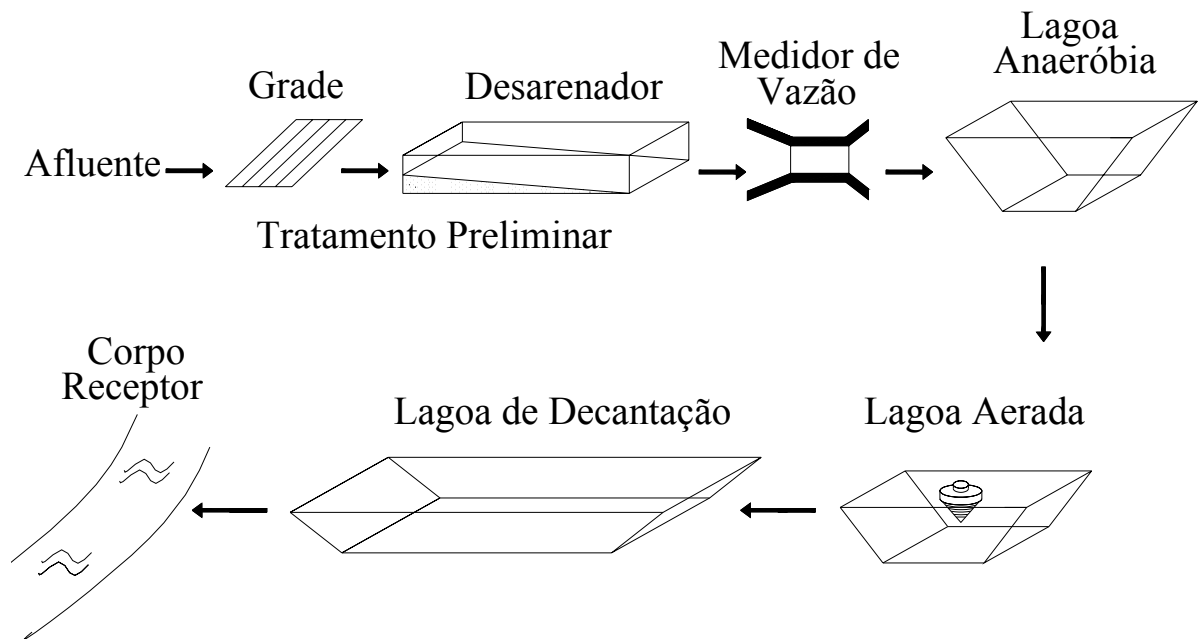


**Figura 5.11 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Lagoa Anaeróbia seguida de Filtro Biológico Percolador – Sistema G**

#### **5.4.8. Sistema H – Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Aerada e Lagoa de Decantação**

Esse sistema pode ser uma boa opção por não necessitar de grandes áreas e produzir efluente de boa qualidade. A Figura 5.12 mostra o fluxograma para o Sistema H.

A planilha da lagoa anaeróbia foi a mesma usada nos Sistemas E a G. O dimensionamento da lagoa aerada de mistura completa e lagoa de decantação seguiu os cálculos do Sistema D. Cabe ressaltar que o efluente da lagoa anaeróbia contém concentração de DBO superior ao efluente do UASB, o que interfere no dimensionamento do conjunto de lagoas aerada e de decantação. Foi observado no sistema D que não seria necessária a lagoa de decantação, devido à baixa concentração de DBO particulada no efluente da lagoa aerada. Já no Sistema H, o modelo indica a necessidade de lagoa de decantação, pois a concentração de DBO particulada é superior nesse sistema. As planilhas completas do Sistema H encontram-se no Apêndice I, para uma população de 20.000 habitantes.



**Figura 5.12 – Fluxograma do sistema de tratamento composto de Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Aerada e Lagoa de Decantação – Sistema H**

## **6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO**

---

## 6.1. APLICABILIDADE DE ÁRVORE DE DECISÃO PARA ESCOLHA DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

A avaliação do modelo foi feita com a introdução de dados de quatro casos distintos para populações de 10.000, 20.000, 50.000 e 67.000 habitantes, como pode ser visto na Tabela 6.1. Esses conjuntos de dados foram baseados em exemplos encontrados em Chernicharo (1997), Von Sperling (1997) e Chernicharo et al. (2001). Como nem todos os exemplos traziam as concentrações de SS e NTK, foram usados os valores de Chernicharo et al. (2001, p.322) para todos os casos. A vazão afluyente máxima do Caso 3 foi estipulada em 10.000 m<sup>3</sup>/d, uma vez que não estava indicada no exemplo.

**Tabela 6.1** – Conjuntos de dados usados para avaliação do modelo para diversas populações

<b>Dados</b>	<b>Unidade</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3</b>	<b>Caso 4</b>
População	hab	10.000	20.000	50.000	67.000
Vazão afluyente média	m <sup>3</sup> /d	1.478	3.000	7.944	9.820
Vazão afluyente máxima	m <sup>3</sup> /d	1.670	4.920	10.000	19.212
DBO média afluyente	mg/L	338	350	315	341
DQO média afluyente	mg/L	575	600	629	580
Sólidos Suspensos (SS)	mg/L	378	378	378	378
Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	mg/L	50	50	50	50
Vida útil	ano	20	20	20	20
Classificação do rio receptor	Classe	4	4	4	4
Distância de área residencial	m	600	600	600	600
Temperatura do líquido mês mais frio	°C	23	23	23	23

Fonte: Caso 1: Adaptado de Chernicharo et al. (2001, p.89); Caso 2: Adaptado de Chernicharo (1997, p.189); Caso 3: Adaptado de Chernicharo et al. (2001, p. 322); Caso 4: Adaptado de Von Sperling (1997, p. 219)

Todos os valores para as estimativas de custo dos oito sistemas foram os mesmos e podem ser visto na planilha “Dados Gerais” do Anexo A.

As Tabelas 6.2 a 6.5 apresentam os valores dos 21 itens que compõem o custo total de cada sistema para os quatro casos estudados. As células verdes indicam o melhor colocado e as amarelas, o segundo colocado. As Figuras 6.1 a 6.4 mostram as árvores de decisão para cada caso.

**Tabela 6.2 – Custos (US\$) dos 8 sistemas analisados no modelo para o Caso 1 – População de 10.000 habitantes**

Item	Descrição (Valores em US\$)	Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D	Sistema E	Sistema F	Sistema G	Sistema H
1	Terreno	48.000,00	96.000,00	16.000,00	40.000,00	53.283,20	360.000,00	69.283,20	51.200,00
2	Escavações/Limpeza do Terreno	2.218,74	11.172,59	942,11	6.532,53	5.591,61	30.846,02	6.251,15	10.816,71
3	Valor de Projetos	18.500,00	12.000,00	24.305,56	16.500,00	12.000,00	10.500,00	22.000,00	7.500,00
4	Tratamento Preliminar	24.305,56	24.305,56	16.500,00	24.305,56	24.305,56	24.305,56	24.305,56	24.305,56
5	Fundações	20.034,12	10.082,06	18.626,84	10.082,06	15.448,41	0,00	8.203,89	0,00
6	Paisagismo	4.500,00	9.000,00	1.500,00	3.750,00	4.995,30	33.750,00	6.495,30	4.800,00
7	Drenagem	2.160,00	4.320,00	720,00	1.800,00	2.397,74	16.200,00	3.117,74	2.304,00
8	Instalações Elétricas	9.191,18	0,00	0,00	4.687,50	9.191,18	0,00	0,00	4.687,50
9	Segurança	13.583,00	13.113,26	12.544,97	9.941,67	15.049,14	21.491,67	16.322,75	10.700,33
10	Pára-raios	694,44	694,44	694,44	694,44	694,44	694,44	694,44	694,44
11	Redes de água, esgoto, água de serviço	12.027,78	8.777,78	11.027,78	11.027,78	8.777,78	8.027,78	13.777,78	6.527,78
12	Concreto Armado	100.170,60	50.410,31	93.134,21	50.410,31	77.242,05	0,00	45.121,39	0,00
13	Impermeabilização	21.387,65	72.691,02	19.650,27	47.840,25	23.919,85	141.208,72	20.700,06	51.342,66
14	Edificações	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00
15	Equipamentos	110.159,72	64.479,17	320.455,22	72.875,00	76.930,56	31.250,00	288.913,81	39.645,83
16	Telefonia/informát. automação	13.888,89	13.888,89	13.888,89	13.888,89	13.888,89	13.888,89	13.888,89	13.888,89
17	Vias de circulação	13.365,00	26.730,00	4.455,00	11.137,50	14.836,04	100.237,50	19.291,04	14.256,00
18	Área de “cinturão verde”	24.099,79	34.082,25	13.914,02	22.000,00	25.391,47	66.000,00	28.953,87	24.890,16
19	Desinfecção	27.777,78	27.777,78	27.777,78	27.777,78	27.777,78	27.777,78	27.777,78	27.777,78
20	Estimativa do Custo de Operação pela literatura	302.606,47	127.413,25	95.559,94	222.973,19	356.757,10	95.559,94	95.559,94	222.973,19
21	Depreciação de equipamentos	75.811,40	44.374,26	220.535,77	50.152,23	6,88	21.506,10	198.829,12	27.284,08
	Custo total de implantação	500.224,25	513.685,11	630.297,09	409.411,27	445.880,99	920.338,36	649.258,65	329.497,64
	<b>CUSTO TOTAL</b>	878.642,11	685.472,62	946.392,79	682.536,69	802.644,97	1.037.404,40	943.647,71	579.754,90
	Custo de Implantação/ hab	50,02	51,37	63,03	40,94	44,59	92,03	64,93	32,95

Obs.: menor custo total: célula verde; segundo menor custo: célula amarela.

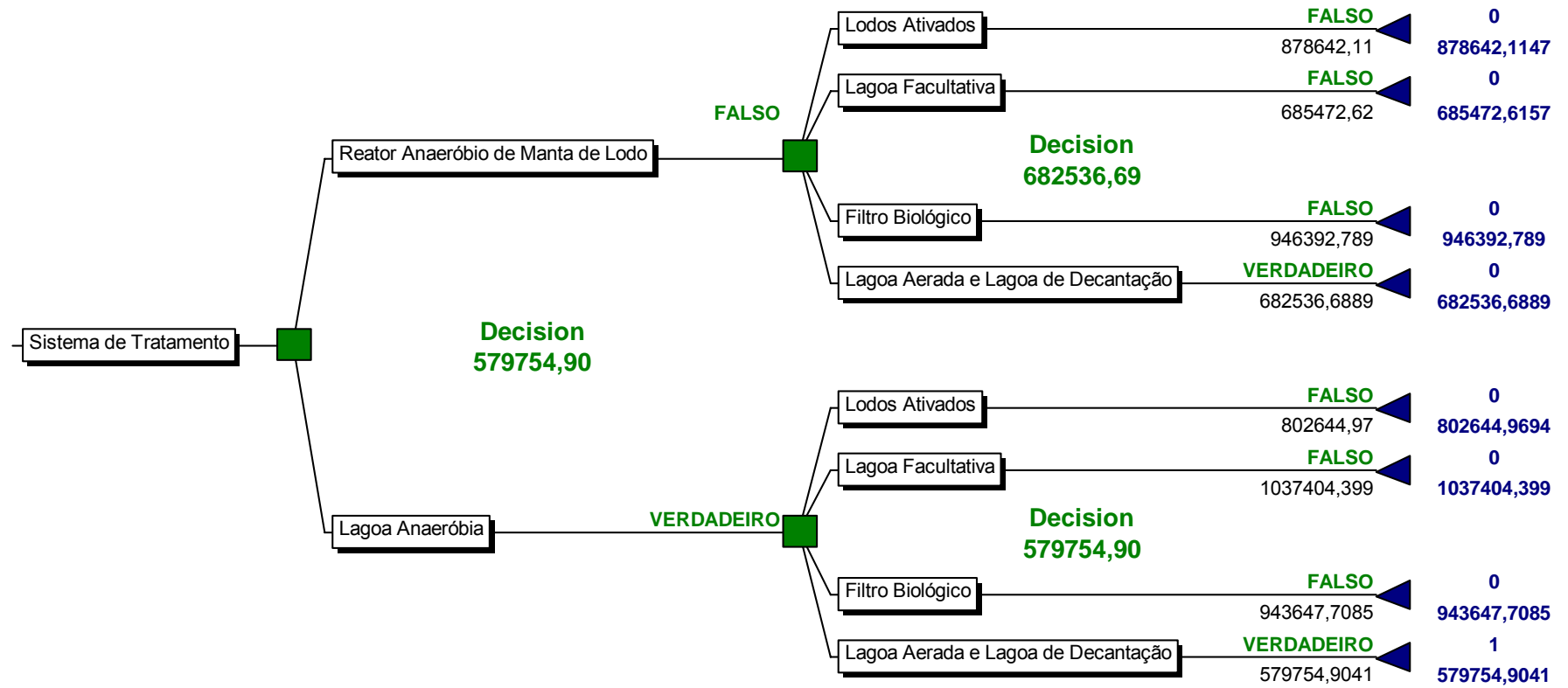


Figura 6.1 – Árvore de decisão com a avaliação dos 8 sistemas de tratamento para o Caso 1 – População de 10000 habitantes

**Tabela 6.3 – Custos (US\$) dos 8 sistemas analisados no modelo para o Caso 2 – População de 20000 habitantes**

Item	Descrição (Valores em US\$)	Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D	Sistema E	Sistema F	Sistema G	Sistema H
1	Terreno	96.000,00	192.000,00	32.000,00	80.000,00	107.200,00	720.000,00	139.200,00	102.400,00
2	Escavações/Limpeza Terreno	4.458,72	23.067,76	1.903,07	13.246,41	11.335,13	62.183,32	12.631,45	21.894,70
3	Valor de Projetos	37.000,00	24.000,00	48.611,11	33.000,00	24.000,00	21.000,00	44.000,00	15.000,00
4	Tratamento Preliminar	48.611,11	48.611,11	33.000,00	48.611,11	48.611,11	48.611,11	48.611,11	48.611,11
5	Fundações	36.581,02	20.446,89	33.437,71	20.446,89	25.928,48	0,00	12.365,49	0,00
6	Paisagismo	9.000,00	18.000,00	3.000,00	7.500,00	10.050,00	67.500,00	13.050,00	9.600,00
7	Drenagem	4.320,00	8.640,00	1.440,00	3.600,00	4.824,00	32.400,00	6.264,00	4.608,00
8	Instalações Elétricas	13.786,76	0,00	0,00	9.375,00	18.382,35	0,00	0,00	9.375,00
9	Segurança	21.724,39	20.985,72	20.294,10	16.500,42	23.867,99	32.834,58	25.596,95	17.573,33
10	Pára-raios	1.388,89	1.388,89	1.388,89	1.388,89	1.388,89	1.388,89	1.388,89	1.388,89
11	Redes de água, esgoto, água de serviço	24.055,56	17.555,56	22.055,56	22.055,56	17.555,56	16.055,56	27.555,56	13.055,56
12	Concreto Armado	182.905,09	102.234,43	167.188,56	102.234,43	129.642,38	0,00	68.010,21	0,00
13	Impermeabilização	38.347,86	147.360,62	34.467,24	126.813,94	42.378,60	276.906,23	36.350,60	97.142,54
14	Edificações	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00
15	Equipamentos	148.729,17	99.618,06	361.547,66	113.340,28	118.833,33	62.500,00	327.483,68	76.222,22
16	Telefonia/informát.automação	27.777,78	27.777,78	27.777,78	27.777,78	27.777,78	27.777,78	27.777,78	27.777,78
17	Vias de circulação	26.730,00	53.460,00	8.910,00	22.275,00	29.848,50	200.475,00	38.758,50	28.512,00
18	Área de “cinturão verde”	34.082,25	48.199,59	19.677,40	31.112,70	36.015,55	93.338,10	41.040,47	35.200,00
19	Desinfecção	55.555,56	55.555,56	55.555,56	55.555,56	55.555,56	55.555,56	55.555,56	55.555,56
20	Custo de Operação	605.212,94	254.826,50	191.119,87	445.946,37	713.514,20	191.119,87	191.119,87	445.946,37
21	Depreciação de equipamentos	102.354,71	68.556,67	248.815,39	78.000,24	6,88	43.012,20	225.372,72	52.455,77
	Custo total de implantação	845.214,15	943.061,96	906.414,62	768.993,95	767.355,19	1.752.686,11	959.800,25	598.076,69
	<b>CUSTO TOTAL</b>	1.552.781,80	<b>1.266.445,13</b>	1.346.349,89	1.292.940,57	1.480.876,27	1.986.818,19	1.376.292,84	<b>1.096.478,83</b>
	Custo de Implantação/ hab.	42,26	47,15	45,32	38,45	38,37	87,63	47,99	29,90

Obs.: menor custo total: célula verde; segundo menor custo: célula amarela.

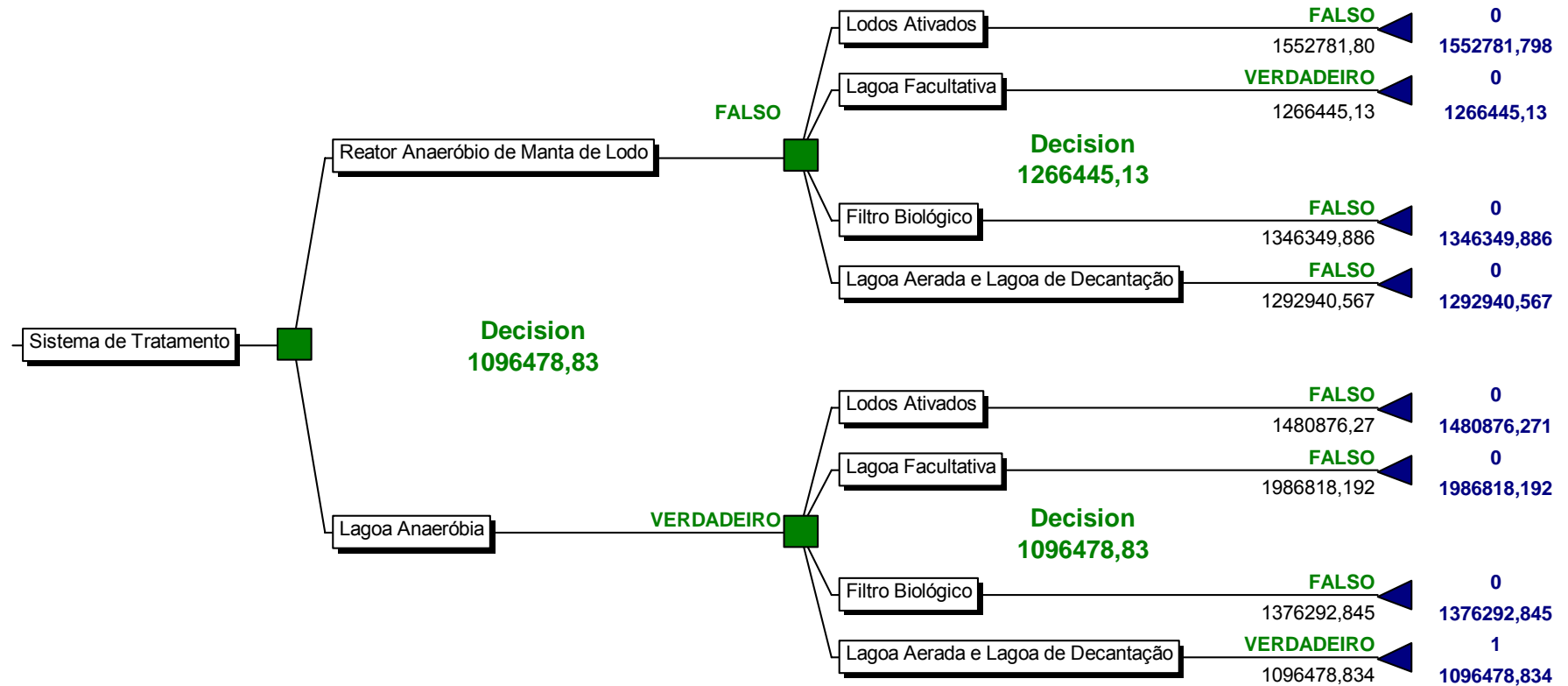


Figura 6.2 – Árvore de decisão com a avaliação dos 8 sistemas de tratamento para o Caso 2 – População de 20000 habitantes

**Tabela 6.4 – Custos (US\$) dos 8 sistemas analisados no modelo para o Caso 3 – População de 50000 habitantes**

Item	Descrição (Valores em US\$)	Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D	Sistema E	Sistema F	Sistema G	Sistema H
1	Terreno	240.000,00	480.000,00	80.000,00	200.000,00	274.393,60	1.800.000,00	354.393,60	256.000,00
2	Escavações/Limpeza Terreno	11.141,98	55.853,19	4.770,99	34.325,67	29.457,29	160.415,68	32.881,99	57.373,34
3	Valor de Projetos	92.500,00	60.000,00	82.500,00	82.500,00	60.000,00	52.500,00	110.000,00	37.500,00
4	Tratamento Preliminar	121.527,78	121.527,78	121.527,78	121.527,78	121.527,78	121.527,78	121.527,78	121.527,78
5	Fundações	86.713,83	55.783,27	85.277,73	55.783,27	51.792,04	0,00	25.567,76	0,00
6	Paisagismo	22.500,00	45.000,00	7.500,00	18.750,00	25.724,40	168.750,00	33.224,40	24.000,00
7	Drenagem	10.800,00	21.600,00	3.600,00	9.000,00	12.347,71	81.000,00	15.947,71	11.520,00
8	Instalações Elétricas	36.764,71	0,00	0,00	23.125,00	45.955,88	0,00	0,00	23.125,00
9	Segurança	41.998,06	40.838,52	38.025,67	33.746,63	45.504,32	59.573,21	45.491,20	35.443,06
10	Pára-raios	3.472,22	3.472,22	3.472,22	3.472,22	3.472,22	3.472,22	3.472,22	3.472,22
11	Redes de água, esgoto, água de serviço	60.138,89	43.888,89	55.138,89	55.138,89	43.888,89	40.138,89	68.888,89	32.638,89
12	Concreto Armado	433.569,15	278.916,34	426.388,66	278.916,34	258.960,20	0,00	140.622,68	0,00
13	Impermeabilização	88.995,78	349.532,50	87.222,82	503.879,47	95.683,86	709.898,46	84.028,63	248.023,42
14	Edificações	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00
15	Equipamentos	269.048,61	208.020,83	500.116,09	224.812,50	218.722,22	156.250,00	459.455,68	173.041,67
16	Telefonia/informát. automação	69.444,44	69.444,44	69.444,44	69.444,44	69.444,44	69.444,44	69.444,44	69.444,44
17	Vias de circulação	66.825,00	133.650,00	22.275,00	55.687,50	76.401,47	501.187,50	98.676,47	71.280,00
18	Área de “cinturão verde”	53.888,77	76.210,24	31.112,70	49.193,50	57.620,85	147.580,49	65.484,06	55.656,09
19	Desinfecção	138.888,89	138.888,89	138.888,89	138.888,89	138.888,89	138.888,89	138.888,89	138.888,89
20	Custo de Operação	1.513.032,34	637.066,25	477.799,69	1.114.865,94	1.783.785,50	477.799,69	477.799,69	1.114.865,94
21	Depreciação de equipamentos	185.157,98	143.158,95	344.177,53	154.714,90	6,88	107.530,51	316.195,22	119.086,46
	Custo total de implantação	1.882.378,12	2.216.787,11	1.791.421,88	1.992.352,09	1.663.946,06	4.244.787,56	1.902.156,40	1.393.094,78
	<b>CUSTO TOTAL</b>	3.580.568,45	2.997.012,31	<b>2.613.399,10</b>	3.261.932,92	3.447.738,44	4.830.117,76	2.696.151,31	<b>2.627.047,18</b>
	Custo de Implantação/ hab.	37,65	44,34	35,83	39,85	33,28	84,90	38,04	27,86

Obs.: menor custo total: célula verde; segundo menor custo: célula amarela.

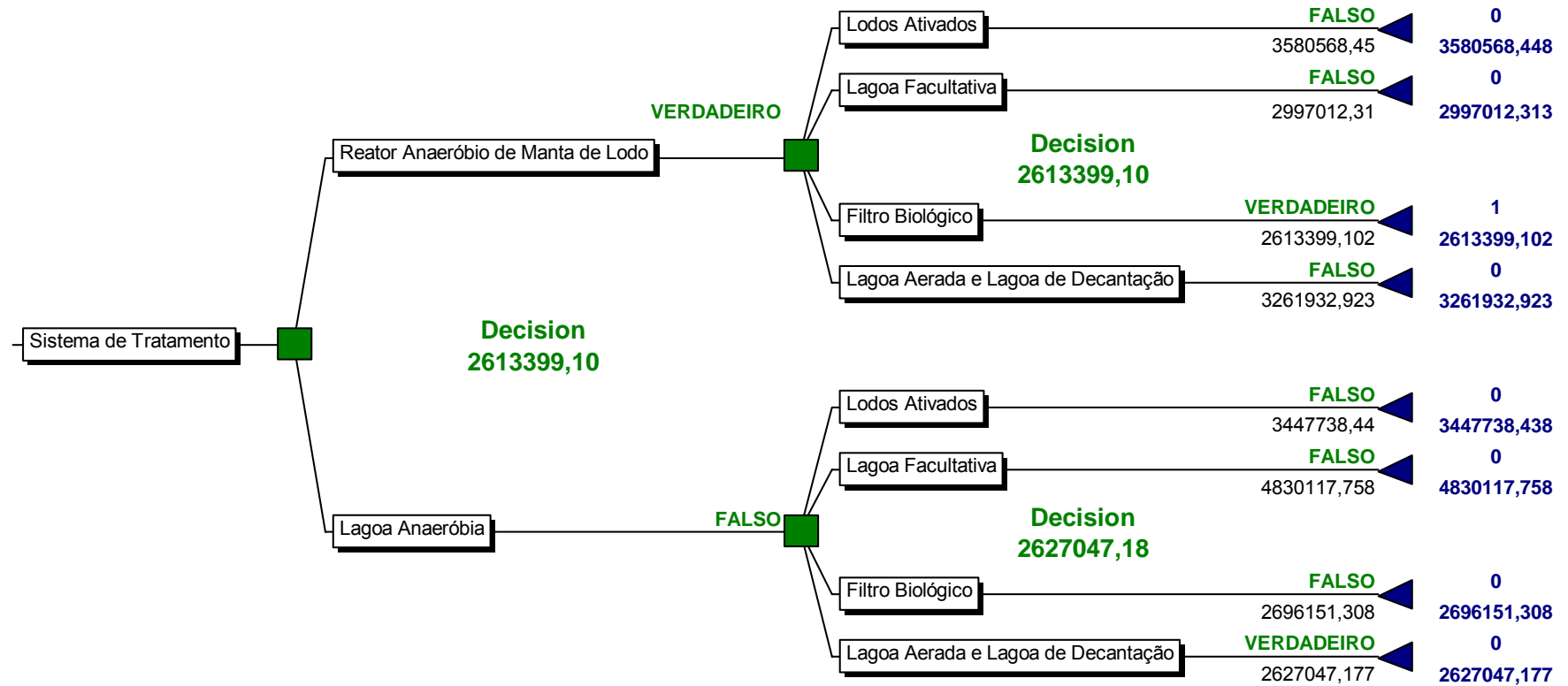


Figura 6.3 – Árvore de decisão com a avaliação dos 8 sistemas de tratamento para o Caso 3 – População de 50000 habitantes

**Tabela 6.5 – Custos (US\$) dos 8 sistemas analisados no modelo para o Caso 4 – População de 67000 habitantes**

Item	Descrição (Valores em US\$)	Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D	Sistema E	Sistema F	Sistema G	Sistema H
1	Terreno	321.600,00	643.200,00	107.200,00	268.000,00	355.808,00	2.412.000,00	463.008,00	343.040,00
2	Escavações/Limpeza Terreno	14.858,48	74.863,16	6.303,19	43.520,40	37.241,70	205.746,11	41.640,21	71.981,46
3	Valor de Projetos	123.950,00	80.400,00	162.847,22	110.550,00	80.400,00	70.350,00	147.400,00	50.250,00
4	Tratamento Preliminar	162.847,22	162.847,22	110.550,00	162.847,22	162.847,22	162.847,22	162.847,22	162.847,22
5	Fundações	105.359,82	67.838,58	102.766,35	67.838,58	63.692,13	0,00	28.700,28	0,00
6	Paisagismo	30.150,00	60.300,00	10.050,00	25.125,00	33.357,00	226.125,00	43.407,00	32.160,00
7	Drenagem	14.472,00	28.944,00	4.824,00	12.060,00	16.011,36	108.540,00	20.835,36	15.436,80
8	Instalações Elétricas	45.955,88	0,00	0,00	31.250,00	62.040,44	0,00	0,00	31.250,00
9	Segurança	52.276,15	51.074,34	46.716,08	42.864,88	56.043,78	72.761,32	55.049,10	44.828,64
10	Pára-raios	4.652,78	4.652,78	4.652,78	4.652,78	4.652,78	4.652,78	4.652,78	4.652,78
11	Redes de água, esgoto, água de serviço	80.586,11	58.811,11	73.886,11	73.886,11	58.811,11	53.786,11	92.311,11	43.736,11
12	Concreto Armado	526.799,09	339.192,92	513.831,76	339.192,92	318.460,63	0,00	157.851,53	0,00
13	Impermeabilização	107.829,41	459.126,54	104.627,59	729.447,62	116.341,42	872.915,18	100.789,48	302.497,52
14	Edificações	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00	34.160,00
15	Equipamentos	330.666,67	268.194,44	569.516,76	299.881,94	301.638,89	209.375,00	521.603,06	241.062,50
16	Telefonia/informát. automação	93.055,56	93.055,56	93.055,56	93.055,56	93.055,56	93.055,56	93.055,56	93.055,56
17	Vias de circulação	89.545,50	179.091,00	29.848,50	74.621,25	99.070,29	671.591,25	128.918,79	95.515,20
18	Área de “cinturão verde”	62.380,77	88.219,73	36.015,55	56.945,59	65.614,61	170.836,76	74.849,16	64.426,58
19	Desinfecção	186.111,11	186.111,11	186.111,11	186.111,11	186.111,11	186.111,11	186.111,11	186.111,11
20	Custo de Operação	2.027.463,34	853.668,77	640.251,58	1.493.920,35	2.390.272,57	640.251,58	640.251,58	1.493.920,35
21	Depreciação de equipamentos	227.563,24	184.570,15	391.938,75	206.377,34	6,88	144.090,89	358.964,76	165.898,07
	Custo total de implantação	2.387.256,54	2.880.082,51	2.196.962,58	2.656.010,96	2.145.358,00	5.554.853,40	2.357.189,75	1.817.011,48
	<b>CUSTO TOTAL</b>	4.642.283,11	3.918.321,43	<b>3.229.152,90</b>	4.356.308,66	4.535.637,45	6.339.195,86	<b>3.356.406,09</b>	3.476.829,91
	Custo de Implantação/hab.	35,63	42,99	32,79	39,64	32,02	82,91	35,18	27,12

Obs.: menor custo total: célula verde; segundo menor custo: célula amarela.

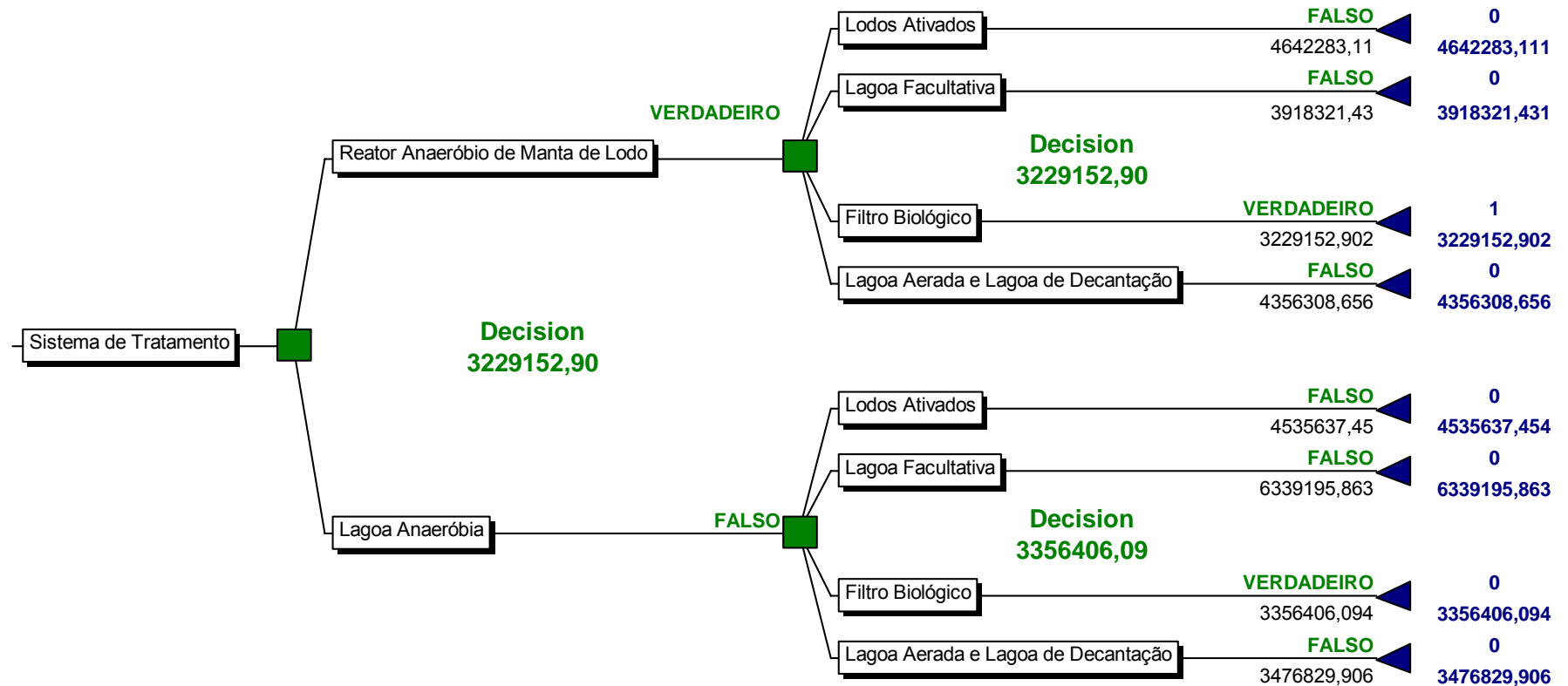


Figura 6.4 – Árvore de decisão com a avaliação dos 8 sistemas de tratamento para o Caso 4 – População de 67000 habitantes

Como pode ser visto, em cada caso o modelo identificou sistemas diferentes para os primeiros e segundos menores custos totais. Isso indica que o modelo é eficaz para discretizar as melhores opções e que a árvore de decisão é uma ferramenta útil nessa avaliação.

É importante destacar que a árvore de decisão apresenta os menores custos totais para cada ramo, ou seja, para os sistemas com reator UASB como primeiro processo e para os sistemas com lagoa anaeróbia como primeiro processo. Dessa forma, o tomador de decisão poderá optar pelo sistema de menor custo global, ou pelo sistema de menor custo com determinado tipo de processo inicial. Essa análise poderá ser útil em qualquer situação em que se dê preferência ou se queira excluir algum dos seis processos que fazem parte dos sistemas.

O modelo não utilizou situações de incerteza para a construção da árvore de decisão. Caso seja necessário, poderão ser incluídos novos “nós” de risco quando houver decisões que incluam incertezas, como variação da taxa de juros, danos ou perdas de equipamentos ou aumento excessivo na taxa de energia elétrica.

## **6.2. AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO NA ESCOLHA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO**

A estimativa dos custos de implantação dos oitos sistemas do modelo foi composta por 19 itens, com base no dimensionamento das unidades de tratamento, na área requerida por habitante descrita na literatura e custos unitários médios por habitante, sugeridas pelo Prof. Campos.

Para se avaliar a veracidade do custo final de cada sistema, foi feita a comparação destes com as faixas de custo adaptadas da literatura. A Tabela 6.6 apresenta todos os custos de implantação em dólares por habitante, dos oito sistemas do modelo para os quatro casos estudados. Para facilitar a comparação com as faixas adaptadas da literatura, foram encontradas as médias de custo para cada sistema em relação aos quatros casos.

Nos casos estudados, exceto para o Sistema D, há indicações de que o custo de implantação por habitante decresça à medida que a população atendida aumenta, sugerindo uma economia de escala.

**Tabela 6.6 – Comparação dos custos de implantação por habitante, dos oito sistemas do modelo para os quatro casos estudados, com os apresentados na literatura**

Caso Estudado	Custo de Implantação por habitante (US\$)							
	Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D	Sistema E	Sistema F	Sistema G	Sistema H
Caso 1 – 10.000 habitantes	50,02	51,37	63,03	40,94	44,59	92,03	64,93	32,95
Caso 2 – 20.000 habitantes	42,26	47,15	45,32	38,45	38,37	87,63	47,99	29,90
Caso 3 – 50.000 habitantes	37,65	44,34	35,83	39,85	33,28	84,90	38,04	27,86
Caso 4 – 67.000 habitantes	35,63	42,99	32,79	39,64	32,02	82,91	35,18	27,12
Médias dos casos estudados	41,39	46,46	44,24	39,72	37,06	86,87	46,54	29,46
Literatura	26,00 a 43,00 <sup>1</sup>	17,10 a 30,45 <sup>1</sup>	26,00 a 39,00 <sup>1</sup>	26,00 a 39,00 <sup>1</sup>	24,00 a 32,00 <sup>2</sup>	12,00 a 30,00 <sup>3</sup>	32,00 a 56,00 <sup>4</sup>	8,00 a 20,00 <sup>4</sup>

Fontes:1-Chernicharo et al. (2001, p.293); 2-aproximação da autora; 3-Von Sperling (1986, p.14); 4-80% dos valores do sistema aeróbio apresentado por Von Sperling (1996, p.216)

Somente em dois sistemas o custo médio de implantação por habitante definido pelo modelo se encontra na faixa de valores adaptada da literatura. Os demais se encontram acima da margem superior da faixa, sendo que o custo médio do Sistema F (Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa) é cerca de 200% maior que a margem superior adaptada da literatura.

Esses resultados podem ser conferidos à preocupação com problemas ambientais e qualidade geral da estação, que elevou os custos por meio de itens como impermeabilização de lagoas, cinturão verde o redor do terreno, ajardinamentos, pavimentação, guarda-corpo de segurança ao redor de tanques, desinfecção final do efluente, dentre outros.

Os custos de operação dos oito sistemas foram gerados a partir de adaptações de dados da literatura, uma vez que são compostos por diversas variáveis e não se dispõe de muitos dados sobre essas composições, seja da literatura, ou de estações em funcionamento. Porém, sua contribuição no custo final da estação é muito relevante.

O custo de manutenção foi fundamentado na depreciação de equipamentos e também tem relevância na composição do custo final de estações.

A importância da avaliação dos custos de implantação em conjunto com os de operação e manutenção pode ser vista com o auxílio da Tabela 6.7. A simples escolha do sistema em função do menor custo de implantação não significa, em todos os casos estudados, que seja a melhor alternativa. Tampouco a escolha em função dos custos de operação e manutenção, isoladamente, leva a resultados confiáveis.

Nos Casos 1 e 2, o sistema com menor custo global coincide com o de menor custo de implantação. Nos Casos 3 e 4, o sistema com menor custo global não coincide nem com o de menor custo de implantação, nem de operação e manutenção. Isso indica que se deve proceder à avaliação conjunta dos custos de implantação, operação e manutenção, com base na vida útil do sistema.

Outra observação a ser feita é que apenas no Sistema E (Lagoa Anaeróbia seguida de Lodos Ativados) o custo de operação somado ao de manutenção superou o custo de implantação para os Casos 3 e 4. Nos demais, o custo de implantação foi superior ao de operação com manutenção.

**Tabela 6.7 – Comparação dos custos totais de implantação, operação e manutenção e custo total de cada sistema para os quatro casos estudados**

Sistemas do Modelo	Caso 1 - 10000 habitantes Custos Totais (mil US\$)			Caso 2 - 20000 habitantes Custos Totais (mil US\$)			Caso 3 - 50000 habitantes Custos Totais (mil US\$)			Caso 4 - 67000 habitantes Custos Totais (mil US\$)		
	Implant.	Op.+Manut.	Total	Implant.	Op.+Manut.	Total	Implant.	Op.+Manut.	Total	Implant.	Op.+Manut.	Total
Sistema A	500,22	378,42	878,64	845,21	707,57	1.552,78	1.882,38	1.698,19	3.580,57	2.387,25	2.255,02	4.642,27
Sistema B	513,69	171,79	685,47	943,06	323,38	1.266,45	2.216,79	780,23	2.997,01	2.880,08	1.038,23	3.918,31
Sistema C	630,29	316,09	946,38	906,41	439,93	1.346,34	1.791,42	821,97	2.613,39	2.196,96	1.032,19	3.229,15
Sistema D	409,41	273,12	682,53	768,99	523,95	1.292,94	1.992,35	1.269,58	3.261,93	2.656,01	1.700,29	4.356,30
Sistema E	445,88	356,76	802,64	767,36	713,52	1.480,88	1.663,95	1.783,79	3.447,74	2.145,35	2.390,27	4.535,62
Sistema F	920,34	117,07	1.037,40	1.752,69	234,13	1.986,82	4.244,79	585,33	4.830,12	5.554,85	784,34	6.339,19
Sistema G	649,26	294,39	943,65	959,80	416,49	1.376,29	1.902,16	793,99	2.696,15	2.357,18	999,21	3.356,39
Sistema H	329,49	250,25	579,74	598,08	498,40	1.096,48	1.393,09	1.233,95	2.627,05	1.817,01	1.659,81	3.476,82

Obs.: menor custo: células verdes; segundo menor custo: células amarelas.

### **6.3. AVALIAÇÃO DAS RESTRIÇÕES AMBIENTAIS NA ESCOLHA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO**

As restrições ambientais estão cada vez mais severas na legislação internacional e nacional. A restrição ambiental considerada de maneira direta no modelo foi a classificação do corpo receptor.

No entanto, os itens incluídos na estimativa de custo do modelo têm forte preocupação com a qualidade ambiental, seguida da responsabilidade social e de segurança. Esses itens estabelecem relações indiretas com as questões ambientais, como descrito a seguir.

Nas áreas livres da estação foi previsto ajardinamento, além de cinturão verde ao redor de todo o perímetro do terreno. Essas providências auxiliam o controle da disseminação dos gases gerados por processos anaeróbios. O respeito à distância de ao menos 500 metros de áreas urbanas para a instalação de sistemas com lagoas anaeróbias também foi incluído diretamente no modelo, eliminado essas alternativas no caso de haver terreno pré-determinado sem esse afastamento.

Em todas as unidades, sejam em concreto ou lagoas, foi prevista impermeabilização para evitar possível percolação do líquido no solo, causando contaminação das águas subterrâneas.

A segurança foi prevista com instalação de cercas e portões ao redor de todo o terreno, restringindo o acesso somente ao pessoal autorizado. Além do perigo com afogamentos há o de contaminação, caso os habitantes tenham acesso livre às instalações da estação. A instalação de guarda-corpo ao redor de todos os tanques também confere maior segurança aos que trabalham ou visitam a estação. Também foram previstos sistemas de câmeras, alarmes e pára-raios como proteção adicional.

Foi prevista a cloração e descloração do efluente final, por medidas sanitárias e ambientais respectivamente. A cloração do efluente final impede a emissão de organismos patogênicos ao corpo receptor. No entanto, a descloração é necessária para que o cloro não seja lançado no corpo receptor, causando desequilíbrio dos organismos aquáticos.

Como pode ser visto, o modelo teve forte preocupação com o meio ambiente e, à medida que for necessário, poderá ser adaptado a novas restrições que venham ser implementadas na legislação.

#### **6.4. AVALIAÇÃO DAS RESTRIÇÕES TECNOLÓGICAS NA ESCOLHA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO**

As restrições tecnológicas, segundo muitos trabalhos descritos no referencial teórico, podem comprometer ou inviabilizar certos tipos de processos.

Como comentado no capítulo 4 desta tese, esse item é de difícil mensuração. Os especialistas da Agência Nacional de Águas indicaram o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) como um dos únicos parâmetros que talvez pudesse auxiliar na indicação do nível tecnológico das cidades brasileiras.

Por outro lado, como sugeriu o Prof. José Roberto Campos, um fator de grande importância na qualidade de funcionamento de uma estação é a dedicação da equipe de operação e manutenção.

Cabe lembrar que as restrições tecnológicas poderão interferir na facilidade de construção da estação. Mas, a princípio, não deverão excluir alternativas, uma vez que grandes construtoras nacionais e internacionais têm interesse nessas obras e costumam trazer sua própria tecnologia e pessoal, não dependendo das condições locais.

Perante essas informações, os sistemas do modelo foram criados com itens de automação que auxiliam o bom funcionamento dos mesmos.

Dessa forma, as restrições tecnológicas poderão ser avaliadas caso a caso durante o uso do modelo, conforme a indicação preliminar da melhor alternativa para o local.

## 6.5. AVALIAÇÃO DOS PRINCIPAIS FATORES QUE INTERFEREM NA ESCOLHA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO

Os resultados dos quatro casos apresentados no item 6.1 sugerem que para os oito sistemas há diferentes interferências das variáveis. Nos sistemas compostos por reatores ou tanques, o concreto armado e os equipamentos têm forte impacto, enquanto o custo do terreno tem um impacto menor. Ocorre o inverso para sistemas com lagoas, nos quais há forte impacto dos custos de terreno e impermeabilização e impacto menor nos custos com equipamentos.

A avaliação das variáveis mais significativas no custo total de cada sistema torna-se necessária quando há diferenças menores que cerca de 15% entre as alternativas de menor valor. Nos casos estudados, isso ocorreu nos Casos 2, 3 e 4, sendo que no Caso 3 a diferença foi menor que 1%, como pode ser verificado na Tabela 6.8.

**Tabela 6.8 – Comparação dos custos totais das duas melhores alternativas para os quatro casos estudados**

<b>Casos Estudados</b>	<b>1º Colocado (US\$)</b>	<b>2º Colocado (US\$)</b>	<b>%</b>
Caso 1 - População de 10.000 hab	579.754,90	682.536,69	15,06%
Caso 2 - População de 20.000 hab	1.096.478,83	1.266.445,13	13,42%
Caso 3 - População de 50.000 hab	2.613.399,10	2.627.047,18	0,52%
Caso 4 - População de 67.000 hab	3.229.152,90	3.356.406,09	3,79%

Para auxiliar a definição das variáveis de maior impacto no custo total, podem ser realizadas análises de sensibilidade, a fim de gerar o Diagrama de Tornado, com auxílio do programa “*Top Rank*”, já descrito anteriormente. Na avaliação foram usadas as funções de variação automáticas do programa, ou seja, qual o valor esperado para uma variação de +10% a -10% no valor da variável.

A avaliação dessa ferramenta foi feita para os dois sistemas do Caso 3, sendo o primeiro colocado o Sistema C (Reator UASB seguido de Filtro Biológico) e o segundo colocado, o Sistema H (Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Aerada e Lagoa de Decantação). Os resultados podem ser vistos nos Diagramas de Tornado das Figuras 6.5 (Sistema C) e 6.6 (Sistema H).

No Sistema C, a população foi o item com maior impacto, embora seja uma variável de definição do problema, não devendo ser usada para simulação com outros valores. As demais variáveis de maior importância são o valor total de operação, o valor do m<sup>3</sup> de concreto armado, o valor total de depreciação dos equipamentos, seguindo diversas outras como pode ser conferido no diagrama da Figura 6.5.

No Sistema H, o valor total de operação foi a variável de maior impacto seguida da população, área necessária, valor do terreno e demais, como apresentado no diagrama da Figura 6.6.

De posse dessas avaliações, o tomador de decisão poderá pesquisar se há possibilidade de reduzir algum dos fatores de maior impacto e reavaliar as alternativas após cada intervenção.

Os resultados apresentados pelas diversas análises efetuadas com o modelo e com as técnicas de tomada de decisão, demonstram que ele pode auxiliar na escolha de sistemas de tratamento, direcionando os estudos mais detalhados para as alternativas mais promissoras.

Os custos de se fazer orçamentos criteriosos de diversas alternativas de tratamento para, então, identificar as melhores alternativas, poderão ser reduzidos, focando-se nas melhores alternativas sugeridas pelo modelo.

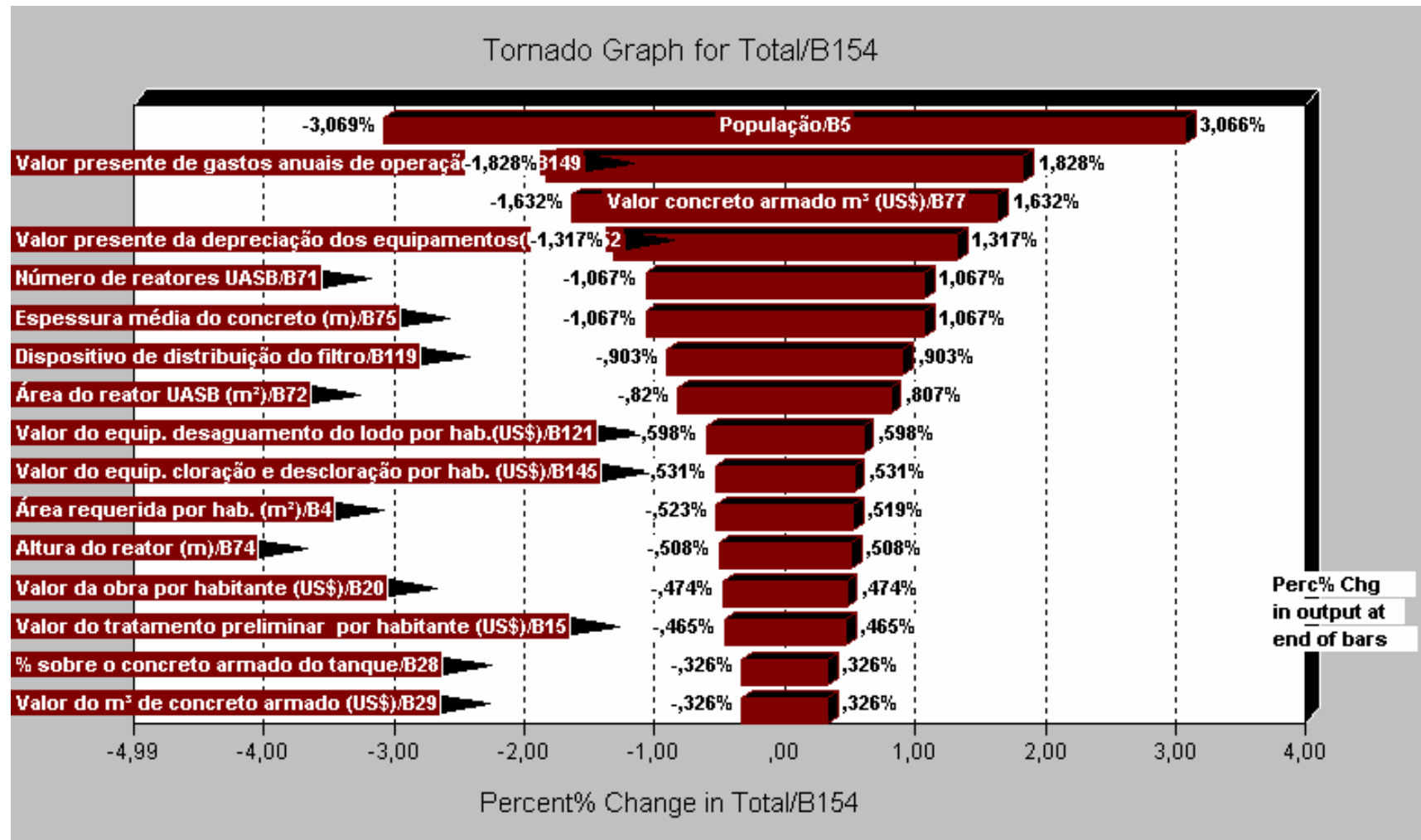
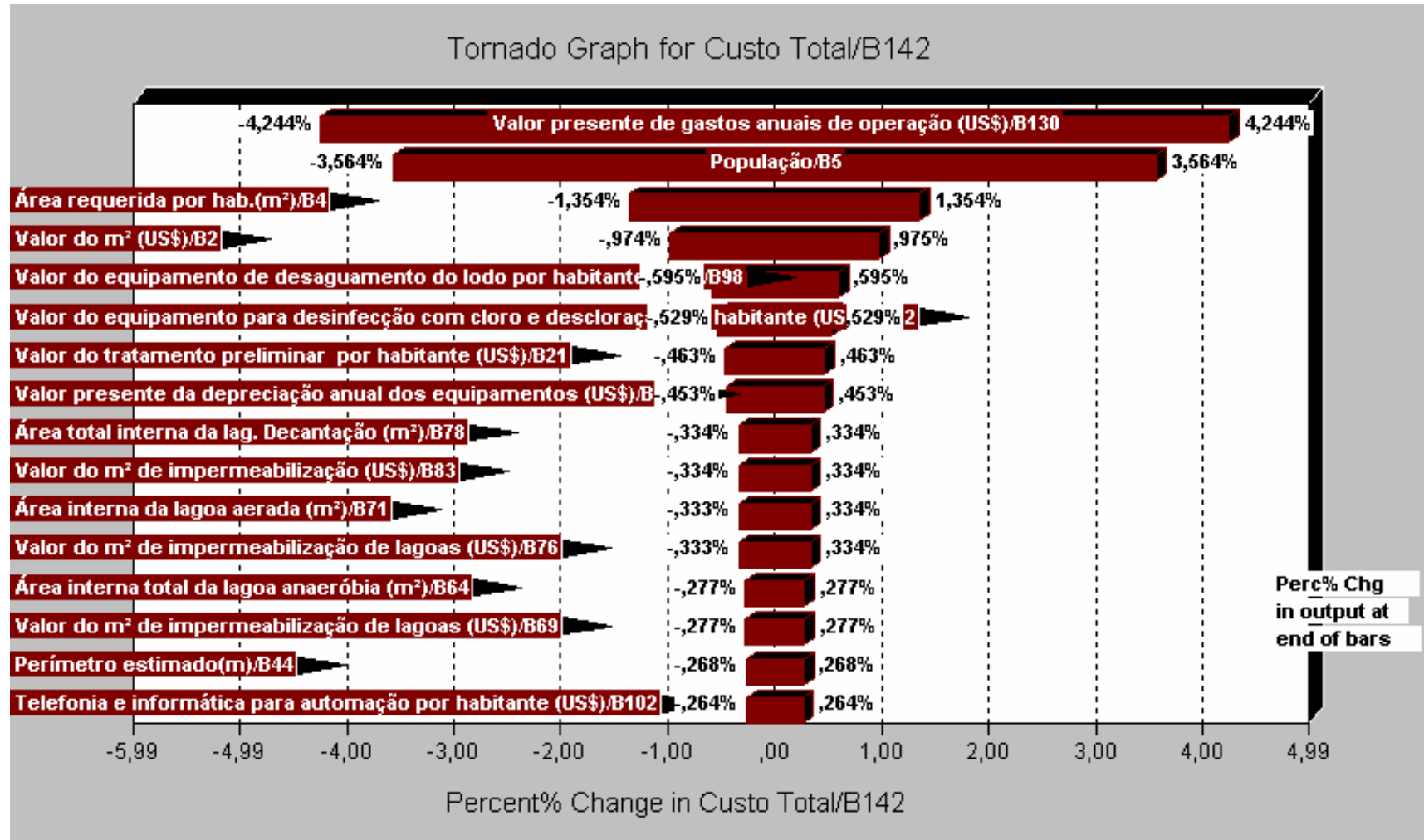


Figura 6.5 – Diagrama de Tornado do Sistema C (Reator UASB seguido de Filtro Biológico), para o Caso 3 (50.000 hab.), com as variáveis de maior impacto no custo total do sistema



**Figura 6.6** – Diagrama de Tornado do Sistema H (Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Aerada e Lagoa de Decantação), para o Caso 3 (50.000 hab.), com as variáveis de maior impacto no custo total do sistema

## **7 – CONCLUSÕES**

---

## 7.1. CONCLUSÕES

A presente pesquisa demonstrou que é possível o uso de técnicas de tomada de decisão, como a árvore de decisão e análise de sensibilidade, para auxiliar a escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário.

O modelo desenvolvido na pesquisa mostrou-se eficaz em identificar as alternativas com menor custo total, a partir do tempo de vida útil estimado para a estação de tratamento.

Nos estudos para diferentes populações, o modelo indicou alternativas distintas, para primeira e segunda melhores opções, indicando não haver tendência em determinadas respostas.

O modelo indicou a necessidade de se efetuar estudos conjuntos de estimativa de custo de implantação com operação e manutenção, uma vez que os melhores custos de implantação ou de operação e manutenção não indicam, necessariamente, a melhor alternativa.

Os resultados dos quatro casos estudados, com diferentes populações, sugerem que para os oito sistemas há diferentes interferências das variáveis. Nos sistemas compostos por reatores ou tanques, o concreto armado e os equipamentos têm forte impacto, enquanto o custo do terreno tem um impacto menor. Ocorre o inverso para sistemas com lagoas, nos quais há forte impacto dos custos de terreno e impermeabilização e impacto menor nos custos com equipamentos.

Os custos de implantação por habitante, resultantes dos estudos com quatro diferentes populações, indicam poder haver uma economia de escala na medida em que esse custo diminui ao se aumentar a população a ser atendida, para um mesmo sistema.

A análise de sensibilidade e o Diagrama de Tornado gerado a partir dela, mostraram-se eficazes na identificação das variáveis de maior impacto no custo total da estação de tratamento.

O modelo, além de indicar as melhores alternativas de tratamento, pode ser usado para pré-dimensionamento das unidades de tratamento, dos equipamentos de aeração e da área necessária para implantação.

A árvore de decisão, além de indicar a melhor alternativa perante as viáveis, identifica a melhor alternativa com determinado processo inicial de tratamento, para o caso do usuário predeterminá-lo.

O modelo é de fácil utilização e alteração, uma vez que foi desenvolvido em programa de computador muito difundido.

Os custos de se fazer orçamentos criteriosos de diversas alternativas de tratamento para, então, identificar as melhores alternativas, poderão ser reduzidos, focando-se nas melhores alternativas sugeridas pelo modelo.

Os resultados encontrados indicam, de maneira promissora, que o modelo poderá auxiliar a escolha de sistemas de tratamento, bem como seu pré-dimensionamento, com base em características peculiares à sua localidade.

## **7.2. SUGESTÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS**

O modelo poderá ser refinado, principalmente com o desenvolvimento de planilhas específicas para o custo de operação, à medida que forem construídos e entrarem em funcionamento sistemas semelhantes, dos quais seja possível a obtenção de dados.

Poderão ser introduzidas novas planilhas com outros processos de tratamento, para aumentar as alternativas possíveis.

Para dar continuidade ao trabalho, pretende-se testar o modelo, com apoio do grupo de pesquisas da qual a autora faz parte, em situações reais de escolha, com vistas ao seu aprimoramento.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas: PRODES**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/prodes/>>. Acesso em: 27 ago. 2004.

ANDERSON, D.R.; SWEENEY, D.J.; WILLIAMS, T.A. **An introduction to management science: quantitative approaches to decision making**. 10 ed. Mason: Thomson, 2003. 881 p.

ARCEIVALA, S.J. **Wastewater Treatment and Disposal**. New York: Marcel Dekker, 1981.

BELANCHE, L.A.; VALDÉS, J.J. ; COMAS, J. ; RODA, I.R. ; POCH, M. Towards a model of input-output behavior of wastewater treatment plants using soft computing techniques. **Environmental Modeling & Software**, London, v.14, p.409-419, 1999.

BJÖRKLUND, J.; GEBER, U.; RYDBERG, T. Emergy analysis of municipal wastewater treatment and generation of electricity by digestion of sewage sludge. **Resources Conservation & Recycling**, London, v.31, p.293-316, 2001.

BLOEMHOF-RUWAAR, Jacqueline M.; VAN BEEK, Paul; HORDIJK, Leen; VAN WASSENHOVE, Luk N. Interactions between operational research and environmental management. **European Journal of Operational Research**, London, v.85, p.229-243, 1995.

BNDES. Tratamento de esgotos: Tecnologias acessíveis. **Informe Infra-Estrutura**, n.16, novembro, 1997.

BOLAÑOS, R.M.L. **Tratamento de fenol em reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) sob condições mesofílicas**. 2001. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

BOLLER, M. Small wastewater treatment plants – A challenge to wastewater engineers. **Water Science and Technology**, London, v.35, n.6, p.1-12, 1997.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305 p.

CAMPOS, J.R. **Alternativas para tratamento de esgotos – Pré-tratamento de águas para abastecimento**. Americana: Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, 1994. 112 p.

CAMPOS, J.R. et al. **Conceitos gerais sobre técnicas de tratamento de águas de abastecimento, esgotos sanitários e desinfecção**. São Carlos: EESC (apostila), jun. 1997. 43 p.

CAMPOS, J.R. (Coord) et al. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES (PROSAB), 1999, 464 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. *apud* ARCEIVALA, S.J. **Wastewater Treatment and Disposal**. New York: Marcel Dekker, 1981.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. *apud* MARA, D.D.; PEARSON, H. Artificial Freshwater Environment: Waste Stabilization Ponds, **Biotechnology**, Weinheim, v.8.

CHANG, N.; WANG, S.F. A grey nonlinear programming approach planning coastal wastewater treatment and disposal systems. **Water Science and Technology**, London, v.32, n.2, p.19-29, 1995.

CHAO, H.; PECK, S. A decision model for environmental R&D. **Environmental International**, New York, v. 25, n. 6/7, p. 871-886, 1999.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária, UFMG, 1997. 245 p.

CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.) et al. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: [s.n.], 2001. 554 p.

CLEMEN, R.T. **Making Hard Decisions: An Introduction to Decision Analysis**. 2.ed. Belmont, CA: Duxbury Press, 1996.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Resolução 20 de 1986**: Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 16 jun. 2003.

COOPER, D.R.; SCHINDLER, P.S. **Métodos de pesquisa em administração**. 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2003. 640 p.

EDITORA ABRIL. Índice A&C. **Arquitetura & Construção**. Disponível em: <<http://arquitetura.abril.ig.com.br/livre/indice/index.shtml>>. Acesso em: 14 set. 2004.

EDITORA PINI. **Preço do metro cúbico de estrutura de concreto armado**. Disponível em: <[http://www.sistrut.com.br/Profissionais/thm\\_PINI.html](http://www.sistrut.com.br/Profissionais/thm_PINI.html)>. Acesso em: 14 set. 2004.

ELIMAM, A.A.; KOHLER, D. Two engineering applications of a constrained shortest-path model. **European Journal of Operational Research**, London, v. 103, n. 3, p. 426-438, 1997.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Onsite Wastewater Treatment Systems Manual**. Disponível em: <[www.epa.gov/ORD/NRMRL/Pubs/625R00008/625R00008prelim.pdf](http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/Pubs/625R00008/625R00008prelim.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2003.

GABALDÓN, C.; FERRER, J.; SECO, A.; MARZAL, P. A software for the integrated design of wastewater treatment plants. **Environmental Modeling & Software**, London, v.13, p. 31-44, 1998.

HALL, E.J.; ZMYSLOWSKA, A. Development of sludge treatment and disposal strategies for large conurbations: Case study – Warsaw. **Water Science and Technology**, London, v.36, n.11, p. 291-298, 1997.

HANAI, F.Y. **Caracterização qualitativa e quantitativa de esgotos sanitários**. 1997. 235 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

HONG, Y.; BHAMIDIMARRI, R. Evolutionary self-organizing modeling of a municipal treatment plant. **Water Research**, London, v. 37, n.6, p. 1199-1212, 2003.

HOWARD, Ronald A. Decision Analysis: practice and promise. **Management Science**, London, v. 34, p. 679-695, 1988.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000**. Disponível em: [http://www.ibge.com.br/home/estatistica/populacao/atlas\\_saneamento/pdfs/mappag53.pdf](http://www.ibge.com.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/pdfs/mappag53.pdf). Acesso em: 07 set. 2004.

KALLER, T.J.J.; MAAS, J.A.W.; ZWAAG, R.R. Transfer and acceptance of UASB technology for domestic wastewater: Two case studies. **Water Science and Technology**, London, v.39, n.5, p.219-225, 1999.

LI, XIAN-WEN Technical economic analysis of stabilization ponds. **Water Science and Technology**, London, v.31, n.12, p.103-110, 1995.

LOETSCHER, Thomas. **Working with you towards appropriate water supply and sanitation**. Disponível em: <<http://www.decisionscape.com.au/>>. Acesso em 17 abr. 2003.

LOOTSMA, F.A. Multicriteria decision analysis in a decision tree. **European Journal of Operational Research**, London, v. 101, p. 442-451, 1997.

MADAENI, S.S.; FANE, A.G.; GROHMANN, G.S. Virus removal from water and wastewater using membranes. **Journal of Membrane Science**. London, v. 102, p. 65-75, 1995.

MARA, D.D.; PEARSON, H. Artificial Freshwater Environment: Waste Stabilization Ponds, **Biotechnology**, Weinheim, v.8.

MCGAHEY, Christopher. **WAWTTAR**. Disponível em: <<http://www.cep.unep.org/pubs/techreports/tr43en/WAWTTAR.htm>>. Acesso em: 18 abr. 2003.

METCALF, A.; EDDY, M. S., **Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1991, 1334 p.

MICROSOFT. **Microsoft Office: Excel**. Disponível em: <<http://office.microsoft.com/pt-br/FX010858001046.aspx>>. Acesso em: 12 mar. 2004.

MOHAMED, S.T. The impact of ISO 14000 on developing world business. **Renewable Energy**, London, v.23, p. 579-584, 2001.

NAGEL, Carsten; MEYER, Peter. Caught between ecology and economy: end-of-life aspects of environmentally conscious manufacturing. **Computers & Industrial Engineering**, London, v.36, p.781-792, 1999.

NARDI, I. R.; ZAIAT, M.; FORESTI, E. Degradação de BTEX em reator anaeróbio horizontal de leito fixo na presença de diferentes aceptores de elétrons. In: OFICINA E

SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA, 2000, Recife. **Anais**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000. v.2, p.151-154.

O'BRIEN, Christopher. Sustainable production – a new paradigm for a new millennium. **International Journal of Production Economics**, London, v.60/61, p. 1-7, 1999.

OLIVEIRA, S.V.W.B. **Avaliação da Degradação e Toxicidade de Formaldeído em Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo**. 2001. 95f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

OLIVEIRA, S. V. W. B et al. Formaldehyde degradation in an anaerobic packed-bed bioreactor. **Water Research**, Londres, v. 38, p. 1685-1694, 2004.

ORON, G. Management modeling of integrative wastewater treatment and reuse systems. **Water Science and technology**, London, v. 33, n. 10-11, p. 95-105, 1996.

PALISADE CORPORATION. **Top Rank**: automated what-if analysis for spreadsheets. (guide to using). Newfiel, NY: Palisade Corporation, July 2000. 260 p.

\_\_\_\_\_. **Decision Tools**. Disponível em: <<http://www.palisade.com/>>. Acesso em: 15 mar. 2004.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO-PNUD. **Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)**. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/idh/>>. Acesso em: 25 ago. 2004.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO – PROSAB. **Sistema de Apoio à Decisão – SAD**. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/download.htm>>. Acesso em 2 out. 2003.

PINDYCK, Robert S. Irreversibilities and the timing of environmental policy. **Resource and Energy Economics**, London, v.22,;p.233-259, 2000.

PORTO, Ruben La Laina (org) et al. **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. Porto Alegre: Ed. Universidade / UFRGS / Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997, 420 p.

RAUCH, W. Problems of decision making for a sustainable development. **Water Science and Technology**, London, v.38, n.11, p.31-39, 1998.

ROCCO, C.M.; MILLER, A.J.; MORENO, J.A.; CARRASQUERO, N.; MEDINA, M. Sensitivity and uncertainty analysis in optimization programs using a evolutionary approach: a maintenance application. **Reliability Engineering & System Safety**, London, v. 67, p. 249-256, 2000.

RODA, I.R.; POCH, M.; BAÑARES-ALCÁNTARA, R. Application of a support system to the design of wastewater treatment plants. **Artificial Intelligence in Engineering**, London, v.14, p.45-61, 1999.

SARKIS, Joseph; CORDEIRO, James J. An empirical evaluation of environmental efficiencies and firm performance: pollution prevention versus end-of-pipe practice. **European Journal of Operational Research**, London, v.135, p.102- 113, 2001.

SEET – SECRETARIA DE ESPORTES E TURISMO DO ESTADO DE SÃO PAULO – COORDENADORIA DE TURISMO. **Boletim informativo mensal**, São Paulo, mar. 2000. Disponível em: <<http://www.c-events.com/seet/seet.htm>>. Acesso em: 29 nov. 2003.

VON SPERLING, M. Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. **Water Science and Technology**, London, v. 33, n. 3, p. 59-72, 1996.

TANG, S. L.; ELLIS, K.V. Wastewater treatment optimization model for developing world. **Journal of Environmental Engineering**, Reston, VA, v. 117, n. 4, 1991.

\_\_\_\_\_. Wastewater treatment optimization model for developing world. II: Model testing. **Journal of Environmental Engineering**, Reston, VA, v. 120, n. 3, 1994.

TAO, Y.X.; HILLS, P. Assessment of alternative wastewater treatment approaches in Guangzhou, China. **Water Science and Technology**, London, v.39, n.5, p.227-234, 1999.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM. **Appropriate Technology for Sewage Pollution Control in the Wider Caribbean Region**. Disponível em : <<http://www.cep.unep.org/pubs/techreports/tr40en/index.html>>. Acesso em: 17 abr. 2003.

\_\_\_\_\_. **Planning and Management of Lakes and Reservoirs: An Integrated Approach to Eutrophication**. Disponível em: <<http://www.unep.or.jp/ietc/publications/techpublications/techpub-11/6-6.asp>>. Acesso em: 17 abril. 2003b.

VANROLLEGHEM, P.A.; JEPPSSON, U.; CARSTENSEN, J.; CARLSSON, B.; OLSSON, G. Integration of wastewater treatment plant design and operation – A systematic approach using cost function. **Water Science and Technology**, London, v.34, n.3-4, p.159-171, 1996.

VARIS, O.; KUIKKA, S. Learning Bayesian decision analysis by doing: lessons from environmental and natural resources management. **Ecological Modeling**, London, v.119, p.177–195, 1999.

VON SPERLING, M. **Lagoas de Estabilização**. 2 ed. Belo Horizonte: Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária, UFMG, 1986. 196 p.

\_\_\_\_\_. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária, UFMG, 1996. 243 p.

\_\_\_\_\_. **Lodos Ativados**. 2 ed. Belo Horizonte: Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária, UFMG, 1997. 428 p.

WEN, C.; LEE C. Development of a cost function for wastewater treatment systems with fuzzy regression. **Fuzzy sets and systems**, London, v.106, p. 143–153, 1999.

WINTGENS, T.; ROSEN, J.; MELIN, T.; BRESPOLS, C.; DRENSLA, K.; ENGELHARDT, N. Modeling of a membrane bioreactor system for municipal wastewater treatment. **Journal of Membrane Science**. London, v. 216, p.55-65, 2003.

WINSTON, W.L. **Operations Research**: applications and algorithms. 3. ed. Belmont: Thomson, 1994, 1318 p.

WUKOVITS, W.; HARASEK, M.; FRIEDL, A. A knowledge based system to support the process selection during wastewater treatment. **Resources, Conservation and Recycling**, London, v. 37, n. 3, p. 205-215, 2003.

XING, C.-H.; TARDIEU, E.; QIAN, Y. ; WEN, X.-H. Ultrafiltration membrane bioreactor for urban wastewater reclamation. **Journal of Membrane Science**. London, v. 177, p. 73-82, 2000.

YANG, C.;KAO, J. An expert system for selecting and sequencing wastewater treatment processes. **Water Science and Technology**, London, v. 34, n. 3-4, p. 347-353, 1996.

**ANEXOS**



## **ANEXO A – Resolução CONAMA N° 20, de 18 de junho de 1986**

Publicado no D.O.U. de 30/07/86

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe confere o art. 7º, inciso IX, do Decreto 88.351, de 1º de junho de 1983, e o que estabelece a RESOLUÇÃO CONAMA N° 003, de 5 de junho de 1984;

Considerando ser a classificação das águas doces, salobras e salinas essencial à defesa de seus níveis de qualidade, avaliados por parâmetros e indicadores específicos, de modo a assegurar seus usos preponderantes;

Considerando que os custos do controle de poluição podem ser melhor adequados quando os níveis de qualidade exigidos, para um determinado corpo d'água ou seus diferentes trechos, estão de acordo com os usos que se pretende dar aos mesmos;

Considerando que o enquadramento dos corpos d'água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade;

Considerando que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados como consequência da deterioração da qualidade das águas;

Considerando a necessidade de se criar instrumentos para avaliar a evolução da qualidade das águas, em relação aos níveis estabelecidos no enquadramento, de forma a facilitar a fixação e controle de metas visando atingir gradativamente os objetivos permanentes;

Considerando a necessidade de reformular a classificação existente, para melhor distribuir os usos, contemplar as águas salinas e salobras e melhor especificar os parâmetros e limites associados aos níveis de qualidade requeridos, sem prejuízo de posterior aperfeiçoamento ;

RESOLVE estabelecer a seguinte classificação das águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional:

Art. 1º - São classificadas, segundo seus usos preponderantes, em nove classes, as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional :

### **ÁGUAS DOCES**

1 - Classe Especial - águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção.
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - Classe 1 - águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho);
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao Solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película.

e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas á alimentação humana.

III - Classe 2 - águas destinadas:

a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;

b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho);

d) à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;

e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

IV - Classe 3 - águas destinadas:

a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;

b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;

c) à dessedentação de animais.

V - Classe 4 - águas destinadas:

a) à navegação;

b) à harmonia paisagística;

c) aos usos menos exigentes.

### **ÁGUAS SALINAS**

VI - Classe 5 - águas destinadas:

a) à recreação de contato primário;

b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

VII - Classe 6 - águas destinadas:

a) à navegação comercial;

b) à harmonia paisagística;

c) à recreação de contato secundário.

### **ÁGUAS SALOBRAS**

VIII - Classe 7 - águas destinadas:

a) à recreação de contato primário;

b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

IX - Classe 8 - águas destinadas:

a) à navegação comercial;

b) à harmonia paisagística;

c) à recreação de contato secundário

Art. 2º - Para efeito desta resolução são adotadas as seguintes definições.

a) CLASSIFICAÇÃO: qualificação das águas doces, salobras e salinas com base nos usos preponderantes (sistema de classes de qualidade).

b) ENQUADRAMENTO: estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado e/ou mantido em um segmento de corpo d'água ao longo do tempo.

c) CONDIÇÃO: qualificação do nível de qualidade apresentado por um segmento de corpo d'água, num determinado momento, em termos dos usos possíveis com segurança adequada.

d) EFETIVAÇÃO DO ENQUADRAMENTO: conjunto de medidas necessárias para colocar e/ou manter a condição de um segmento de corpo d'água em correspondência com a sua classe.

e) ÁGUAS DOCES: águas com salinidade igual ou inferior a 0,50 ‰.

f) ÁGUAS SALOBRAS: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰ e 30 ‰.

g) ÁGUAS SALINAS: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰.

Art. 3º - Para as águas de Classe Especial, são estabelecidos os limites e/ou condições seguintes:

COLIFORMES: para o uso de abastecimento sem prévia desinfecção os coliformes totais deverão estar ausentes em qualquer amostra.

Art. 4º - Para as águas de classe 1, são estabelecidos os limites e/ou condições seguintes:

a) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;

b) óleos e graxas: virtualmente ausentes;

c) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;

d) corantes artificiais: virtualmente ausentes;

e) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes;

f) coliformes: para o uso de recreação de contato primário deverá ser obedecido o Art. 26 desta Resolução. As águas utilizadas para a irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas que se desenvolvam rentes ao Solo e que são consumidas cruas, sem remoção de casca ou película, não devem ser poluídas por excrementos humanos, ressaltando-se a necessidade de inspeções sanitárias periódicas. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes fecais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver na região meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice limite será de 1.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês.

- g) DBO<sub>5</sub> dias a 20°C até 3 mg/l O<sub>2</sub>;
- h) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/l O<sub>2</sub>;
- i) Turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT);
- j) cor: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/l
- l) pH: 6,0 a 9,0;
- m) substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos) :

Alumínio:	0,1 mg/l Al
Amônia não ionizável:	0,02 mg/l NH <sub>3</sub> .
Arsênio:	0,05 mg/l As
Bário:	1,0 mg/l Ba.
Berílio:	0,1 mg/l Be
Boro:	0,75 mg/l B
Benzeno :	0,01 mg/l
Benzo-a-pireno:	0,00001 mg/l
Cádmio:	0,001 mg/l Cd
Cianetos:	0,01 mg/l CN
Chumbo:	0,03 mg/l Pb
Cloretos:	250 mg/l Cl
Cloro Residual:	0,01 mg/l Cl
Cobalto:	0,2 mg/l Co
Cobre:	0,02 mg/l Cu
Cromo Trivalente:	0,5 mg/l Cr
Cromo Hexavalente:	0,05 mg/l Cr
1,1 dicloroetano :	0,0003 mg/l
1,2 dicloroetano:	0,01 mg/l
Estanho;	2,0 mg/l Sn
Índice de Fenóis:	0,001 mg/l C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Ferro solúvel:	0,3 mg/l Fe
Fluoretos:	1,4 mg/l F
Fosfato total:	0,025 mg/l P
Lítio:	2,5 mg/l Li
Manganês:	0,1 mg/l Mn
Merúrio:	0,0002 mg/l Hg
Níquel:	0,025 mg/l Ni
Nitrato:	10 mg/l N
Nitrito:	1,0 mg/l N
Prata:	0,01mg/l Ag
Pentaclorofenol:	0,01 mg/l
Selênio:	0,01mg/l Se
Sólidos dissolvidos totais:	500 mg/l
Substâncias tenso-ativas quereagem com o azul de metileno :	0,5 mg/l LAS
Sulfatos:	250 mg/l SO <sub>4</sub>
Sulfetos (como H <sub>2</sub> S não dissociado):	0,002 mg/l S
Tetracloroetano:	0,01 mg/l
Tricloroetano:	0,03 mg/l
Tetracloro de carbono:	0,003 mg/l
2, 4, 6 triclorofenol:	0,01 mg/l

Urânio total:	0,02 mg/l U
Vanádio:	0,1 mg/l V
Zinco:	0,18 mg/l Zn
Aldrin:	0,01 mg/l
Clordano:	0,04 µg/l
DDT;	0,002 µg/l
Dieldrin:	0,005 µg/l
Endrin:	0,004 µg/l
Endossulfan:	0,056 µg/l
Epóxido de Heptacloro:	0,01 µg/l
Heptacloro:	0,01 µg/l
Lindano (gama.BHC)	0,02 µg/l
Metoxicloro:	0,03 µg/l
Dodecacloro + Nonacloro:	0,001 µg/l
Bifenilas Policloradas (PCB'S):	0,001 µg/l
Toxafeno:	0,01 µg/l
Demeton:	0,1 µg/l
Gution:	0,005 µg/l
Malation:	0,1 µg/l
Paration:	0,04 µg/l
Carbaril:	0,02 µg/l
Compostos organofosforados e carbamatos totais:	10,0 µg/l em Paration
2,4 - D:	4,0 µg/l
2,4,5 - TP:	10,0 µg/l
2,4,5 - T:	2,0 µg/l

Art. 5º - Para as águas de Classe 2, são estabelecidos os mesmos limites ou condições da Classe 1, à exceção dos seguintes:

a) não será permitida a presença de corantes artificiais que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

b) Coliformes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecido o Art. 26 desta Resolução. Para os demais usos, não deverá ser excedido uma limite de 1.000 coliformes fecais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice limite será de até 5.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês;

c) Cor: até 75 mg Pt/l

d) Turbidez: até 100 UNT;

e) DBO<sub>5</sub> dias a 20°C até 5 mg/l O<sub>2</sub>;

f) OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/l O<sub>2</sub>.

Art. 6º - Para as águas de Classe 3 são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

a) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;

b) óleos e graxas: virtualmente ausentes;

c) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;

d) não será permitida a presença de corantes artificiais que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

e) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes;

f) número de coliformes fecais até 4.000 por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, índice limite será de até 20.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês;

g) DBO<sub>5</sub> dias a 20°C até 10 mg/l O<sub>2</sub>;

h) OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/l O<sub>2</sub>

1) Turbidez: até 100 UNT;

j) Cor: até 75 mg Pt/l;

l) pH: 6,0 a 9,0

m) Substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos) :

Alumínio:	0,1 mg/l Al
Arsênio:	0,05 mg/l As
Bário:	1,0 mg/l Ba
Berílio:	0,1 mg/l Be
Boro:	0,75 mg/l B
Benzeno:	0,01 mg/l
Benzo-a-pireno:	0,00001 mg/l
Cádmio:	0,01 mg/l Cd
Cianetos:	0,2 mg/l CN
Chumbo:	0,05 mg/l Pb
Cloretos:	250 mg/l Cl
Cobalto:	0,2 mg/l Co
Cobre:	0,5 mg/l Cu
Cromo Trivalente:	0,5 mg/l Cr
Cromo Hexavalente:	0,05 mg/l Cr
1,1 dicloroetano:	0,0003 mg/l
1.2 dicloroetano:	0,01 mg/l
Estanho:	2,0 mg/l Sn
Índice de Fenóis:	0,3 mg/l C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Ferro solúvel:	5,0 mg/l Fe
Fluoretos:	1,4 mg/l F
Fosfato total:	0,025 mg/l P
Lítio:	2,5 mg/l Li
Manganês:	0,5 mg/l Mn
Mercúrio:	0,002 mg/l Hg
Níquel:	0,025 mg/l Ni
Nitrato:	10 mg/l N
Nitrito:	1,0 mg/l N
Nitrogênio amoniacal:	1,0 mg/l N
Prata:	0,05 mg/l Ag
Pentaclorofenol:	0,01 mg/l
Selênio:	0,01mg/l Se

Sólidos dissolvidos totais:	500 mg/l
Substâncias tenso-ativas que reagem com o azul de metileno:	0,5 mg/l LAS
Sulfatos:	250 mg/l SO <sub>4</sub>
Sulfatos (como H <sub>2</sub> S não dissociado):	0,3 mg/l S
Tetracloroetano:	0,01 mg/l
Tricloroetano:	0,03 mg/l
Tetracloro de Carbono:	0,003 mg/l
2, 4, 6 triclorofenol:	0,01 mg/l
Urânio total:	0,02 mg/l U
Vanádio:	0,1 mg/l V
Zinco:	5,0 mg/l Zn
Aldrin:	0,03 µg/l
Clordano:	0,3 µg/l
DDT:	1,0 µg/l
Dieldrin:	0,03 µg/l
Endrin:	0,2 µg/l
Endossulfan:	150 µg/l
Epóxido de Heptacloro:	0,1 µg/l
Heptacloro:	0,1 µg/l
Lindano (gama-BHC):	3,0 µg/l
Metoxicloro:	30,0 µg/l
Dodecacloro + Nonacloro:	0,001 µg/l
Bifenilas Policloradas (PCB'S):	0,001 µg/l
Toxafeno:	5,0 µg/l
Demeton:	14,0 µg/l
Gution:	0,005 µg/l
Malation:	100,0 µg/l
Paration:	35,0 µg/l
Carbaril:	70,0 µg/l
Compostos organofosforados e carbamatos totais em Paration:	100,0 µg/l
2,4 - D:	20,0 µg/l
2,4,5 - TP:	10,0 µg/l
2,4,5 - T:	2,0 µg/l

Art. 7º - Para as águas de Classe 4, são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

- a) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;
- b) odor e aspecto: não objetáveis;
- c) óleos e graxas: toleram-se iridicências;
- d) substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes;
- e) índice de fenóis até 1,0 mg/l C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH ;
- f) OD superior a 2,0 mg/l O<sub>2</sub>, em qualquer amostra;
- g) pH: 6 a 9.

#### ÁGUAS SALINAS

Art. 8º - Para as águas de Classe 5, são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

- a) materiais flutuantes: virtualmente ausentes;
- b) óleos e graxas: virtualmente ausentes;
- c) substâncias que produzem odor e turbidez: virtualmente ausentes;
- d) corantes artificiais: virtualmente ausentes;
- e) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes;
- f) coliformes: para o uso de recreação de contato primário deverá ser obedecido o Art. 26 desta Resolução. Para o uso de criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana e que serão ingeridas cruas, não deverá ser excedida uma concentração média de 14 coliformes fecais por 100 mililitros, com não mais de 10% das amostras excedendo 43 coliformes fecais por 100 mililitros. Para os demais usos não deverá ser excedido um limite de 1,000 coliformes fecais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês;
- g) DBO<sub>5</sub> dias a 20°C até 5 mg/l O<sub>2</sub> ;
- h) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/l O<sub>2</sub> ;
- i) pH: 6,5 à 8,5, não devendo haver uma mudança do pH natural maior do que 0,2 unidade;
- j) substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos) :

Alumínio:	1,5 mg/l Al
Amônia não ionizável:	0,4 mg/l NH <sub>3</sub>
Arsênio:	0,05 mg/l As
Bário:	1,0 mg/l Ba
Berílio:	1,5 mg/l Be
Boro:	5,0 mg/l B
Cádmio:	0,005 mg/l Cd
Chumbo:	0,01 mg/l Pb
Cianetos:	0,005 mg/l CN
Cloro residual:	0,01 mg/l Cl
Cobre:	0,05 mg/l Cu
Cromo hexavalente:	0,05 mg/l Cr
Estanho:	2,0 mg/l Sn
Índice de fenóis:	0,001 mg/l C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Ferro:	0,3 mg/l Fe
Fluoretos:	1,4 mg/l F
Manganês:	0,1 mg/l Mn
Mercúrio:	0,0001 mg/l Hg
Níquel:	0,1 mg/l Ni
Nitrato:	10,0 mg/l N
Nitrito:	1,0 mg/l N
Prata:	0,005 mg/l Ag
Selênio:	0,01 mg/l Se
Substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno:	0,5 mg/l - LAS
Sulfetos com H <sub>2</sub> S:	0,002 mg/l S

Tálio:	0,1 mg/l TI
Urânio Total:	0,5 mg/l U
Zinco:	0,17 mg/l Zn
Aldrin:	0,003 µg/l
Clordano:	0,004 µg/l
DDT:	0,001 µg/l
Demeton:	0,1 µg/l
Dieldrin:	0,003 µg/l
Endossulfan:	0,034 µg/l
Endrin:	0,004 µg/l
Epóxido de Heptacloro:	0,001 µg/l
Heptacloro:	0,001 µg/l
Metoxicloro:	0,03 µg/l
Lindano (gama - BHC):	0,004 µg/l
Dodecacloro + Nonadoro:	0,001 µg/l
Gution:	0,01 µg/l
Malation:	0,1 µg/l
Paration:	0,04 µg/l
Toxafeno:	0,005 µg/l
Compostos organofosforados e carbamatos totais:	10,0 µg/l em Paration
2,4 .- D:	10,0 µg/l
2, 4, 5 - TP:	10,0 µg/l
2, 4, 5 - T	10,0 µg/l

Art. 9º - Para as águas de Classe 6, são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

- a) materiais flutuantes; virtualmente ausentes;
- b) óleos e graxas: toleram-se iridicências;
- c) substâncias que produzem odor e turbidez: virtualmente ausentes;
- d) corantes artificiais: virtualmente ausentes;
- e) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes;
- f) coliformes: não deverá ser excedido um limite de 4.000 coliformes fecais por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver na região meio disponível para o exame de coliformes fecais, o índice limite será de 20.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês;
- g) DBO<sub>5</sub> dias a 20°C até 10 mg/l O<sub>2</sub>
- h) OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/l O<sub>2</sub>;
- i) pH: 6,5, a 8,5, não devendo haver uma mudança do pH natural maior do que 0,2 unidades;

### ÁGUAS SALOBRAS

Art. 10 - Para as águas de Classe 7, são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

- a) DBO<sub>5</sub> dias a 20°C até 5 mg/l O<sub>2</sub>;

b) OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/l O<sub>2</sub>;

c) pH: 6,5 a 8,5

d) óleos e graxas: virtualmente ausentes;

e) materiais flutuantes: virtualmente ausentes;

f) substâncias que produzem cor, odor e turbidez: virtualmente ausentes;

g) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes;

h) coliformes; para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecido o Art. 26 desta Resolução, Para o uso de criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana e que serão ingeridas cruas, não deverá ser excedido uma concentração média de 14 coliformes fecais por 100 mililitros com não mais de 10% das amostras excedendo 43 coliformes fecais por 100 mililitros. Para os demais usos não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes fecais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais, colhidas em qualquer mês; no caso de não haver na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice limite será de até 5.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais, colhidas em qualquer mês;

i) substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos) ;

Amônia:	0,4 mg/l NH <sub>3</sub>
Arsênio:	0,05 mg/l As
Cádmio:	0,005 mg/l Cd
Cianetos:	0,005 mg/l CN
Chumbo:	0,01 mg/l Pb
Cobre:	0,05 mg/l Cu
Cromo hexavalente:	0,05 mg/l Cr
Índice de fenóis:	0,001 mg/l C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Fluoretos:	1,4 mg/l F
Mercúrio:	0,0001 mg/l Hg
Níquel:	0,1 mg/l Ni
Sulfetos como H <sub>2</sub> S:	0,002 mg/l S
Zinco:	0,17 mg/l Zn
Aldrin:	0,003 µg/l
Clordano:	0,004 µg/l
DDT:	0,001 µg/l
Demeton:	0,1 µg/l
Dieldrin:	0,003 µg/l
Endrin:	0,004 µg/l
Endossulfan:	0,034 µg/l
Epóxido de heptacloro:	0,001 µg/l
Gution:	0,01 µg/l
Heptacloro:	0,001 µg/l
Lindano (gama . BHC):	0,004 µg/l
Malation:	0,1 µg/l
Metoxicloro:	0,03 µg/l
Dodecacloro + Nonacloro:	0,001 µg/l
Paration:	0,04 µg/l
Toxafeno:	0,005 µg/l
Compostos organofosforados e carbamatos totais:	10,0 µg/l em Paration

2,4 - D:	10,0 µg/l
2, 4, 5 - T:	10,0 µg/l
2, 4, 5 - TP:	10,0 µg/l

Art.11 - Para as águas de Classe 8, são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

- a) pH: 5 a 9
- b) OD, em qualquer amostra, não inferior a 3,0 mg/l O<sub>2</sub>;
- c) óleos e graxas: toleram-se iridicências;
- d) materiais flutuantes: virtualmente ausentes;
- e) substâncias que produzem cor, odor e turbidez: virtualmente ausentes;
- f) substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes;
- g) coliformes: não deverá ser excedido um limite de 4.000 coliformes fecais por 100 ml em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes recais, o índice será de 20.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês;

Art. 12 - Os padrões de qualidade das águas estabelecidos nesta Resolução constituem-se em limites individuais para cada substância. Considerando eventuais ações sinérgicas entre as mesmas, estas ou outras não especificadas, não poderão conferir às águas características capazes de causarem efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida.

§ 1º - As substâncias potencialmente prejudiciais a que se refere esta Resolução, deverão ser investigadas sempre que houver suspeita de sua presença,

§ 2º - Considerando as limitações de ordem técnica para a quantificação dos níveis dessas substâncias, os laboratórios dos organismos competentes deverão estruturar-se para atenderem às condições propostas. Nos casos onde a metodologia analítica disponível for insuficiente para quantificar as concentrações dessas substâncias nas águas, os sedimentos e/ou biota aquática deverão ser investigados quanto a presença eventual dessas substâncias.

Art. 13 - Os limites de DBO, estabelecidos para as Classes 2 e 3, poderão ser elevados, caso o estudo da capacidade de autodepuração do corpo receptor demonstre que os teores mínimos de OD, previstos, não serão desobedecidos em nenhum ponto do mesmo, nas condições críticas de vazão ( $Q_{crit.} = Q_{7,10}$ , onde  $Q_{7,10}$ , é a média das mínimas de 7 (sete) dias consecutivos em 10 (dez) anos de recorrência de cada seção do corpo receptor).

Art. 14 - Para os efeitos desta Resolução, consideram-se entes, cabendo aos órgãos de controle ambiental, quando necessário, quantificá-los para cada caso.

Art. 15 - Os órgãos de controle ambiental poderão acrescentar outros parâmetros ou tornar mais restritivos os estabelecidos nesta Resolução, tendo em vista as condições locais.

Art. 16 - Não há impedimento no aproveitamento de águas de melhor qualidade em usos menos exigentes, desde que tais usos não prejudiquem a qualidade estabelecida para essas águas.

Art. 17 - Não será permitido o lançamento de poluentes nos mananciais sub-superficiais.

Art. 18 - Nas águas de Classe Especial não serão tolerados lançamentos de águas residuárias, domésticas e industriais, lixo e outros resíduos sólidos, substâncias potencialmente tóxicas, defensivos agrícolas, fertilizantes químicos e outros poluentes, mesmo tratados. Caso sejam utilizadas para o abastecimento doméstico deverão ser submetidas a uma inspeção sanitária preliminar.

Art. 19 - Nas águas das Classes 1 a 8 serão tolerados lançamentos de desejos, desde que, além de atenderem ao disposto no Art. 21 desta Resolução, não venham a fazer com que os limites estabelecidos para as respectivas classes sejam ultrapassados.

Art. 20 - Tendo em vista os usos fixados para as Classes, os órgãos competentes enquadrarão as águas e estabelecerão programas de controle de poluição para a efetivação dos respectivos enquadramentos, obedecendo ao seguinte:

- a) o corpo de água que, na data de enquadramento, apresentar condição em desacordo com a sua classe (qualidade inferior à estabelecida,), será objeto de providências com prazo determinado visando a sua recuperação, excetuados os parâmetros que excedam aos limites devido às condições naturais;
- b) o enquadramento das águas federais na classificação será procedido pela SEMA, ouvidos o Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográfica; - CEEIBH e outras entidades públicas ou privadas interessadas;
- c) o enquadramento das águas estaduais será efetuado pelo órgão estadual competente, ouvidas outras entidades públicas ou privadas interessadas;
- d) os órgãos competentes definirão as condições específicas de qualidade dos corpos de água intermitentes;
- e) os corpos de água já enquadrados na legislação anterior, na data da publicação desta Resolução, serão objetos de reestudo a fim de a ela se adaptarem;
- f) enquanto não forem feitos os enquadramentos, as águas doces serão consideradas Classe 2, as salinas Classe 5 e as salobras Classe 7, porém, aquelas enquadradas na legislação anterior permanecerão na mesma classe até o reenquadramento;
- g) os programas de acompanhamento da condição dos corpos de água seguirão normas e procedimentos a serem estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

Art. 21 - Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam às seguintes condições:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura : inferior a 40°C, sendo que a elevação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 ml/litro em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor;
- e) óleos e graxas:
  - óleos minerais até 20 mg/l

- óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg/l;

f) ausência de materiais flutuantes;

g) valores máximos admissíveis das seguintes substâncias:

Amônia:	5,0 mg/l N
Arsênio total:	0,5 mg/l As
Bário:	5,0 mg/ Ba
Boro:	5,0 mg/l B
Cádmio:	0,2 mg/l Cd
Cianetos:	0,2 mg/l CN
Chumbo:	0,5 mg/l Pb
Cobre:	1,0 mg/l Cu
Cromo hexavalente:	0,5 mg/l Cr
Cromo trivalente:	2,0 mg/l Cr
Estanho:	4,0 mg/l Sn
Índice de fenóis:	0,5 mg/l C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Ferro solúvel:	15,0 mg/l Fe
Fluoretos:	10,0 mg/l F
Manganês solúvel:	1,0 mg/l Mn
Merúrio:	0,01 mg/l Hg
Níquel:	2,0 mg/l Ni
Prata:	0,1 mg/l Ag
Selênio:	0,05 mg/l Se
Sulfetos:	1,0 mg/l S
Sulfito:	1,0 mg/l SO <sub>3</sub>
Zinco:	5,0 mg/l Zn
Compostos organofosforados e carbonatos totais:	1,0 mg/l em Paration
Sulfeto de carbono:	1,0 mg/l
Tricloroeteno:	1,0 mg/l
Clorofórmio :	1,0 mg/l
Tetracloroeto de Carbono:	1,0 mg/l
Dicloroeteno:	1,0 mg/l
Compostos organoclorados não listados acima (pesticidas, solventes, etc):	0,05 mg/l
outras substâncias em concentrações que poderiam ser prejudiciais: de acordo com limites a serem fixados pelo CONAMA.	

h) tratamento especial, se provierem de hospitais e outros estabelecimentos nos quais haja despejos infectados com microorganismos patogênicos.

Art. 22 - Não será permitida a diluição de efluentes industriais com águas não poluídas, tais como água de abastecimento, água de mar e água de refrigeração.

Parágrafo Único - Na hipótese de fonte de poluição geradora de diferentes despejos ou emissões individualizadas, os limites constantes desta regulamentação aplicar-se-ão a cada um deles ou ao conjunto após a mistura, a critério do órgão competente.

Art. 23 - Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características em desacordo com o seu enquadramento nos termos desta Resolução.

Parágrafo Único - Resguardados os padrões de qualidade do corpo receptor, demonstrado por estudo de impacto ambiental realizado pela entidade responsável pela emissão, o competente poderá

autorizar lançamentos acima dos limites estabelecidos no Art. 21, fixando o tipo de tratamento e as condições para esse lançamento.

Art. 24 - Os métodos de coleta e análise das águas devem ser os especificados nas normas aprovadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial - INMETRO ou, na ausência delas, no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WPCF, última edição, ressalvado o disposto no Art. 12. O índice de fenóis deverá ser determinado conforme o método 510 B do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16ª edição, de 1985.

Art. 25 - As indústrias que, na data da publicação desta Resolução, possuírem instalações ou projetos de tratamento de seus despejos, aprovados por órgão integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, que atendam à legislação anteriormente em vigor, terão prazo de três (3) anos, prorrogáveis até cinco (5) anos, a critério do Estadual Local, para se enquadrarem nas exigências desta Resolução. No entanto, as citadas instalações de tratamento deverão ser mantidas em operação com a capacidade, condições de funcionamento e demais características para as quais foram aprovadas, até que se cumpram as disposições desta Resolução.

### **BALNEABILIDADE**

Art. 26 - As águas doces, salobras e salinas destinadas à balneabilidade (recreação de contato primário) serão enquadradas e terão sua condição avaliada nas categorias EXCELENTE, MUITO BOA, SATISFATÓRIA e IMPRÓPRIA, da seguinte forma:

a) EXCELENTE (3 estrelas) : Quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das 5 semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 250 coliformes fecais por 1,00 mililitros ou 1.250 coliformes totais por 100 mililitros;

b) MUITO BOAS (2 estrelas): Quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das 5 semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 500 coliformes fecais por 100 mililitros ou 2.500 coliformes totais por 100 mililitros;

c) SATISFATÓRIAS (1 estrela): Quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das 5 semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo 1.000 coliformes fecais por 100 mililitros ou 5.000 coliformes totais por 100 mililitros;

d) IMPRÓPRIAS: Quando ocorrer, no trecho considerado, qualquer uma das seguintes circunstâncias:

1. não enquadramento em nenhuma das categorias anteriores, por terem ultrapassado os índices bacteriológicos nelas admitidos;

2. ocorrência, na região, de incidência relativamente elevada ou anormal de enfermidades transmissíveis por via hídrica, a critério das autoridades sanitárias;

3. sinais de poluição por esgotos, perceptíveis pelo olfato ou visão;

4. recebimento regular, intermitente ou esporádico, de esgotos por intermédio de valas, corpos d'água ou canalizações, inclusive galerias de águas pluviais, mesmo que seja de forma diluída;

5. presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer riscos à saúde ou tornar desagradável a recreação;

6. pH menor que 5 ou maior que 8,5 ;

7. presença, na água, de parasitas que afetem o homem ou a constatação da existência de seus hospedeiros intermediários infectados;

8. presença, nas águas doces, de moluscos transmissores potenciais de esquistossomo, caso em que os avisos de interdição ou alerta deverão mencionar especificamente esse risco sanitário;

9. outros fatores que contra-indiquem, temporariamente ou permanentemente, o exercício da recreação de contato primário.

Art. 27 - No acompanhamento da condição das praias ou balneários as categorias EXCELENTE, MUITO BOA e SATISFATÓRIA poderão ser reunidas numa única categoria denominada PRÓPRIA.

Art. 28 - Se a deterioração da qualidade das praias ou balneários ficar caracterizada como decorrência da lavagem de vias públicas pelas águas da chuva, ou como consequência de outra causa qualquer, essa circunstância deverá ser mencionada no Boletim de condição das praias e balneários.

Art. 29 - A coleta de amostras será feita, preferencialmente, nos dias de maior afluência do público às praias ou balneários.

Art. 30 - Os resultados dos exames poderão, também, se referir a períodos menores que 5 semanas, desde que cada um desses períodos seja especificado e tenham sido colhidas e examinadas, pelo menos, 5 amostras durante o tempo mencionado.

Art. 31 - Os exames de colimetria, previstos nesta Resolução, sempre que possível, serão feitos para a identificação e contagem de coliformes fecais, sendo permitida a utilização de índices expressos em coliformes totais, se a identificação e contagem forem difíceis ou impossíveis.

Art. 32 - À beira mar, a coleta de amostra para a determinação do número de coliformes fecais ou totais deve ser, de preferência, realizada nas condições de maré que apresentem, costumeiramente, no local, contagens bacteriológicas mais elevadas.

Art. 33 - As praias e outros balneários deverão ser interditados se o órgão de controle ambiental, em qualquer dos seus níveis (Municipal, Estadual ou Federal), constatar que a má qualidade das águas de recreação primária justifica a medida.

Art. 34 - Sem prejuízo do disposto no artigo anterior, sempre que houver uma afluência ou extravasamento de esgotos capaz de oferecer sério perigo em praias ou outros balneários, o trecho afetado deverá ser sinalizado, pela entidade responsável, com bandeiras vermelhas constando a palavra POLUÍDA em cor negra.

### **DISPOSIÇÕES GERAIS**

Art. 35 - Aos órgãos de controle ambiental compete a aplicação desta Resolução, cabendo-lhes a fiscalização para o cumprimento da legislação, bem como a aplicação das penalidades previstas, inclusive a interdição de atividades industriais poluidoras.

Art. 36 - Na inexistência de entidade estadual encarregada do controle ambiental ou se, existindo, apresentar falhas, omissões ou prejuízo sensíveis aos usos estabelecidos para as águas, a Secretaria Especial do Meio Ambiente poderá agir diretamente, em caráter supletivo.

Art. 37 - Os estaduais de controle ambiental manterão a Secretaria Especial do Meio Ambiente informada sobre os enquadramentos dos corpos de água que efetuarem, bem como das normas e padrões complementares que estabelecerem.

Art. 38 - Os estabelecimentos industriais, que causam ou possam causar poluição das águas, devem informar ao órgão de controle ambiental, o volume e o tipo de seus efluentes, os equipamentos e dispositivos antipoluidores existentes, bem como seus planos de ação de emergência, sob pena das sanções cabíveis, ficando o referido órgão obrigado a enviar cópia dessas informações ao IBAMA, à STI (MIC), ao IBGE (SEPLAN) e ao DNAEE (MME).

Art. 39 - Os Estados, Territórios e o Distrito Federal, através dos respectivos órgãos de controle ambiental, deverão exercer sua atividade orientadora, fiscalizadora e punitiva das atividades potencialmente poluidoras instaladas em seu território, ainda que os corpos de água prejudicados não sejam de seu domínio ou jurisdição.

Art. 40 - O não cumprimento ao disposto nesta Resolução acarretará aos infratores as sanções previstas na Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e sua regulamentação pelo Decreto nº 88.351, de 01 de junho de 1983.

Art. 41 - Esta Resolução entrará em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Deni Lineu Schwartz  
Presidente

## **ANEXO B – Portaria nº. 518, de 25 de março de 2004**

Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

O MINISTRO DE ESTADO DA SAÚDE, INTERINO, no uso de suas atribuições e considerando o disposto no Art. 2º do Decreto nº 79.367, de 9 de março de 1977, resolve:

Art. 1º Aprovar a Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano, na forma do Anexo desta Portaria, de uso obrigatório em todo território nacional.

Art. 2º Fica estabelecido o prazo máximo de 12 meses, contados a partir da publicação desta Portaria, para que as instituições ou órgãos aos quais esta Norma se aplica, promovam as adequações necessárias a seu cumprimento, no que se refere ao tratamento por filtração de água para consumo humano suprida por manancial superficial e distribuída por meio de canalização e da obrigação do monitoramento de cianobactérias e cianotoxinas.

Art. 3º É de responsabilidade da União, dos Estados, dos Municípios e do Distrito Federal a adoção das medidas necessárias para o fiel cumprimento desta Portaria.

Art. 4º O Ministério da Saúde promoverá, por intermédio da Secretaria de Vigilância em Saúde - SVS, a revisão da Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano estabelecida nesta Portaria, no prazo de 5 anos ou a qualquer tempo, mediante solicitação devidamente justificada de órgãos governamentais ou não governamentais de reconhecida capacidade técnica nos setores objeto desta regulamentação.

Art. 5º Fica delegada competência ao Secretário de Vigilância em Saúde para editar, quando necessário, normas regulamentadoras desta Portaria.

Art. 6º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 7º Fica revogada a Portaria nº 1469, de 29 de dezembro de 2000, publicada no DOU nº 1-E de 2 de janeiro de 2001, Seção 1, página nº 19.

GASTÃO WAGNER DE SOUSA CAMPOS

ANEXO

NORMA DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Capítulo I

DAS DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

Art. 1º Esta Norma dispõe sobre procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelece seu padrão de potabilidade e dá outras providências.

Art. 2º Toda a água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água.

Art. 3º Esta Norma não se aplica às águas envasadas e a outras, cujos usos e padrões de qualidade são estabelecidos em legislação específica.

## Capítulo II

### DAS DEFINIÇÕES

Art. 4º Para os fins a que se destina esta Norma, são adotadas as seguintes definições:

I - água potável - água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde;

II - sistema de abastecimento de água para consumo humano - instalação composta por conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão;

III - solução alternativa de abastecimento de água para consumo humano - toda modalidade de abastecimento coletivo de água distinta do sistema de abastecimento de água, incluindo, entre outras, fonte, poço comunitário, distribuição por veículo transportador, instalações condominiais horizontal e vertical;

IV - controle da qualidade da água para consumo humano - conjunto de atividades exercidas de forma contínua pelos responsáveis pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição;

V - vigilância da qualidade da água para consumo humano - conjunto de ações adotadas continuamente pela autoridade de saúde pública, para verificar se a água consumida pela população atende à esta Norma e para avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água representam para a saúde humana;

VI - coliformes totais (bactérias do grupo coliforme) - bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a  $35,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$  em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima  $\beta$ -galactosidase.

A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo;

VII - coliformes termotolerantes - subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a  $44,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$  em 24 horas;

tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal;

VIII - *Escherichia Coli* - bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a  $44,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$  em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidroliza a uréia e apresenta atividade das enzimas  $\beta$  galactosidase e  $\beta$  glucuronidase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos;

IX - contagem de bactérias heterotróficas - determinação da densidade de bactérias que são capazes de produzir unidades formadoras de colônias (UFC), na presença de compostos orgânicos contidos em meio de cultura apropriada, sob condições pré-estabelecidas de incubação:  $35,0, \pm 0,5^\circ\text{C}$  por 48 horas;

X - cianobactérias - microorganismos procarióticos autotróficos, também denominados como cianofíceas (algas azuis), capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial especialmente naqueles com elevados níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo), podendo produzir toxinas com efeitos adversos à saúde; e

XI - cianotoxinas - toxinas produzidas por cianobactérias que apresentam efeitos adversos à saúde por ingestão oral, incluindo:

a) microcistinas - hepatotoxinas heptapeptídicas cíclicas produzidas por cianobactérias, com efeito potente de inibição de proteínas fosfatases dos tipos 1 e 2A e promotoras de tumores;

b) cilindrospermopsina - alcalóide guanidínico cíclico produzido por cianobactérias, inibidor de síntese protéica, predominantemente hepatotóxico, apresentando também efeitos citotóxicos nos rins, baço, coração e outros órgãos; e

c) saxitoxinas - grupo de alcalóides carbamatos neurotóxicos produzido por cianobactérias, não sulfatados (saxitoxinas) ou sulfatados (goniautoxinas e C-toxinas) e derivados decarbamil, apresentando efeitos de inibição da condução nervosa por bloqueio dos canais de sódio.

### Capítulo III

#### DOS DEVERES E DAS RESPONSABILIDADES

##### Seção I

##### Do Nível Federal

Art. 5º São deveres e obrigações do Ministério da Saúde, por intermédio da Secretaria de Vigilância em Saúde - SVS:

I. - promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água, em articulação com as Secretarias de Saúde dos Estados e do Distrito Federal e com os responsáveis pelo controle de qualidade da água, nos termos da legislação que regulamenta o SUS;

II - estabelecer as referências laboratoriais nacionais e regionais, para dar suporte às ações de maior complexidade na vigilância da qualidade da água para consumo humano;

III - aprovar e registrar as metodologias não contempladas nas referências citadas no artigo 17 desta Norma;

IV - definir diretrizes específicas para o estabelecimento de um plano de amostragem a ser implementado pelos Estados, Distrito Federal ou Municípios, no exercício das atividades de vigilância da qualidade da água, no âmbito do Sistema Único de Saúde - SUS; e

V - executar ações de vigilância da qualidade da água, de forma complementar, em caráter excepcional, quando constatada, tecnicamente, insuficiência da ação estadual, nos termos da regulamentação do SUS.

## Seção II

### Do Nível Estadual e Distrito Federal

Art. 6º São deveres e obrigações das Secretarias de Saúde dos Estados e do Distrito Federal:

I - promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água em sua área de competência, em articulação com o nível municipal e os responsáveis pelo controle de qualidade da água, nos termos da legislação que regulamenta o SUS;

II - garantir, nas atividades de vigilância da qualidade da água, a implementação de um plano de amostragem pelos municípios, observadas as diretrizes específicas a serem elaboradas pela SVS/MS;

III - estabelecer as referências laboratoriais estaduais e do Distrito Federal para dar suporte às ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano; e

IV - executar ações de vigilância da qualidade da água, de forma complementar, em caráter excepcional, quando constatada, tecnicamente, insuficiência da ação municipal, nos termos da regulamentação do SUS.

## Seção III

### Do Nível Municipal

Art. 7º São deveres e obrigações das Secretarias Municipais de Saúde:

I - exercer a vigilância da qualidade da água em sua área de competência, em articulação com os responsáveis pelo controle de qualidade da água, de acordo com as diretrizes do SUS;

II - sistematizar e interpretar os dados gerados pelo responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, assim como, pelos órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, em relação às características da água nos mananciais, sob a perspectiva da vulnerabilidade do abastecimento de água quanto aos riscos à saúde da população;

III - estabelecer as referências laboratoriais municipais para dar suporte às ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano;

IV - efetuar, sistemática e permanentemente, avaliação de risco à saúde humana de cada sistema de abastecimento ou solução alternativa, por meio de informações sobre:

- a) a ocupação da bacia contribuinte ao manancial e o histórico das características de suas águas;
- b) as características físicas dos sistemas, práticas operacionais e de controle da qualidade da água;
- c) o histórico da qualidade da água produzida e distribuída; e
- d) a associação entre agravos à saúde e situações de vulnerabilidade do sistema.

V - auditar o controle da qualidade da água produzida e distribuída e as práticas operacionais adotadas;

VI - garantir à população informações sobre a qualidade da água e riscos à saúde associados, nos termos do inciso VI do artigo 9 desta Norma;

VII - manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível à população e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública;

VIII - manter mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água e para a adoção das providências pertinentes;

IX - informar ao responsável pelo fornecimento de água para consumo humano sobre anomalias e não conformidades detectadas, exigindo as providências para as correções que se fizerem necessárias;

X - aprovar o plano de amostragem apresentado pelos responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, que deve respeitar os planos mínimos de amostragem expressos nas Tabelas 6, 7, 8 e 9;

XI - implementar um plano próprio de amostragem de vigilância da qualidade da água, consoante diretrizes específicas elaboradas pela SVS; e

XII - definir o responsável pelo controle da qualidade da água de solução alternativa.

#### Seção IV

##### Do Responsável pela Operação de Sistema e/ou Solução Alternativa

Art. 8º Cabe aos responsáveis pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, exercer o controle da qualidade da água.

Parágrafo único. Em caso de administração, em regime de concessão ou permissão do sistema de abastecimento de água, é a concessionária ou a permissionária a responsável pelo controle da qualidade da água.

Art. 9º Aos responsáveis pela operação de sistema de abastecimento de água incumbe:

I - operar e manter sistema de abastecimento de água potável para a população consumidora, em conformidade com as normas técnicas aplicáveis publicadas pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas e com outras normas e legislações pertinentes;

II - manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, por meio de:

- a) controle operacional das unidades de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição;
- b) exigência do controle de qualidade, por parte dos fabricantes de produtos químicos utilizados no tratamento da água e de materiais empregados na produção e distribuição que tenham contato com a água;
- c) capacitação e atualização técnica dos profissionais encarregados da operação do sistema e do controle da qualidade da água; e
- d) análises laboratoriais da água, em amostras provenientes das diversas partes que compõem o sistema de abastecimento.

III - manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída;

IV - encaminhar à autoridade de saúde pública, para fins de comprovação do atendimento a esta Norma, relatórios mensais com informações sobre o controle da qualidade da água, segundo modelo estabelecido pela referida autoridade;

V - promover, em conjunto com os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, as ações cabíveis para a proteção do manancial de abastecimento e de sua bacia contribuinte, assim como efetuar controle das características das suas águas, nos termos do artigo 19 desta Norma, notificando imediatamente a autoridade de saúde pública sempre que houver indícios de risco à saúde ou sempre que amostras coletadas apresentarem resultados em desacordo com os limites ou condições da respectiva classe de enquadramento, conforme definido na legislação específica vigente;

VI - fornecer a todos os consumidores, nos termos do Código de Defesa do Consumidor, informações sobre a qualidade da água distribuída, mediante envio de relatório, dentre outros mecanismos, com periodicidade mínima anual e contendo, no mínimo, as seguintes informações:

- a) descrição dos mananciais de abastecimento, incluindo informações sobre sua proteção, disponibilidade e qualidade da água;
- b) estatística descritiva dos valores de parâmetros de qualidade detectados na água, seu significado, origem e efeitos sobre a saúde; e
- c) ocorrência de não conformidades com o padrão de potabilidade e as medidas corretivas providenciadas.

VII - manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível aos consumidores e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública;

VIII - comunicar, imediatamente, à autoridade de saúde pública e informar, adequadamente, à população a detecção de qualquer anomalia operacional no sistema ou não conformidade na qualidade da água tratada, identificada como de risco à saúde, adotando-se as medidas previstas no artigo 29 desta Norma; e

IX - manter mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água e para a adoção das providências pertinentes.

Art. 10. Ao responsável por solução alternativa de abastecimento de água, nos termos do inciso XII do artigo 7 desta Norma, incumbe:

I - requerer, junto à autoridade de saúde pública, autorização para o fornecimento de água apresentando laudo sobre a análise da água a ser fornecida, incluindo os parâmetros de qualidade previstos nesta Portaria, definidos por critério da referida autoridade;

II - operar e manter solução alternativa que forneça água potável em conformidade com as normas técnicas aplicáveis, publicadas pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, e com outras normas e legislações pertinentes;

III - manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, por meio de análises laboratoriais, nos termos desta Portaria e, a critério da autoridade de saúde pública, de outras medidas conforme inciso II do artigo anterior;

IV - encaminhar à autoridade de saúde pública, para fins de comprovação, relatórios com informações sobre o controle da qualidade da água, segundo modelo e periodicidade estabelecidos pela referida autoridade, sendo no mínimo trimestral;

V - efetuar controle das características da água da fonte de abastecimento, nos termos do artigo 19 desta Norma, notificando, imediatamente, à autoridade de saúde pública sempre que houver indícios de risco à saúde ou sempre que amostras coletadas apresentarem resultados em desacordo com os limites ou condições da respectiva classe de enquadramento, conforme definido na legislação específica vigente;

VI - manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível aos consumidores e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública;

VII - comunicar, imediatamente, à autoridade de saúde pública competente e informar, adequadamente, à população a detecção de qualquer anomalia identificada como de risco à saúde, adotando-se as medidas previstas no artigo 29; e

VIII - manter mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água e para a adoção das providências pertinentes.

#### Capítulo IV

#### DO PADRÃO DE POTABILIDADE

Art.11. A água potável deve estar em conformidade com o padrão microbiológico conforme Tabela 1, a seguir:

#### Tabela 1

Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano

PARÂMETRO	VMP <sup>(1)</sup>
Água para consumo humano <sup>(2)</sup>	
Escherichia coli ou coliformes termotolerantes <sup>(3)</sup>	Ausência em 100ml
Água na saída do tratamento	
Coliformes totais	Ausência em 100ml
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede)	
Escherichia coli ou coliformes termotolerantes <sup>(3)</sup>	Ausência em 100ml
Coliformes totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês:
	Ausência em 100ml em 95% das amostras examinadas no mês;
	Sistemas que analisam menos de 40 amostras por mês:
	Apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100ml

## NOTAS:

(1) Valor Máximo Permitido.

(2) água para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, dentre outras.

(3) a detecção de Escherichia coli deve ser preferencialmente adotada.

§ 1º No controle da qualidade da água, quando forem detectadas amostras com resultado positivo para coliformes totais, mesmo em ensaios presuntivos, novas amostras devem ser coletadas em dias imediatamente sucessivos até que as novas amostras revelem resultado satisfatório.

§ 2º Nos sistemas de distribuição, a coleta deve incluir, no mínimo, três amostras simultâneas, sendo uma no mesmo ponto e duas outras localizadas a montante e a jusante.

§ 3º Amostras com resultados positivos para coliformes totais devem ser analisadas para Escherichia coli e, ou, coliformes termotolerantes, devendo, neste caso, ser efetuada a verificação e confirmação dos resultados positivos.

§ 4º O percentual de amostras com resultado positivo de coliformes totais em relação ao total de amostras coletadas nos sistemas de distribuição deve ser calculado mensalmente, excluindo as amostras extras (coleta).

§ 5º O resultado negativo para coliformes totais das amostras extras (recoletas) não anula o resultado originalmente positivo no cálculo dos percentuais de amostras com resultado positivo.

§ 6º Na proporção de amostras com resultado positivo admitidas mensalmente para coliformes totais no sistema de distribuição, expressa na Tabela 1, não são tolerados resultados positivos que ocorram em coleta, nos termos do § 1º deste artigo.

§ 7º Em 20% das amostras mensais para análise de coliformes totais nos sistemas de distribuição, deve ser efetuada a contagem de bactérias heterotróficas e, uma vez excedidas 500 unidades formadoras de colônia (UFC) por ml, devem ser providenciadas imediata coleta, inspeção local e, se constatada irregularidade, outras providências cabíveis.

§ 8º Em complementação, recomenda-se a inclusão de pesquisa de organismos patogênicos, com o objetivo de atingir, como meta, um padrão de ausência, dentre outros, de enterovírus, cistos de *Giardia spp* e oocistos de *Cryptosporidium sp*.

§ 9º Em amostras individuais procedentes de poços, fontes, nascentes e outras formas de abastecimento sem distribuição canalizada, tolera-se a presença de coliformes totais, na ausência de *Escherichia coli* e, ou, coliformes termotolerantes, nesta situação devendo ser investigada a origem da ocorrência, tomadas providências imediatas de caráter corretivo e preventivo e realizada nova análise de coliformes.

Art. 12. Para a garantia da qualidade microbiológica da água, em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos, deve ser observado o padrão de turbidez expresso na Tabela 2, abaixo:

Tabela 2

Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção

TRATAMENTO DA ÁGUA	VMP <sup>(1)</sup>
Desinfecção (água subterrânea)	1,0 UT <sup>(2)</sup> em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	1,0 UT <sup>(2)</sup>
Filtração lenta	2,0 UT <sup>(2)</sup> em 95% das amostras

NOTAS:

(1) Valor máximo permitido.

(2) Unidade de turbidez.

§ 1º Entre os 5% dos valores permitidos de turbidez superiores aos VMP estabelecidos na Tabela 2, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 UT, assegurado, simultaneamente, o atendimento ao VMP de 5,0 UT em qualquer ponto da rede no sistema de distribuição.

§ 2º Com vistas a assegurar a adequada eficiência de remoção de enterovírus, cistos de *Giardia spp* e oocistos de *Cryptosporidium sp.*, recomenda-se, enfaticamente, que, para a filtração rápida, se estabeleça como meta a obtenção de efluente filtrado com valores de turbidez inferiores a 0,5 UT em 95% dos dados mensais e nunca superiores a 5,0 UT.

§ 3º O atendimento ao percentual de aceitação do limite de turbidez, expresso na Tabela 2, deve ser verificado, mensalmente, com base em amostras no mínimo diárias para desinfecção ou filtração lenta e a cada quatro horas para filtração rápida, preferivelmente, em qualquer caso, no efluente individual de cada unidade de filtração.

Art. 13. Após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede de distribuição, recomendando-se que a cloração seja realizada em pH inferior a 8,0 e tempo de contato mínimo de 30 minutos.

Parágrafo único. Admite-se a utilização de outro agente desinfetante ou outra condição de operação do processo de desinfecção, desde que fique demonstrado pelo responsável pelo sistema de tratamento uma eficiência de inativação microbiológica equivalente à obtida com a condição definida neste artigo.

Art. 14. A água potável deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco para a saúde expresso na Tabela 3, a seguir:

Tabela 3

Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde

PARÂMETRO	Unidade	VMP <sup>(1)</sup>
<b>INORGÂNICAS</b>		
Antimônio	mg/L	0,005
Arsênio	mg/L	0,01
Bário	mg/L	0,7
Cádmio	mg/L	0,005
Cianeto	mg/L	0,07
Chumbo	mg/L	0,01
Cobre	mg/L	2
Cromo	mg/L	0,05
Fluoreto <sup>(2)</sup>	mg/L	1,5
Mercúrio	mg/L	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	10
Nitrito (como N)	mg/L	1
Selênio	mg/L	0,01
<b>ORGÂNICAS</b>		
Acrilamida	µg/L	0,5
Benzeno	µg/L	5
Benzo[a]pireno	µg/L	0,7
Cloreto de Vinila	µg/L	5
1,2 Dicloroetano	µg/L	10
1,1 Dicloroetano	µg/L	30
Diclorometano	µg/L	20
Estireno	µg/L	20
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	2
Tetracloroetano	µg/L	40
Triclorobenzenos	µg/L	20
Tricloroetano	µg/L	70

AGROTÓXICOS		
Alaclor	µg/L	20,0
Aldrin e Dieldrin	µg/L	0,03
Atrazina	µg/L	2
Bentazona	µg/L	300
Clordano (isômeros)	µg/L	0,2
2,4 D	µg/L	30
DDT (isômeros)	µg/L	2
Endossulfan	µg/L	20
Endrin	µg/L	0,6
Glifosato	µg/L	500
Heptacloro e Heptacloro epóxido	µg/L	0,03
Hexaclorobenzeno	µg/L	1
Lindano (g-BHC)	µg/L	2
Metolacloro	µg/L	10
Metoxicloro	µg/L	20
Molinato	µg/L	6
Pendimetalina	µg/L	20
Pentaclorofenol	µg/L	9
Permetrina	µg/L	20
Propanil	µg/L	20
Simazina	µg/L	2
Trifluralina	µg/L	20
CIANOTOXINAS		
Microcistinas <sup>(3)</sup>	µg/L	1,0
DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECÇÃO		
Bromato	mg/L	0,025
Clorito	mg/L	0,2
Cloro livre <sup>(4)</sup>	mg/L	5
Monocloramina	mg/L	3
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	0,2
Trihalometanos Total	mg/L	0,1

## NOTAS:

(1) Valor Máximo Permitido.

(2) Os valores recomendados para a concentração de íon fluoreto devem observar à legislação específica vigente relativa à fluoretação da água, em qualquer caso devendo ser respeitado o VMP desta Tabela.

(3) É aceitável a concentração de até 10 µg/L de microcistinas em até 3 (três) amostras, consecutivas ou não, nas análises realizadas nos últimos 12 (doze) meses.

(4) Análise exigida de acordo com o desinfetante utilizado.

§ 1º Recomenda-se que as análises para cianotoxinas incluam a determinação de cilindrospermopsina e saxitoxinas (STX), observando, respectivamente, os valores limites de 15,0 µg/L e 3,0 µg/L de equivalentes STX/L.

§ 2º Para avaliar a presença dos inseticidas organofosforados e carbamatos na água, recomenda-se a determinação da atividade da enzima acetilcolinesterase, observando os limites máximos de 15% ou 20% de inibição enzimática, quando a enzima utilizada for proveniente de insetos ou mamíferos, respectivamente.

Art. 15. A água potável deve estar em conformidade com o padrão de radioatividade expresso na Tabela 4, a seguir:

Tabela 4

Padrão de radioatividade para água potável

Parâmetro	Unidade	VMP <sup>(1)</sup>
Radioatividade alfa global	Bq/L	0,1 <sup>(2)</sup>
Radioatividade beta global	Bq/L	1,0 <sup>(2)</sup>

NOTAS:

(1) Valor máximo permitido.

(2) Se os valores encontrados forem superiores aos VMP, deverá ser feita a identificação dos radionuclídeos presentes e a medida das concentrações respectivas. Nesses casos, deverão ser aplicados, para os radionuclídeos encontrados, os valores estabelecidos pela legislação pertinente da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, para se concluir sobre a potabilidade da água.

Art. 16. A água potável deve estar em conformidade com o padrão de aceitação de consumo expresso na Tabela 5, a seguir:

Tabela 5

Padrão de aceitação para consumo humano

PARÂMETRO	Unidade	VMP <sup>(1)</sup>
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH <sub>3</sub> )	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	uH <sup>(2)</sup>	15
Dureza	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1

Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Odor	-	Não objetável <sup>(3)</sup>
Gosto	-	Não objetável <sup>(3)</sup>
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1.000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	UT <sup>(4)</sup>	5
Zinco	mg/L	5
Xileno	mg/L	0,3

§ 1º Recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

§ 2º Recomenda-se que o teor máximo de cloro residual livre, em qualquer ponto do sistema de abastecimento, seja de 2,0 mg/L.

§ 3º Recomenda-se a realização de testes para detecção de odor e gosto em amostras de água coletadas na saída do tratamento e na rede de distribuição de acordo com o plano mínimo de amostragem estabelecido para cor e turbidez nas Tabelas 6 e 7.

Art. 17. As metodologias analíticas para determinação dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e de radioatividade devem atender às especificações das normas nacionais que disciplinem a matéria, da edição mais recente da publicação Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, de autoria das instituições American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF), ou das normas publicadas pela ISO (International Standartization Organization).

§ 1º Para análise de cianobactérias e cianotoxinas e comprovação de toxicidade por bioensaios em camundongos, até o estabelecimento de especificações em normas nacionais ou internacionais que disciplinem a matéria, devem ser adotadas as metodologias propostas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em sua publicação Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management.

§ 2º Metodologias não contempladas nas referências citadas no § 1º e ?caput? deste artigo, aplicáveis aos parâmetros estabelecidos nesta Norma, devem, para ter validade, receber aprovação e registro pelo Ministério da Saúde.

§ 3º As análises laboratoriais para o controle e a vigilância da qualidade da água podem ser realizadas em laboratório próprio ou não que, em qualquer caso, deve manter programa de controle de qualidade interna ou externa ou ainda ser acreditado ou certificado por órgãos competentes para esse fim.

## Capítulo V

### DOS PLANOS DE AMOSTRAGEM

Art. 18. Os responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água devem elaborar e aprovar, junto à autoridade de saúde pública, o plano de amostragem de cada sistema, respeitando os planos mínimos de amostragem expressos nas Tabelas 6, 7, 8 e 9.

NOTAS:

(1) Valor máximo permitido.

(2) Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).

(3) critério de referência

(4) Unidade de turbidez.

Tabela 6

Número mínimo de amostras para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial

PARÂMETRO	TIPO DE MANANCIAL	SAÍDA DO TRATAMENTO (NÚMERO AMOSTRAS POR UNIDADE DE TRATAMENTO)	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (RESERVATÓRIOS E REDE)		
			População abastecida		
			< 50.000 hab.	50.000 a 250.000 hab.	> 250.000 hab.
Cor	Superficial	1	10	1 para cada 5.000 hab.	40 + (1 para cada 25.000 hab.)
Turbidez					
pH	Subterrâneo	1	5	1 para cada 10.000 hab.	20 + (1 para cada 50.000 hab.)
CRL <sup>(1)</sup>	Superficial	1	(Conforme § 3º do artigo 18).		
	Subterrâneo	1			
Fluoreto	Superficial ou Subterrâneo	1	5	1 para cada 10.000 hab.	20 + (1 para cada 50.000 hab.)
Cianotoxinas	Superficial	1  (Conforme § 5º do artigo 18)	-	-	-
Trihalometanos	Superficial	1	1 <sup>(2)</sup>	4 <sup>(2)</sup>	4 <sup>(2)</sup>
	Subterrâneo	-	1 <sup>(2)</sup>	1 <sup>(2)</sup>	1 <sup>(2)</sup>
Demais parâmetros <sup>(3)</sup>	Superficial ou Subterrâneo	1	1 <sup>(4)</sup>	1 <sup>(4)</sup>	1 <sup>(4)</sup>

NOTAS:

(1) Cloro residual livre.

(2) As amostras devem ser coletadas, preferencialmente, em pontos de maior tempo de detenção da água no sistema de distribuição.

(3) Apenas será exigida obrigatoriedade de investigação dos parâmetros radioativos quando da evidência de causas de radiação natural ou artificial.

(4) Dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento e, ou, no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

Tabela 7

Frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial.

PARÂMETRO	TIPO DE MANANCIAL	SAÍDA DO TRATAMENTO (FREQUÊNCIA POR UNIDADE DE TRATAMENTO)	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (RESERVATÓRIO E REDE)		
			População abastecida		
			<50.000 hab.	50.000 a 250.000 hab.	> 250.000 hab.
Cor	Superficial	A cada 2 horas	Mensal	Mensal	Mensal
Turbidez	Subterrâneo	Diária			
pH					
Fluoreto					
CRL <sup>(1)</sup>	Superficial	A cada 2 horas	(Conforme § 3º do artigo 18).		
	Subterrâneo	Diária			
Cianotoxinas	Superficial	Semanal (Conforme § 5º do artigo 18)	-	-	-
Trihalometanos	Superficial	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral
	Subterrâneo	-	Anual	Semestral	Semestral
Demais parâmetros <sup>(2)</sup>	Superficial ou Subterrâneo	Semestral	Semestral <sup>(3)</sup>	Semestral <sup>(3)</sup>	Semestral <sup>(3)</sup>

NOTAS:

(1) Cloro residual livre.

(2) Apenas será exigida obrigatoriedade de investigação dos parâmetros radioativos quando da evidência de causas de radiação natural ou artificial.

(3) Dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento e, ou, no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

Tabela 8

Número mínimo de amostras mensais para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises microbiológicas, em função da população abastecida.

PARÂMETRO	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (RESERVATÓRIOS E REDE)			
	População abastecida			
	< 5.000 hab.	5.000 a 20.000 hab.	20.000 a 250.000 hab.	> 250.000 hab.
Coliformes totais	10	1 para cada 500 hab.	30 + (1 para cada 2.000 hab.)	105 + (1 para cada 5.000 hab.) Máximo de 1.000

NOTA: na saída de cada unidade de tratamento devem ser coletadas, no mínimo, 2 (duas) amostras semanais, recomendando-se a coleta de, pelo menos, 4 (quatro) amostras semanais.

Tabela 9

Número mínimo de amostras e frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de solução alternativa, para fins de análises físicas, químicas e microbiológicas, em função do tipo de manancial e do ponto de amostragem.

PARÂMETRO	TIPO DE MANANCIAL	SAÍDA DO TRATAMENTO (para água canalizada)	NÚMERO DE AMOSTRAS RETIRADAS NO PONTO DE CONSUMO <sup>(1)</sup> (para cada 500 hab.)	FREQÜÊNCIA DE AMOSTRAGEM
Cor, turbidez, pH e coliformes totais <sup>(2)</sup>	Superficial	1	1	Semanal
	Subterrâneo	1	1	Mensal
CRL <sup>(2) (3)</sup>	Superficial ou Subterrâneo	1	1	Diário

NOTAS:

(1) Devem ser retiradas amostras em, no mínimo, 3 pontos de consumo de água.

(2) Para veículos transportadores de água para consumo humano, deve ser realizada 1 (uma) análise de CRL em cada carga e 1 (uma) análise, na fonte de fornecimento, de cor, turbidez, PH e coliformes totais com frequência mensal, ou outra amostragem determinada pela autoridade de saúde pública.

(3) Cloro residual livre.

§ 1º A amostragem deve obedecer aos seguintes requisitos:

I - distribuição uniforme das coletas ao longo do período; e

II - representatividade dos pontos de coleta no sistema de distribuição (reservatórios e rede), combinando critérios de abrangência espacial e pontos estratégicos, entendidos como aqueles próximos a grande circulação de pessoas (terminais rodoviários, terminais ferroviários, etc.) ou edifícios que alberguem grupos populacionais de risco (hospitais, creches, asilos, etc.), aqueles localizados em trechos vulneráveis do sistema de distribuição (pontas de rede, pontos de queda de pressão, locais afetados por manobras, sujeitos à intermitência de abastecimento, reservatórios, etc.) e locais com sistemáticas notificações de agravos à saúde tendo como possíveis causas agentes de veiculação hídrica.

§ 2º No número mínimo de amostras coletadas na rede de distribuição, previsto na Tabela 8, não se incluem as amostras extras (recoletas).

§ 3º Em todas as amostras coletadas para análises microbiológicas deve ser efetuada, no momento da coleta, medição de cloro residual livre ou de outro composto residual ativo, caso o agente desinfetante utilizado não seja o cloro.

§ 4º Para uma melhor avaliação da qualidade da água distribuída, recomenda-se que, em todas as amostras referidas no § 3º deste artigo, seja efetuada a determinação de turbidez.

§ 5º Sempre que o número de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, exceder 20.000 células/ml (2mm<sup>3</sup>/L de biovolume), durante o monitoramento que trata o § 1º do artigo 19, será exigida a análise semanal de cianotoxinas na água na saída do tratamento e nas entradas (hidrômetros) das clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis, sendo que esta análise pode ser dispensada quando não houver comprovação de toxicidade na água bruta por meio da realização semanal de bioensaios em camundongos.

Art. 19. Os responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistemas e de soluções alternativas de abastecimento supridos por manancial superficial devem coletar amostras semestrais da água bruta, junto do ponto de captação, para análise de acordo com os parâmetros exigidos na legislação vigente de classificação e enquadramento de águas superficiais, avaliando a compatibilidade entre as características da água bruta e o tipo de tratamento existente.

§ 1º O monitoramento de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, deve obedecer frequência mensal, quando o número de cianobactérias não exceder 10.000 células/ml (ou 1mm<sup>3</sup>/L de biovolume), e semanal, quando o número de cianobactérias exceder este valor.

§ 2º É vedado o uso de algicidas para o controle do crescimento de cianobactérias ou qualquer intervenção no manancial que provoque a lise das células desses microrganismos, quando a densidade das cianobactérias exceder 20.000 células/ml (ou 2mm<sup>3</sup>/L de biovolume), sob pena de comprometimento da avaliação de riscos à saúde associados às cianotoxinas.

Art. 20. A autoridade de saúde pública, no exercício das atividades de vigilância da qualidade da água, deve implementar um plano próprio de amostragem, consoante diretrizes específicas elaboradas no âmbito do Sistema Único de Saúde - SUS.

## DAS EXIGÊNCIAS APLICÁVEIS AOS SISTEMAS E SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Art. 21. O sistema de abastecimento de água deve contar com responsável técnico, profissionalmente habilitado.

Art. 22. Toda água fornecida coletivamente deve ser submetida a processo de desinfecção, concebido e operado de forma a garantir o atendimento ao padrão microbiológico desta Norma.

Art. 23. Toda água para consumo humano suprida por manancial superficial e distribuída por meio de canalização deve incluir tratamento por filtração.

Art. 24. Em todos os momentos e em toda sua extensão, a rede de distribuição de água deve ser operada com pressão superior à atmosférica.

§ 1º Caso esta situação não seja observada, fica o responsável pela operação do serviço de abastecimento de água obrigado a notificar a autoridade de saúde pública e informar à população, identificando períodos e locais de ocorrência de pressão inferior à atmosférica.

§ 2º Excepcionalmente, caso o serviço de abastecimento de água necessite realizar programa de manobras na rede de distribuição, que possa submeter trechos a pressão inferior à atmosférica, o referido programa deve ser previamente comunicado à autoridade de saúde pública.

Art. 25. O responsável pelo fornecimento de água por meio de veículos deve:

I - garantir o uso exclusivo do veículo para este fim;

II - manter registro com dados atualizados sobre o fornecedor e, ou, sobre a fonte de água; e

III - manter registro atualizado das análises de controle da qualidade da água.

§ 1º A água fornecida para consumo humano por meio de veículos deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L.

§ 2º O veículo utilizado para fornecimento de água deve conter, de forma visível, em sua carroceria, a inscrição: "ÁGUA POTÁVEL".

## Capítulo VII

### DAS PENALIDADES

Art. 26. Serão aplicadas as sanções administrativas cabíveis, aos responsáveis pela operação dos sistemas ou soluções alternativas de abastecimento de água, que não observarem as determinações constantes desta Portaria.

Art. 27. As Secretarias de Saúde dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios estarão sujeitas a suspensão de repasse de recursos do Ministério da Saúde e órgãos ligados, diante da inobservância do contido nesta Portaria.

Art. 28. Cabe ao Ministério da Saúde, por intermédio da SVS/MS, e às autoridades de saúde pública dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, representadas pelas respectivas Secretarias de Saúde ou órgãos equivalentes, fazer observar o fiel cumprimento desta Norma, nos termos da legislação que regulamenta o Sistema Único de Saúde - SUS.

## Capítulo VIII

### DAS DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 29. Sempre que forem identificadas situações de risco à saúde, o responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água e as autoridades de saúde pública devem estabelecer entendimentos para a elaboração de um plano de ação e tomada das medidas cabíveis, incluindo a eficaz comunicação à população, sem prejuízo das providências imediatas para a correção da anormalidade.

Art. 30. O responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água pode solicitar à autoridade de saúde pública a alteração na frequência mínima de amostragem de determinados parâmetros estabelecidos nesta Norma.

Parágrafo único. Após avaliação criteriosa, fundamentada em inspeções sanitárias e, ou, em histórico mínimo de dois anos do controle e da vigilância da qualidade da água, a autoridade de saúde pública decidirá quanto ao deferimento da solicitação, mediante emissão de documento específico.

Art. 31. Em função de características não conformes com o padrão de potabilidade da água ou de outros fatores de risco, a autoridade de saúde pública competente, com fundamento em relatório técnico, determinará ao responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água que amplie o número mínimo de amostras, aumente a frequência de amostragem ou realize análises laboratoriais de parâmetros adicionais ao estabelecido na presente Norma.

Art. 32. Quando não existir na estrutura administrativa do Estado a unidade da Secretaria de Saúde, os deveres e responsabilidades previstos no artigo 6º desta Norma serão cumpridos pelo órgão equivalente.