

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Alternativas Sustentáveis de Tratamento de Esgotos Sanitários
Urbanos, Através de Sistemas Descentralizados, para Municípios de
Pequeno Porte

Paulo Robinson da Silva Samuel

Porto Alegre
2011

Paulo Robinson da Silva Samuel

**ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS SANITÁRIOS URBANOS, ATRAVÉS DE
SISTEMAS DESCENTRALIZADOS, PARA MUNICÍPIOS DE
PEQUENO PORTE**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE
EM ENGENHARIA.

Porto Alegre
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S193a Samuel, Paulo Robinson da Silva.
Alternativas sustentáveis de tratamento de esgotos sanitários urbanos, através de sistemas descentralizados, para municípios de pequeno porte / Paulo Robinson da Silva Samuel. – 2011.
169 f. : il. ; 29 cm.

Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.
Orientação: Profº. PhD. Miguel Aloysio Sattler.

1. Engenharia Civil. 2. Sustentabilidade ambiental. 3. Tratamento de esgoto – Feliz, RS. 4. Qualidade da água. 5. Esgoto – Sistema descentralizado. I. Sattler, Miguel Aloysio. II. Título.

CDU 628.3

Bibliotecária Responsável: Deisi Hauenstein CRB-10/1479

PAULO ROBINSON DA SILVA SAMUEL

**ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS SANITÁRIOS URBANOS, ATRAVÉS DE
SISTEMAS DESCENTRALIZADOS, PARA MUNICÍPIOS DE
PEQUENO PORTE**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Área de Concentração Construção, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, de de 2011.

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD pela Universidade de Sheffield / UK
Orientador

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Karla Salvagni Heineck (Escola de Engenharia/UFRGS)
Dr^a. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Gino Roberto Gehling (IPH - UFRGS)
Dr. pela Universitat Politècnica de Catalunya

Prof^a. Teresinha Guerra (UFRGS)
Dr^a. pela Universidade Federal Fluminense

Prof^a. Sandra Márcia Cesário Pereira da Silva (Universidade Estadual de Londrina)
Dr^a. pela Universidade de São Paulo

Aos meus filhos Felipe e Matheus e à Susana, minha
mulher, incentivadores e companheiros de todos os
momentos, pelo amor e compreensão.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela oportunidade de realizar este sonho.

A sociedade brasileira, que através de seus impostos, tem oportunizado o desenvolvimento do ensino público neste país.

Ao PPGEC da UFRGS por oportunizar a realização do curso e o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler, orientador deste trabalho pela receptividade e pelos ensinamentos.

A Prof^a Teresinha Guerra, pelas valiosíssimas sugestões apresentadas no desenvolvimento desta dissertação.

Ao Prof. Darci Campani, pela amizade, incentivo e a confiança.

Ao Marcos Raimundo Martiny, “Macaco”, guardião do rio Caí, pelo auxílio e a logística na realização dos trabalhos de campo.

Ao Eng^o Tiago Moch, da Prefeitura de Feliz, pela colaboração prestada e o fornecimento dos dados que subsidiaram esta pesquisa.

Aos meus amigos e colegas da Coordenadoria da Gestão Ambiental, da Abes e do Comitê Gravatahy, pelo apoio constante.

A Anna Glade e Maria Izair, pela amizade e a colaboração constante.

Aos meus pais, pelo apoio constante na busca de minhas realizações.

A Susana, pelo amor, paciência e o incentivo nestes 30 anos de convivências.

Aos meus filhos Felipe e Matheus, pela paciência e o carinho de todos os dias, principalmente, no período da realização deste trabalho.

E a todos que, direta ou indiretamente, auxiliaram na realização deste trabalho.

Se planejamos para um ano,
plantamos arroz.
Se planejamos para dez anos,
plantamos árvores.
Se planejamos para cem anos,
preparamos pessoas.

Provérbio chinês

RESUMO

SAMUEL, P. R. S. **Alternativas Sustentáveis de Tratamento de Esgotos Sanitários Urbanos, através de Sistemas Descentralizados, para Municípios de Pequeno Porte.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

A precariedade do tratamento dos esgotos sanitários no país, principalmente em pequenos municípios, aliado à falta de recursos financeiros, necessitam apoio tecnológico e científico, sendo motivo de preocupação e atenção. O **objetivo geral** deste trabalho é propor alternativas de sistemas de tratamento de esgotos sanitários urbanos para a cidade de Feliz/RS, município brasileiro de pequeno porte, visando à melhoria da qualidade dos seus recursos hídricos. Para a realização deste trabalho foi necessário realizar o diagnóstico do sistema de tratamento de esgotos sanitários na área urbana do município; avaliar o impacto gerado pelos esgotos sanitários urbanos no manancial hídrico do município e propor sistemas de tratamento de esgotos sanitários mais sustentáveis e que atendam os padrões de emissões de efluentes líquidos, permitidos pela legislação, em águas superficiais. A **estratégia de pesquisa** adotada neste trabalho foi a pesquisa construtiva, cuja **metodologia** foi dividida em três etapas: I) delimitação da área geográfica e análise documental; II) levantamento quantitativo de domicílios, por bairro, e coleta de amostras de água, em três pontos do manancial que banha o município de Feliz; III) apresentação de propostas de sistemas de tratamento de esgotos sanitários. Nas etapas II e III houve a aplicação do modelo matemático, QUAL2K, no trecho do rio estudado, no município de Feliz, simulando as diversas condições da qualidade da água e comparando-as com os padrões de emissões de efluentes permitidos pela legislação, em águas superficiais. Os **resultados** mostraram que a região urbana do município de Feliz apresenta inexpressivos índices de tratamento de esgotos domésticos. Os esgotos lançados sem tratamento, provenientes das redes pluviais, são os principais poluentes do rio, na área urbana. Foram pesquisados sistemas descentralizados de tratamento de esgotos propostos, entre os quais: wetlands, UASB e filtro anaeróbio, e tanque séptico e infiltração. A simulação mostra que estes sistemas propostos poderão se tornar efetivos, no sentido de tratar os esgotos domésticos urbanos de forma mais sustentável e na redução dos níveis dos parâmetros analisados, embora não atinjam os limites estabelecidos pela legislação, para que o trecho estudado possa ser enquadrado como atendendo à legislação e aos anseios da população local.

Palavras-chave: *município de Feliz/RS; qualidade da água; sistemas descentralizados de tratamento de esgoto.*

ABSTRACT

SAMUEL, P. R. S. **Sustainable Alternatives for Treatment of Urban Sewage for Small Municipalities through Decentralized Systems.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

The lack of adequate sewage treatment in the country, especially in small municipalities, together with the scarceness of financial resources, requires technological and scientific support, being a major concern and asks for the due attention. **The general objective** of this work is to propose alternative systems of urban sewage treatment for the municipality of Feliz, a small Brazilian municipality in the State of Rio Grande do Sul, , , aiming at improving the quality of its water resources. The elaboration of this work included a system diagnosis of sewage treatment in the urban area, the assessment of the impact of sewage generated by urban water sources and a proposal for the treatment of sewage systems in a more sustainable way, that meets the emissions standards for effluents , as allowed by legislation, in surface waters. **The research strategy** adopted in this work was the **constructive research**, whose **methodology** was applied in three steps: I) a geographical area delimitation and documental analysis II) a quantitative survey of households, by area, and collection of water samples at three points in the river that crosses the town of Feliz, III) a presentation of proposals for more sustainable sewage systems treatment. In stages II and III a mathematical model, QUAL2K, was applied in the studied stretch of the river, simulating the various conditions of water quality and comparing them with the effluent emissions standards allowed by law, in surface waters. **The results** showed that the urban area of Feliz presents a very low rate of domestic sewage treatment. The untreated sewage released into the local system of stormwater is the main pollutant of the river in the urban area. The following decentralized systems of sewage treatment were studied: wetlands, anaerobic filter and UASB and septic tank and seepage. The simulation showed that these proposed systems can be effective in order to treat more sustainably the domestic sewage and to reduce the levels of the analyzed parameters, although not reaching the limits established by the legislation for the studied stretch so to enabled it to be framed as being in compliance with the Brazilian legislation and with the wishes of the local community.

Keywords: *Municipality of Feliz; water quality, decentralized systems of sewage treatment.*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 QUESTÃO DE PESQUISA	19
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos Específicos	20
1.3 DELIMITAÇÕES	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 O CICLO DA ÁGUA E SEUS DIVERSOS USOS	21
2.1.1 Ciclo hidrológico da água	21
2.1.1.1 Precipitação.....	23
2.1.1.2 escoamento superficial.....	25
2.1.1.3 Percolação	26
2.1.1.4 Infiltração	27
2.1.1.5 Evaporação.....	28
2.1.1.6 Evapotranspiração	29
2.1.2 O volume de água existente no planeta	30
2.1.3 Os múltiplos usos da água	32
2.1.4 A poluição das águas	34
2.1.5 As impurezas encontradas na água	36
2.1.5.1 Tipos de impurezas encontradas na água.....	37
2.2 SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	37
2.3 CIDADES SUSTENTÁVEIS.....	39
2.4 ESGOTOS SANITÁRIOS	41
2.4.1 Esgotos sanitários e sua composição	41
2.4.2 Características físicas dos esgotos domésticos	42
2.4.3 Características químicas dos esgotos domésticos	43
2.4.4 Características biológicas dos esgotos domésticos	45
2.4.5 Principais doenças causadas pelos esgotos domésticos	46

2.4.5.1 Doenças veiculadas por ingestão	46
2.4.5.2 Doenças veiculadas pelo contato com a pele ou com as mucosas	46
2.4.6 Sistemas de tratamento de esgotos domésticos.....	46
2.4.7 Sistemas de tratamento de esgotos descentralizados.....	52
2.4.8 Sistemas de tratamento de esgotos centralizados	53
2.5 LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS, DE RECURSOS HÍDRICOS E DE SANEAMENTO ..	54
2.5.1 Legislação ambiental e de recursos hídricos	54
2.5.2 Legislação sobre saneamento	60
3 MATERIAL E MÉTODOS	70
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	70
3.1.1 Caracterização da bacia hidrográfica do rio Caí.....	70
3.1.2 Demanda hídrica e qualidade das águas	74
3.1.3 Geologia e geomorfologia	76
3.1.3.1 Geologia.....	76
3.1.3.2 Geomorfologia	78
3.1.4 Clima.....	80
3.1.5 Usos do solo.....	83
3.1.6 Plano de Bacia e enquadramento.....	84
3.1.6.1 Plano de bacia	84
3.1.6.2 Enquadramento	85
3.1.7 Município de Feliz	88
3.1.7.1 Situação e localização.....	88
3.1.7.2 População.....	89
3.1.7.3 Área urbana e rural.....	91
3.1.7.4 Aspectos econômicos	91
3.1.7.5 Recursos hídricos no município	91
3.1.7.6 Saneamento no município.....	93
3.2 ESTRATÉGIA DE PESQUISA	99
3.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA	100

3.3.1 Etapa 1- Delimitação da área de estudo e coleta de dados secundários	101
3.3.2 Etapa 2 – Coleta de dados primários.....	101
3.3.3 Etapa 3 – Propostas das alternativas de tratamento de esgotos sanitários sustentáveis para municípios de pequeno porte.....	109
4 RESULTADOS e DISCUSSÃO.....	113
4.1 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO DA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE FELIZ	113
4.2 AVALIAÇÃO DO IMPACTO GERADO PELOS ESGOTOS SANITÁRIOS DO MUNICÍPIO DE FELIZ NO RIO CAÍ.....	124
4.2.1 Qualidade da água, por ponto de amostragem.....	124
4.2.2 Simulação da qualidade da água no trecho rio que banha o município de Feliz	130
4.3 PROPOSTAS DE IMPLANTAÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS.....	139
4.3.1 Simulação da qualidade da água no trecho do rio Caí, após a implantação das alternativas sustentáveis de tratamento de esgoto sanitário.....	141
4.3.1.1 Simulações com base na vazão mínima, 6,89 m ³ /s: sem tratamento de esgoto, com 53% e 100% dos esgotos sanitários tratados.	141
4.3.1.2 Simulações com base na vazão máxima, 61,89 m ³ /s: sem tratamento de esgoto, com 53% e 100% dos esgotos domésticos tratados.	149
5 CONCLUSÕES	157
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	157
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	159
REFERÊNCIAS.....	160

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema do ciclo da água	22
Figura 2: Diagrama esquemático de uma estação de tratamento de esgotos	48
Figura 3: Operações, processos e sistemas de tratamento utilizados para remoção de poluentes.....	50
Figura 4: Eficiências típicas de remoção dos principais poluentes nos esgotos domésticos	51
Figura 5: Desenho esquemático de um Sistema de Esgotamento Sanitário e seus principais componentes	53
Figura 6: Regiões Hidrográficas.....	71
Figura 7: Desenho esquemático de uma bacia hidrográfica.....	72
Figura 8: Bacia Hidrográfica do Caí.....	73
Figura 9: Estimativas das demandas hídricas superficiais anuais na Bacia do Caí.....	75
Figura 10: Mapa geológico da bacia hidrográfica do Caí.....	78
Figura 11: Retirada de cascalho no rio Caí	78
Figura 12: Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Caí	80
Figura 13: Clima da bacia hidrográfica do Caí.....	81
Figura 14: Isoietas de precipitação média anual na bacia hidrográfica do rio Caí.....	82
Figura 15: Distribuição das categorias de uso do solo na bacia do Caí.....	83
Figura 16: Reunião pública para o enquadramento da bacia do rio Caí.....	86
Figura 17: Mapa de enquadramento da bacia do rio Caí	87
Figura 18: Mapa Político da Situação e Localização do Município de Feliz-RS.....	89
Figura 19: Mapa da Distribuição da população no Município de Feliz.....	90
Figura 20: Mapa Hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Caí.....	92
Figura 21: Mapa Hidrológico do município de Feliz.....	93
Figura 22: Principais pontos de lançamento de drenagem superficial.....	95
Figura 23: Lançamento da rede de drenagem superficial mista.....	95
Figura 24: Localização do poço artesiano nº 12 do setor de abastecimento R4 e do reservatório elevado, do setor de abastecimento R6, com volume de 50 m ³	97
Figura 25: Sistema de abastecimento de água da área urbana de Feliz	98
Figura 26: Delineamento da pesquisa	100

Figura 27: Mapa da Zona Urbana do Município de Feliz	103
Figura 28: Croqui do Município de FELIZ-RS, localizando os pontos onde foram coletadas as amostras de água analisadas em laboratório	105
Figura 29: Medição de parâmetros e preparação da amostra coletada	106
Figura 30: Coleta de amostra de água no ponto 1	107
Figura 31: Metodologias utilizadas para análises das águas	108
Figura 32: Localização dos pontos de monitoramento, postos fluviométricos e áreas de drenagem da área em estudo.....	111
Figura 33: Mapa do município de Feliz com a delimitação da área urbana.....	115
Figura 34: Destino do esgoto sanitário no município de Feliz.....	117
Figura 35: Destino do esgoto sanitário da zona urbana do município de Feliz.....	118
Figura 36: Localização das estações de tratamento de esgotos cloacais, na zona urbana do Município de Feliz	119
Figura 37: Projeto de Esgotamento Cloacal, mapa de localização	120
Figura 38: Chegada de material para construção da estação de tratamento de esgoto sanitário da Rua Ermindo Mayrer, em 19/08/2008.....	120
Figura 39: Estação de tratamento de esgoto sanitário, tipo Ralf, da Rua Ermindo Mayrer, em 06/05/2009	121
Figura 40: Estação de tratamento de esgoto sanitário da Rua Ermindo Mayrer, em 06/05/2009 (Fonte: Prefeitura Municipal de Feliz)	121
Figura 41: Estação de tratamento de esgoto sanitário da Rua Ermindo Mayrer, em 30/03/2011.....	122
Figura 42: Saída do efluente tratado, da estação de tratamento, lançado a céu aberto, em 30/03/2011.....	122
Figura 43: Localização da estação de tratamento de esgoto sanitário do Bairro Matiel, em 30/03/2011.....	123
Figura 44: Pontos de monitoramento no rio Caí, no trecho que banha o município de Feliz..	131
Figura 45: Pontos de lançamento das redes pluviais no rio Caí, no trecho que banha o município de Feliz.....	132
Figura 46: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro DBO.	133
Figura 47: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro OD.....	134

Figura 48: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro Coliforme fecais.....	135
Figura 49: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro nitrogênio amoniacal.....	136
Figura 50: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro nitrato.	137
Figura 51: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro fósforo total.	138
Figura 52: Sistemas de tratamento de esgotos propostos nos bairros e localidades, na área urbana do município de Feliz.	141
Figura 53: Pontos de lançamento das redes pluviais e dos esgotos tratados no rio Caí.	142
Figura 54: Pontos de lançamento dos esgotos tratados do município de Feliz, no rio Caí.	143
Figura 55: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites para cada classe de uso, para o parâmetro DBO. O valor máximo de DBO no ponto 2 é 12 mg/L.	144
Figura 56: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites para cada classe de uso, para o parâmetro OD. O valor máximo de OD no ponto 1 é 8,6 mg/L.	145
Figura 57: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites para cada classe de uso, para o parâmetro Coliforme fecais.....	146
Figura 58: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites para cada classe de uso, para o parâmetro nitrogênio amoniacal. Os valores máximos, nos pontos 2 e 3, são 200 ug/L.	147
Figura 59: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro nitrato. Os valores máximos, nos pontos 2 e 3, são 1643 ug/L e 1504 ug/L, respectivamente.....	148
Figura 60: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro fósforo total. O valor máximo, no ponto 3 é 375 ug/L.	149
Figura 61: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro DBO. O valor máximo de DBO, no ponto 2, é 12 mg/L, medido no dia 03/01/11.....	150
Figura 62: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro OD. Os valores máximos de OD, no ponto 1 e 2, são 8,6 mg/L e 7,8 mg/L, respectivamente.	151
Figura 63: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro coliforme fecais. O valor máximo de coliformes fecais, no ponto 2, é 1700 NMP/100mL.	152
Figura 64: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro nitrogênio amoniacal. Os valores máximos, nos pontos 2 e 3, são 200 ug/L.	153

- Figura 65: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro nitrato. Os valores máximos, nos pontos 2 e 3, são 1643 ug/L e 1504 ug/L, respectivamente..... 154
- Figura 66: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro fósforo total. O valor máximo no ponto 3 é 375 ug/L. 155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre a área com cobertura florestal e o escoamento superficial	26
Tabela 2: Limites estabelecidos pela Resolução nº 357/2005, do CONAMA	108
Tabela 3: Bairros e localidades da área urbana do município de Feliz e o número de residências, por bairro.	114
Tabela 4: Bairros e localidades do município de Feliz, com o número de famílias, por bairro e destino do esgoto sanitário, no município.	116
Tabela 5: Bairros e localidades da zona urbana do município de Feliz, com o número de famílias, por bairro, e destino do esgoto sanitário, na zona urbana.	118
Tabela 6: Resultado das análises laboratoriais das coletas realizadas nos pontos 1, 2 e 3.	125
Tabela 7: Vazões de entrada, no ponto 1, nos períodos de coleta.	125
Tabela 8: Classificação dos parâmetros, no ponto de coleta 1, de acordo com a Resolução 357/2005, do CONAMA, no período amostrado.....	126
Tabela 9: Classificação dos parâmetros, no ponto de coleta 2, de acordo com a Resolução 357/2005, do CONAMA, no período amostrado.....	127
Tabela 10: Classificação dos parâmetros, no ponto de coleta 3, de acordo com a Resolução 357/2005, do CONAMA, no período amostrado.....	128
Tabela 11: Eficiência de remoção dos parâmetros simulados, de acordo com os sistemas de tratamento de esgoto sanitário propostos para os bairros e localidades municipais.....	140

1 INTRODUÇÃO

A revolução industrial foi o marco da substituição do sistema agrário para o sistema industrial. A terra foi substituída pelo trabalho, como sendo o principal recurso, e as máquinas tornaram possível aumentar a produção de alimentos e, por consequência, o crescimento populacional. O modelo industrial trouxe o êxodo rural. A população migrou do campo para os grandes centros urbanos industrializados, e a falta de infra-estruturas nestes conglomerados urbanos tem causado uma verdadeira degradação social e ambiental.

De acordo com o Departamento de Questões Econômicas e Sociais das Nações Unidas (UNDESA, 2008), a partir 2008 metade da população mundial (3,3 bilhões de pessoas) estava habitando as áreas urbanas. E, conforme o Programa das Nações Unidas para Assentamentos Humanos – UN-Habitat, a previsão é que, em 2030, dois terços da população mundial viverão em centros urbanos. A falta de planejamento dessas cidades gera problemas, que se refletem em uma demanda não satisfeita por serviços básicos de água, esgotos e lixo (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2008).

Para Rebouças (1999), “os países emergentes, como o Brasil, que tem crescimento acelerado de urbanização e industrialização, aliado ao despreparo cultural e à escassez de recursos – tanto humanos como materiais – fez com que os problemas de degradação da qualidade das águas crescessem de forma rápida, desde a década de 70, sem que tivesse havido uma ação política conseqüente para vencer cada novo obstáculo”. Este autor salienta que “a tendência foi desviar os obstáculos interpostos ou postergar a solução dos problemas. Como resultado, a água de beber já perdeu a sua característica de recurso renovável, nas regiões mais densamente povoadas no Brasil, exatamente lá, onde esta se faz mais necessária, à medida que os processos pouco estruturados de urbanização, industrialização e de produção agrícola, com uso desordenado de insumos químicos diversos, são estimulados, consentidos ou tolerados. No meio urbano este quadro está sensivelmente associado ao lançamento de mais de 90% dos esgotos domésticos e de cerca de 70% dos efluentes industriais não tratados nos rios, o que tem gerado a degradação dos mananciais disponíveis de água de beber, em níveis nunca imaginados”.

O crescimento populacional e o êxodo rural, aliados à falta de investimentos na área do saneamento, têm sido causas freqüentes da insalubridade e contaminação do ambiente,

trazendo, como consequência, a alta mortalidade infantil nas classes sociais menos favorecidas dos países em desenvolvimento.

Calcula-se que 86% das águas servidas das regiões urbanas da América Latina e Caribe, e 65% da Ásia, são lançadas nos lagos, rios e mares, sem qualquer tipo de tratamento (SAMUEL, 2004).

O Brasil não difere desta realidade. A falta de saneamento, além de prejudicar a saúde da população, eleva os gastos com a saúde pública, através do tratamento das vítimas de doenças causadas pela falta de tratamento adequado da água, dos esgotos sanitários e dos resíduos sólidos urbanos e industriais.

A falta de tratamento dos esgotos sanitários, no Brasil, tem contribuído para alterar a qualidade das águas nos rios. Somente 17,4% dos municípios brasileiros são atendidos por serviços de esgotamento sanitário (BRASIL, 2004), o que proporciona que 52,3 milhões de pessoas, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009), estejam excluídos destes serviços públicos e despejem seus efluentes diretamente nos mananciais hídricos.

Diante desse quadro, em que a essencialidade do uso confronta-se com a escassez, o acesso universal à água potável e distribuída em todos os domicílios deve fazer parte de todas as políticas públicas de saúde, ambiental e social ou de desenvolvimento urbano e regional. No país, aproximadamente 7,45 % do total de moradias urbanas e rurais não possuíam canalização interna de água em 2008, enquanto que 3,9% não possuíam nenhum tipo de afastamento ou destinação do esgoto sanitário (IBGE, 2009).

Após longo período sem uma política que proporcionasse aos Estados e Municípios investir no setor do saneamento, o Governo Federal definiu, através da lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007, regulamentada através do decreto nº 7217, de 21 de junho de 2010, a Política Nacional de Saneamento. Esta política estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, referindo-se às questões sobre os sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e de resíduos sólidos.

De acordo com a referida lei, para que os municípios se habilitem na busca de recursos para investimento em saneamento básico, deverão possuir um Plano Municipal de Saneamento e, certamente, necessitarão de apoio tecnológico/científico para respaldar suas iniciativas. É

necessário buscar sistemas de tratamento de esgotos sanitários alternativos aos sistemas tradicionais, adotado como soluções para as grandes cidades, o sistema centralizado. Este sistema privilegia o afastamento dos efluentes, muitas vezes sem tratamento, provocando prejuízos aos recursos hídricos, resultam na construção de grandes estações de tratamento de esgotos, muitas vezes em áreas produtivas, e de grandes extensões de redes coletoras e no grande consumo de energia elétrica.

A relevância desta pesquisa se justifica pela possibilidade de contribuição para propostas de sistemas de tratamento de esgotos sanitários urbanos descentralizados, mais sustentáveis, considerando o consumo de energia, a área necessária para a implantação dos sistemas e os custos de operação e implantação, e que atendam às leis ambientais. A eficácia dos sistemas propostos será comparada com os padrões aceitos pela legislação vigente no Brasil, como a Resolução n° 357/2005, do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), (BRASIL, 2005b) e, no Rio Grande do Sul, a Resolução n° 128/2006, do CONSEMA (Conselho Estadual de Meio Ambiente).

1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A partir dos dados apresentados anteriormente, foi definida a seguinte questão de pesquisa: É possível reduzir aos níveis requeridos pela legislação, e de forma sustentável, a contaminação pelos esgotos sanitários urbanos no(s) manancial(is) hídrico(s), em municípios de pequeno porte?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Propor alternativas sustentáveis de sistemas de tratamento de esgotos sanitários urbanos, para municípios de pequeno porte, visando à melhoria da qualidade dos recursos hídricos.

Para atender ao objetivo geral, foram propostos os objetivos específicos, a seguir.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) efetuar um levantamento de dados, em busca do diagnóstico do sistema de tratamento de esgotos domésticos presente na área urbana do município de Feliz;
- b) avaliar o impacto gerado pelos esgotos sanitários urbanos no manancial hídrico do município;
- c) propor sistemas de tratamento de esgotos sanitários sustentáveis e que atendam aos padrões de emissões de efluentes líquidos, permitidos pela legislação, em águas superficiais.

1.3 DELIMITAÇÕES

Este trabalho tem como foco avaliar a qualidade das águas superficiais do rio Caí, no trecho que banha o município de Feliz, analisar o sistema de tratamento de esgotos domésticos do município de Feliz, propondo sistemas de tratamento de esgotos sanitários descentralizados, para a área urbana de municípios de pequeno porte, sob o enfoque da sustentabilidade e medindo a eficácia dos sistemas propostos, quando comparados à legislação. Desta forma, exclui-se do escopo desta pesquisa o estudo de áreas rurais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados os termos que tangenciam a lacuna de conhecimento a ser investigada. Os conceitos dizem respeito ao ciclo hidrológico da água, à sustentabilidade, desenvolvimento sustentável, cidades sustentáveis, esgotos sanitários e às legislações ambientais, de recursos hídricos e de saneamento

2.1 O CICLO DA ÁGUA E SEUS DIVERSOS USOS

2.1.1 Ciclo hidrológico da água

A água encontra-se acessível sob diferentes formas e é uma das substâncias mais comuns existentes na natureza, cobrindo 70% da superfície do planeta. A água pode ser encontrada no planeta em três estados físicos: sólido, líquido e gasoso, mas é encontrada, principalmente, no estado líquido, constituindo-se um recurso natural renovável, a cada ciclo completo, por meio do processo que chamamos de “Ciclo da água” ou “Ciclo hidrológico” (BRAGA et al., 2002).

O ciclo hidrológico é o elemento fundamental da hidrologia, ou seja, a apresentação em fases distintas e interdependentes, da água, desde a sua queda, nas precipitações, até o seu retorno à atmosfera, em forma de vapor, conforme as seguintes etapas de divisão das águas meteóricas:

- a) parcela da água que escoar sobre a superfície da terra, em direção dos córregos, rios, lagos e mares;
- b) parcela da água que evapora, após a chuva, e que retorna à atmosfera (evaporação dos mares, rios, lagos, etc.);
- c) parcela de água retida pela vegetação: parte evapora-se, parte escoar pelas folhas, galhos e troncos, dirigindo-se ao solo;
- d) parcela recolhida pelos acidentes naturais e artificiais da superfície terrestre: parte evapora-se e parte infiltra-se;
- e) parcela que infiltra em direção aos lençóis freáticos, para constituir a recarga básica dos cursos de água (SANTOS, 1975, p. 11-12).

Para Silveira (2001), o estudo dos recursos hídricos implica em conhecimento do ciclo hidrológico, seus componentes e as relações entre eles. O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água, entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado, fundamentalmente, pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.

A figura 1 mostra os fenômenos que ocorrem nas diversas fases do ciclo da água, entre os quais se destacam: a precipitação, o escoamento superficial, a percolação, a infiltração, a evaporação e a evapotranspiração.



Figura 1: Esquema do ciclo da água (FARIA, 2007)

Collischonn e Tassi (2010, p. 10) explicam o ciclo hidrológico, como sendo:

A energia do sol, que resulta no aquecimento do ar, do solo e da água superficial, resulta na evaporação da água e no movimento das massas de ar. O vapor de ar é transportado pelo ar e pode condensar no ar formando nuvens. Em circunstâncias específicas, o vapor do ar condensado nas nuvens pode voltar à superfície da Terra, na forma de precipitação. A evaporação dos oceanos é a maior fonte de vapor para a atmosfera e para a posterior precipitação, mas a evaporação de água dos solos, dos rios e lagos e a transpiração da vegetação também contribuem. A precipitação que atinge a superfície pode infiltrar no solo ou escoar por sobre o solo, até atingir um curso d'água. A água que infiltra umedece o solo, alimenta os aquíferos e cria o fluxo de água subterrânea.

Complementam os autores, explicando que o ciclo hidrológico é fechado, se considerado em escala global. Em escala regional podem existir alguns sub-ciclos, como o exemplo fornecido da água precipitada, que está escoando em um rio, podendo evaporar, condensar e novamente precipitar, antes de retornar ao oceano.

Buscando entendimento e síntese a cada uma das etapas do ciclo hidrológico, apresenta-se, a seguir, cada uma delas.

2.1.1.1 Precipitação

O fenômeno da precipitação é o elemento alimentador da fase terrestre do ciclo hidrológico e constitui fator importante para os processos de escoamento superficial direto, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos, vazão dos rios e outros.

A precipitação é o processo pelo qual a água volta à superfície da terra, pela condensação do vapor de água atmosférico, em estado líquido ou sólido (VON SPERLING, 2005, p. 18), sendo que as principais formas são:

Chuva: precipitação de água líquida, em que os diâmetros da gota são superiores a 0,5 mm.

Granizo: pequenos pedaços de gelo, com diâmetros inferiores a 0,5 mm, que se formam a grandes altitudes e atingem a superfície terrestre.

Neve: precipitação de cristais de gelo, provenientes da sublimação do vapor de água ou do congelamento lento das gotículas de água nas altas camadas da troposfera, e que, em certas condições, podem aglomerar-se formando flocos.

Orvalho: o vapor de água se condensa e se deposita durante a noite e pela manhã, sob a forma de gotículas muito finas, sobre a vegetação e determinados corpos expostos ao ar livre. O orvalho se deposita em tempo claro e perfeitamente calmo, quando a radiação noturna faz a temperatura do ar, em contato direto com o solo, cair até o denominado ponto de orvalho. Este resfriamento atinge somente a estreita camada de ar mais próxima do solo.

A precipitação que ocorre sobre a terra é dispersa de várias formas. A maior parte fica temporariamente retida no solo, próximo de onde caiu, e, finalmente, retorna à atmosfera, por evaporação e transpiração das plantas. Uma parte da água restante escoar sobre a superfície do solo (infiltração) ou, através do solo, para os rios (escoamento subsuperficial), enquanto que parte penetra profundamente no solo, indo suprir o lençol d'água subterrâneo (VILLELA; MATTOS, 1975¹ apud BALBINOT et al., 2008).

A água que precipita sobre a superfície terrestre divide-se em duas frações: uma parte, cuja importância depende da intensidade da precipitação e das características do solo, penetra neste, enquanto a porção restante se mantém na superfície. Parte da água infiltrada fica retida no solo, umidificando-o, e a restante infiltra-se, até encontrar uma camada impermeável, onde se forma um lençol freático, que fornece água a nascentes e a poços, ou a descarrega diretamente no mar ou em lagos. Quanto à água retida no solo, esta pode evaporar-se diretamente para a atmosfera ou pode ser absorvida pelas raízes de plantas, nas quais é utilizada em seu metabolismo e depois devolvida à atmosfera, pela transpiração. A parte da

¹ VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mc-Graw Hill, 1975.

água precipitada, que não se infiltra no solo, junta-se a rios e lagos, de onde flui para os oceanos. Em todas estas superfícies líquidas dá-se a evaporação, com o vapor de água resultante deste processo somando-se ao proveniente da evaporação do solo e ao da transpiração das plantas, para repor a quantidade de água na atmosfera, que precipita, fechando o ciclo da água (CICLO..., 2003-2011).

A precipitação é a única forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica. Assim sendo, ela fornece subsídios para a quantificação do abastecimento de água, irrigação, controle de inundações, erosão do solo, etc., e é fundamental para o adequado dimensionamento de obras hidráulicas, entre outros (COLLISCHONN; TASSI, 2010, p. 38).

Em estudos realizados por Hursh² *apud* Balbinot *et al.* (2008), verificou-se que a precipitação média sobre florestas foi cerca de 25% maior que em áreas devastadas. Constatou-se que tal fato é devido ao efeito da diferença de temperatura e das correntes de convecção, ao invés de ser consequência direta da maior transpiração pela floresta. A evaporação local não controla a precipitação neste mesmo local, e tampouco se correlaciona com o padrão de distribuição das chuvas na Terra.

A água que precipita nos continentes pode tomar vários destinos. Uma parte é devolvida diretamente à atmosfera, por evaporação; a outra origina escoamento na superfície do terreno (escoamento superficial), que se concentra em sulcos, cuja reunião dá lugar aos cursos de água. A parte restante infiltra-se, isto é, penetra no interior do solo, subdividindo-se numa parcela, que se acumula na sua parte superior e pode voltar à atmosfera, por evapotranspiração, e noutra, que se aprofunda, até atingir os lençóis aquíferos (ou, simplesmente, aquíferos) e vai constituir o escoamento subterrâneo. Tanto o escoamento superficial, como o escoamento subterrâneo, vão alimentar os cursos de água, que deságuam nos lagos e nos oceanos, ou vão alimentar diretamente estes últimos (O CICLO..., c2011).

Na realidade brasileira, a chuva é a forma mais importante de precipitação, embora grandes prejuízos possam advir da ocorrência de precipitação na forma de granizo e, em alguns locais, possa eventualmente ocorrer na forma de neve (COLLISCHONN; TASSI, 2010).

² HURSH, C. R. **Local Climate in the Copper Basin of Tennessee as Modified by the Removal of Vegetation**. Washington: US Department of Agriculture, 1948. Circular 774.

2.1.1.2 Escoamento superficial

O escoamento superficial constitui uma resposta rápida à precipitação e cessa pouco tempo após o seu término. Por seu turno, o escoamento subterrâneo, em especial quando acontece através de meios porosos, ocorre com grande lentidão e continua a alimentar os cursos de água, por longo período, após o término da precipitação que o originou. Assim, os cursos de água alimentados por aquíferos apresentam regimes de caudal mais regulares (O CICLO..., c2011).

Escoamento superficial é a fase que trata da ocorrência e transporte da água na superfície terrestre. É a parte do ciclo hidrológico que se situa entre a precipitação incidente sobre a superfície terrestre, e a consequente vazão, através dos rios.

O escoamento superficial tem origem, fundamentalmente, nas precipitações. Ao chegar ao solo, parte da água se infiltra, parte é retirada pelas depressões do terreno e parte se escoia pela superfície. Inicialmente, a água se infiltra; tão logo a intensidade da chuva exceda a capacidade de infiltração do terreno, a água é coletada pelas pequenas depressões. Quando o nível à montante se eleva e superpõe o obstáculo (ou o destrói), o fluxo se inicia, seguindo as linhas de maior declive, formando sucessivamente as enxurradas, córregos, ribeirões, rios e reservatórios de acumulação (STUDART, 2006).

Nas regiões tropicais, quando a vegetação nativa é removida, a quantidade de matéria orgânica é reduzida drasticamente, ocorrendo a instabilidade da estrutura edáfica à ação da água e, por consequência, a redução do fluxo de água para dentro do solo. Esse é um dos principais problemas mundiais que tem provocado os desequilíbrios hidrológicos na natureza. Como consequência, destacam-se períodos de estiagem e excessos de água, aumentando o escoamento superficial, causando catástrofes, como enchentes e inundações (RIGHES³ *apud* ERCOLE, 2001).

Burger (1976) observou que o escoamento superficial da água é inversamente proporcional à cobertura florestal (Tabela 1).

³ RIGHES, A. A. Água: sustentabilidade, uso e disponibilidade para irrigação. **Revista Ciência & Ambiente**, n. 21, p. 91-102, jul./dez. 2000.

Tabela 1: Relação entre a área com cobertura florestal e o escoamento superficial

Cobertura florestal em %	Escoamento superficial em %
0	100
8	77
40	58
90	43
100	25

(Fonte: BURGER, 1976)

O escoamento superficial abrange, desde o excesso de precipitação, que ocorre logo após uma chuva intensa e se desloca livremente pela superfície do terreno, até o escoamento de um rio, que pode ser alimentado, tanto pelo excesso de precipitação, como pelas águas subterrâneas (CARVALHO; SILVA, 2006).

Segundo Barreto-Neto e Souza Filho (2003, p. 2427), o estudo do escoamento superficial, permite:

[...] a concepção de prognósticos sobre o comportamento do escoamento superficial, a partir de mudanças no uso do solo, tais como, substituição de florestas por pastagem, ampliação de áreas com culturas agrícolas, mudanças nas espécies agrícolas, entre outras, antes mesmo destas trocas serem perpetradas na bacia real.

Muitas práticas utilizadas para o controle da erosão priorizam o controle da velocidade e do volume de escoamento superficial, pois este carrega consigo nutrientes, defensivos agrícolas, material orgânico e sementes, causando danos econômicos imediatos à agricultura (BARRETO-NETO; SOUZA FILHO, 2003).

2.1.1.3 Percolação

A percolação traduz o movimento subterrâneo da água através do solo, especialmente nos solos saturados ou próximos da saturação.

Percolação é entendida como o fluxo da água através de um maciço e sua interação com as partículas do solo. Em muitos casos, a água não percola através do solo em apenas uma direção, nem é uniforme, ao longo de toda área perpendicular ao fluxo. Essa interação é importante, principalmente, em: a) quantidade (volume) de água que se perde através do maciço de uma barragem ou pelo solo aonde a obra se apóia; b) obras de terra e fundações. Os

esforços exercidos nas partículas do solo, em virtude da percolação da água, recebem o nome de forças ou pressões de percolação.

2.1.1.4 Infiltração

A infiltração é o processo pelo qual a água penetra nas camadas superficiais do solo, se move para baixo através dos vazios, pela ação da gravidade, até atingir uma camada impermeável, formando um lençol d'água.

Infiltração é definida como a passagem da água através da superfície do solo, passando pelos poros e atingindo o interior, ou perfil, do solo. A infiltração de água no solo é importante para o crescimento da vegetação, o abastecimento dos aquíferos (reservatórios de água subterrânea), para armazenar a água (que mantém o fluxo nos rios durante as estiagens), para reduzir o escoamento superficial, reduzir as cheias e diminuir a erosão (COLLISCHONN; TASSI, 2010).

As características do solo e da água, os fenômenos de entrada de água pela superfície, bem como a transmissão através do perfil e a depleção da capacidade de armazenamento do solo definem a infiltração e o escoamento na superfície do terreno. Quando a camada superficial do solo sofre compactação, a água penetra com maior dificuldade, mesmo que o perfil do solo apresente condições favoráveis à percolação, fenômeno caracterizado pelos movimentos realizados pela água no interior do solo, após a infiltração.

Vallejo (1982), em seu estudo realizado na Floresta da Tijuca, concluiu que a vegetação pode influenciar na camada superficial do solo, pois sua presença, juntamente com o *litter*, ou camadas de matéria orgânica em decomposição, acaba protegendo o solo contra a compactação por gotas de chuva. O piso florestal, no caso a serapilheira, tem papel fundamental no que diz respeito a esse processo, mantendo condições ideais à infiltração e diminuindo o impacto causado pelas gotas ao atingirem o solo.

Quanto ao armazenamento de água na serapilheira florestal, Vallejo (1982) e Coelho Neto (1985) mostraram que a capacidade de retenção de água varia entre 130% a 330%, em relação ao peso seco.

Laws (1941) mostrou que as gotas de chuva atingem 95% de sua velocidade terminal após caírem de cerca de 8 metros de altura. Desta forma, se as copas das árvores ultrapassarem esta altura, o efeito protetor da cobertura florestal sobre a velocidade de queda das gotas é mínimo.

O piso florestal termina por ter influência primordial quanto à compactação do solo por gotas d'água.

Entre as propriedades físicas do solo, a infiltração é uma das mais importantes, quando se estudam fenômenos que estão ligados ao movimento de água, entre estes a infiltração e a redistribuição.

2.1.1.5 Evaporação

Cerca de 70% da quantidade de água precipitada sobre a superfície terrestre retorna à atmosfera pelos efeitos da evaporação e transpiração. A evaporação é um fenômeno, no qual os átomos ou moléculas no estado líquido ganham energia suficiente para passar ao estado vapor.

A água está em constante movimento e variando de estado, ou seja, passando de líquido para vapor, de vapor para sólido, de sólido para líquido novamente, numa alternância interminável, que existe há bilhões de anos. A radiação solar é a fonte de energia que promove o aquecimento dos continentes e oceanos; portanto, é responsável pela movimentação da água através do processo de evaporação, convecção vertical de massas de ar e, conseqüentemente, pelo processo de condensação do vapor d'água (PIMENTA, 2007).

Na atmosfera, o vapor da água, em forma de nuvens, pode ser transformado em chuva, neve ou granizo, dependendo das condições do clima, sendo que o excesso de vapor sobre os oceanos é transportado para os continentes, em sentido inverso ao desaguamento.

A razão da evaporação depende de muitos fatores, os mais importantes são a radiação incidente, temperatura, velocidade do vento, umidade, estabilidade do ar e disponibilidade da água.

A evaporação tem sido pesquisada sob diversos aspectos, principalmente relacionada com a evapotranspiração e a influência das condições meteorológicas. A evaporação sofre a influência de vários fatores; dentre eles, os mais importantes são: a textura, o teor de umidade e a temperatura do solo, a intensidade da radiação, a temperatura do ar e a intensidade dos ventos superficiais. A determinação das condições de superfície são complexas, imprecisas e trabalhosas (envolvem o controle de umidade do ar, velocidade do vento e radiação) (REICHARDT, 1990).

2.1.1.6 Evapotranspiração

Pode-se dizer que o retorno da água precipitada para a atmosfera, fechando o ciclo hidrológico, ocorre através do processo da evapotranspiração.

As transferências de água do solo para a atmosfera ocorrem através de dois fenômenos: a transpiração (trocas de água resultante do metabolismo das plantas) e a evaporação (água na forma de vapor, trocada na superfície do solo). Os dois processos de transferência são conhecidos na literatura como evapotranspiração. A evaporação da água é de grande importância quantitativa, pois pode responder por cerca de 50% da evapotranspiração, durante o ciclo de uma cultura agrícola. Por isso, a pesquisa sobre os fatores que determinam a evaporação é importante, e tem como objetivo minimizar esta, possibilitando a conservação de maior quantidade de água no solo (BERLATO; MOLINA, 1981).

Algumas definições são usadas em hidrologia para os diferentes aspectos da transformação de água para sua forma de vapor:

Evaporação: o conjunto dos fenômenos físicos que transformam em vapor a água da superfície do solo, interceptada pelas plantas, dos cursos de água, lagos, reservatórios e mares.

Transpiração: a evaporação devida à ação fisiológica dos vegetais. As plantas, através de suas raízes, retiram do solo a água para suas atividades vitais e transpiram pelos estômatos.

Evapotranspiração (evapo(transpi)ração; evaporação + transpiração.): o conjunto de processos físicos e fisiológicos que provocam a transformação da água precipitada na superfície da Terra em vapor. Esse termo é bastante usado devido à dificuldade de separação da evaporação e da transpiração tanto nos cálculos como na medição.

Evapotranspiração potencial (ideal): o total de água transferido para a atmosfera por evaporação e transpiração, de uma superfície extensa, coberta por vegetação e não sendo limitado pela disponibilidade de água.

Evapotranspiração real (atual): a perda de água para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições atmosféricas e de umidade do solo existentes. Conceitualmente a evapotranspiração real não pode exceder a evapotranspiração potencial (PEREIRA; NOVA; SEDIYAMA, 1997, p. 183).

Carvalho e Silva (2006) citam que a água que se infiltra no solo é sujeita a evaporação direta para a atmosfera e é absorvida pela vegetação, que através da transpiração, a devolve à atmosfera. Este processo chamado evapotranspiração ocorre no topo da zona não saturada, ou seja, na zona onde os espaços entre as partículas de solo contêm tanto ar como água.

A evapotranspiração é o conjunto de dois processos: evaporação e transpiração. Evaporação é o processo de transferência de água líquida para vapor do ar diretamente de superfícies líquidas, como lagos, rios, reservatórios, poças, e gotas de orvalho. A água que umedece o solo, que está em estado líquido, também pode ser transferida para a atmosfera diretamente por evaporação. Mais comum neste caso,

entretanto, é a transferência de água através do processo de transpiração. A transpiração envolve a retirada da água do solo pelas raízes das plantas, o transporte da água através da planta até as folhas e a passagem da água para a atmosfera através dos estômatos da folha (COLLISCHONN; TASSI, 2010, p. 10).

Segundo Roberts⁴ *apud* Balbinot (2008), a evapotranspiração, que pode ser considerada como perda de água na bacia hidrográfica e consiste em duas componentes: processo de interceptação e transpiração.

2.1.2 O volume de água existente no planeta

A água é uma das substâncias mais abundantes em nosso planeta: aproximadamente 70% da superfície terrestre encontra-se coberta por água. Do total da água existente, aproximadamente 97% é salgada, sendo imprópria para o consumo humano, o uso agrícola ou industrial. Os 3% deste volume é de água doce, cuja maior parte está concentrada em geleiras (geleiras polares e neves das montanhas), restando uma pequena porcentagem de água doce, 1%, disponível nos rios, lagos e lençol freático para as atividades humanas.

A quantidade de água existente no planeta: 1,6 bilhões de Km³ - 1.350.000.000 Km³ de água salgada - 29.000.000 Km³ de água doce, congelada nas geleiras e calotas (ÁGUA VIVA, 2011).

O Brasil é um país privilegiado com relação à disponibilidade de água, detém 53% do manancial de água doce disponível na América do Sul e possui o maior rio do planeta (rio Amazonas). Os climas equatorial, tropical e subtropical que atuam sobre o território, proporcionam elevados índices pluviométricos. No entanto, mesmo com grande disponibilidade de recursos hídricos, o país sofre com a escassez de água potável em alguns lugares. A água doce disponível em território brasileiro está irregularmente distribuída: aproximadamente, 72% dos mananciais estão presentes na região amazônica, restando 27% na região Centro-Sul e apenas 1% na região Nordeste do país.

Ao longo do século XX, a população mundial multiplicou-se por três, as superfícies irrigadas por seis e o consumo global de água por sete. Ao mesmo tempo, nas últimas cinco décadas, a poluição dos mananciais reduziu as reservas hídricas em um terço (OLIC, 2001).

⁴ ROBERTS, J. Forest transpiration: A conservative hydrological process? **Journal Hydrology**, Amsterdam, v. 66, p.133-141, 1983.

Segundo alerta do relatório das Nações Unidas, a escassez da água vai afetar diretamente a qualidade de vida. Atualmente são 2 bilhões de pessoas enfrentando a falta de água, a previsão, é que, em 2025, este número dobre. Em cem anos o consumo de água cresceu 6 vezes, taxa duas vezes maior que o crescimento demográfico sendo o uso intensivo na agricultura a principal causa deste aumento.

Novos conflitos internacionais, motivados pela disputa da água, crescem e as previsões são de que, em regiões como o Oriente Médio e a bacia do rio Nilo, na África, estes sejam o grande motivo da discórdia. A razão é a escassez da água nesses lugares.

Dos 2,5% de água doce da Terra, 0,3% são acessíveis ao consumo humano. Essa cifra demonstra claramente a diferença entre água e recursos hídricos, ou seja, água passível de utilização como bem econômico. A quantidade total de água da Terra é insuficiente para abastecer toda a população. O ciclo hidrológico mantém um fluxo constante do volume de água, a uma taxa de 41.000 km³/ano. Desse fluxo, mais da metade chega aos oceanos, antes que possa ser captado, e um oitavo atinge áreas muito distantes para poderem ser usadas. Estima-se que a disponibilidade efetiva de água esteja entre 9.000 e 14.000 km³/ano. Enquanto isso, a demanda total de água prevista para o ano 2011 deverá atingir apenas cerca de 4.500 km³/ano. Assim, em termos globais, existe perigo de escassez de água (CORSON, 1993, p. 34).

A desigualdade na distribuição do manancial, entretanto, faz com que alguns países sejam extremamente pobres em água, e outros muito ricos. Países desérticos, como o Kwait, Arábia Saudita e Líbia, e pequenos países insulares, como Malta, Catar e as ilhas Bahamas, possuem menos do que 200 m³/ano por habitante, enquanto o recomendado pela ONU é de 1.000 m³/hab/ano. Regiões como o Canadá, a Rússia asiática, as Guianas e o Gabão têm mais de 100.000 m³/hab/ano. O Brasil está na faixa entre 10.000 a 100.000 m³/hab/ano.

Esses mapas, não mostram a real situação de cada país quanto à escassez ou abundância de água. Vários países apresentam escassez de chuvas durante um período do ano e abundância em outro. Países como os da Faixa do Sahel, na África, possuem parte do território desértico, mas são cortados por algum rio caudaloso, como o Nilo ou o Níger, e assim parte do seu território tem água suficiente e parte tem escassez (BONACELLA, 1990).

Os dados não levam em consideração causas políticas e culturais que podem alterar drasticamente o acesso da população à água potável. A poluição, por exemplo, faz com que a água disponível para o consumo possa existir em quantidade muito menor do que a totalidade da água doce disponível. Agravado por fatores como o desperdício e a falta de iniciativa pública para resolver os problemas hídricos, isso deixa milhões de pessoas sem acesso a água potável ao redor do mundo. Tais fatores podem causar escassez de água até mesmo em países

com grande abundância de água doce, como o Brasil. Estima-se que 74% da população mundial tenham acesso à água potável, sendo que, na África, essa proporção baixa para apenas 46%, chegando a extremos como Chade e Mali, com menos de 24% (CORSON, 1993).

2.1.3 Os múltiplos usos da água

A água é um recurso natural, renovável pelos processos físicos do ciclo hidrológico com distribuição irregular, no tempo e no espaço, em função das condições geográficas, climáticas e meteorológicas. Ao percorrer as fases do seu ciclo, escoar pela superfície em forma de chuva, infiltra-se no subsolo e escoar pelos aquíferos, sendo absorvida pelas plantas e transpirada para a atmosfera, tornando a precipitar-se e, assim, sucessivamente.

Durante o ciclo hidrológico, a água sofre alterações na qualidade devido às condições naturais, em razão das inter-relações do meio ambiente com os recursos hídricos. No entanto, as alterações mais influentes estão associadas com o seu uso, para suprimento das demandas dos núcleos urbanos, industriais e da própria agricultura.

Desde as primeiras civilizações, a água doce exerceu um papel determinante na localização e dinâmica da vida humana. A disponibilidade de água doce para consumo humano e para uso na agricultura sempre ocupou um lugar privilegiado entre as prioridades a serem consideradas pelas sociedades antigas para a fixação em determinados locais. Mas foi nas origens das primeiras sociedades que as ofertas de água doce exerceram um papel muitas vezes determinante na dinâmica da vida humana e no desenvolvimento técnico e material (CORSON, 1993).

O uso da água se divide em consumo doméstico, agrícola e industrial e varia enormemente de país para país. Pode-se ter uma idéia da variabilidade do consumo observando-se que na Guiana, por exemplo, 1% do uso de água é para fins domésticos e 99% para fins agrícolas e industriais; ao passo que, na Guiné Equatorial, a proporção praticamente se inverte: 81% do gasto hídrico vão para fins domésticos e apenas 19% para fins agrícolas e industriais. Ambos os países estão em regiões com mais de 100.000 m³/hab/ano de água doce (CORSON, 1993).

O maior percentual de uso da água, segundo a média mundial, se destina à agricultura com 67%, seguida da indústria, com 19%. O uso residencial fica com 9%, distribuídos de forma desequilibrada entre pobres e ricos. Estima-se que três bilhões de pessoas têm que se servir de

águas contaminadas, sobretudo nos países em desenvolvimento, onde cerca de 90% do esgoto é jogado sem tratamento nos cursos d'água. Além disso, cerca de 90% dos efluentes e 70% do lixo industrial são jogados nas águas sem tratamento adequado (SANDER, 2005).

Segundo levantamento da Agência Nacional de Águas (ANA), o país enfrenta problemas nas regiões hidrográficas costeiras do Sudeste e do Sul, nas bacias dos rios São Francisco e Uruguai, todos na Mata Atlântica, além de parte das bacias dos rios Tocantins (na Amazônia) e Paraguai (Cerrado e Pantanal) (ANA, 2003). Os motivos desses problemas são o desmatamento, o lançamento de esgotos em rios e córregos, a expansão desordenada dos centros urbanos e a gestão inadequada dos ecossistemas aquáticos (CAMPANILI, 2003).

Dentre as questões ambientais, o gerenciamento dos recursos hídricos tem ganhado bastante destaque. Isso porque a escassez das águas já é uma realidade reconhecida e os conflitos envolvendo seus múltiplos usos são cada vez mais constantes. Mais do que ser um fator de desenvolvimento de uma região, a água é fundamental para a vida no planeta.

Num consumo de água com caráter consuntivo, onde há perdas entre o que é derivado e o que retorna ao curso natural, os efeitos sobre a qualidade da água são os mais diversos, como a contaminação e a poluição pela dissolução de substâncias orgânicas, minerais e agentes patogênicos.

A contaminação das águas no Brasil é crescente. Este índice aumentou cinco vezes nos últimos dez anos e o problema pode ser constatado em 20 mil áreas diferentes do país. Se a contaminação continuar no ritmo em que está, nos próximos dez anos a situação será realmente muito crítica. (MORELLI, 2005, p. 67).

É urgente a necessidade de alcançar uma forma de crescer com sustentação, sem destruir os recursos que nos possibilitam continuar vivendo ou então enfrentar em pouco tempo grandes problemas que podem se tornar insolúveis.

Faz-se necessária a conscientização, desses problemas, por todas as camadas da sociedade a fim de promover mudanças de atitude, criando hábitos de consumo e comportamento adequado no trato com a água e o meio ambiente. A demanda por água em todo o planeta é crescente e a oferta, muito em função da ação do próprio homem, é decrescente (MERTEN; MINELLA, 2002).

Segundo Bonatto (2000), além da degradação ambiental dos mananciais, as perdas de água também contribuem para a criticidade dos recursos hídricos, pois consome metade de toda

água produzida para abastecer os centros urbanos. A má gestão das águas no país tem permitido que as indústrias, através de seus efluentes não tratados, e os esgotos residenciais, poluam os rios, comprometendo a água das gerações futuras e a saúde da população atual.

Vive-se numa época em que a dimensão ambiental tem grande importância no processo educativo fazendo deste, um papel preponderante. E como resposta a esses anseios expressos pela sociedade, por meio de suas escolas e instituições de preservação ambiental, considera-se que a construção do saber humano precisa apontar para áreas de controle, preservação, conservação e recuperação do meio ambiente. Neste cenário e com o conhecimento materializado em ações, é possível intervir de forma consciente e criativa na redução dos problemas ambientais (ANDRADE, 2000).

2.1.4 A poluição das águas

A água é um bem precioso e cada vez mais o tema de debates em todo mundo. O uso irracional e a poluição de fontes importantes (rios e lagos) podem ocasionar a falta de água doce muito em breve, se não mudar a consciência e os hábitos quanto ao seu uso.

As principais causas de deteriorização dos rios, lagos e dos oceanos são: poluição e contaminação por poluentes e esgotos. O ser humano tem causado todo este impacto à natureza, através do lançamento de resíduos, esgotos domésticos, detritos químicos industriais e de mineração sem controle.

A escassez da água, determinada pela demanda crescente, aliada ao problema da poluição das águas superficiais e subterrâneas tem causado sérias preocupações. As águas são poluídas quando as atividades humanas as tornam inadequadas para um uso específico. Uma vez que os lençóis de águas são contaminados, torna-se extremamente difícil e proibitivamente caro corrigir este problema.

As atividades industriais e de mineração são as principais fontes de poluentes tóxicos das águas nos países industrializados. Muitas atividades industriais produzem poluentes em potencial, incluindo a produção de gasolina, petroquímicos e outros produtos químicos comerciais; pesticidas e herbicidas; fertilizantes; aço e outros metais e derivados da celulose. Os principais poluentes industriais incluem: compostos orgânicos do clorinato, minerais e derivados do petróleo, fenol, nitrogênio, fósforos, mercúrio, chumbo e cádmio. Outras fontes

importantes da poluição das águas incluem: sistemas de descarga dos detritos, escoamento urbano e rural, precipitação ácida e o resíduo radioativo próximo a instalações nucleares.

A poluição das águas é entendida pela alteração de suas características por quaisquer ações ou interferências, sejam elas naturais ou provocadas pelo homem. Essas alterações podem produzir impactos estéticos, fisiológicos ou ecológicos. O conceito de poluição da água tem se tornado cada vez mais amplo, em função de maiores exigências com relação à conservação e ao uso racional dos recursos hídricos.

Em sua origem, o vocábulo poluição está associado ao ato de manchar ou sujar, o que demonstra a conotação estética dada à poluição quando esta passou a ser percebida. Entretanto, a alteração da qualidade da água não está necessariamente ligada somente a aspectos estéticos, já que a água de aparência satisfatória para um determinado uso pode conter microorganismos patogênicos e substâncias tóxicas para determinadas espécies, e águas com aspecto desagradável podem ter determinados usos. A noção de poluição deve estar associada ao uso que se faz da água (BRAGA et al., 2002).

Os efeitos resultantes da introdução de poluentes no meio aquático dependem da natureza do poluente introduzido, do caminho que esse poluente percorre no meio e do uso que se faz do corpo de água. Os poluentes podem ser introduzidos no meio aquático de forma pontual ou difusa. As cargas pontuais são introduzidas por lançamentos individualizados, como os que ocorrem no despejo de esgotos sanitários ou de efluentes industriais. Cargas pontuais são facilmente identificadas e, portanto, seu controle é mais eficiente e mais rápido. As cargas difusas são assim chamadas por não terem um ponto de lançamento específico e ocorrerem ao longo da margem dos rios, como exemplo, as substâncias provenientes de campos agrícolas, que não advêm de um ponto preciso de geração, como no caso na drenagem urbana.

A poluição das águas tem sido um grande problema para a sociedade, que vive um momento crítico com relação à qualidade e quantidade das águas. A criticidade destes fatos urge na busca de soluções e ações sobre os grandes impactos aos recursos naturais. Nestes últimos anos os governos têm tentado sensibilizar a sociedade sobre a gravidade desta situação, mas tem esbarrado na falta de recursos para a aplicação das soluções. As indústrias, que têm uma grande contribuição para a poluição dos recursos hídricos, muitas vezes recebem medidas protecionistas dos governos, com a desculpa do desenvolvimento econômico e social.

2.1.5 As impurezas encontradas na água

De maneira geral e crescente, torna-se difícil se fazer uso direto da água sob sua forma natural, pois nela estão contidas inúmeras impurezas decorrentes da espécie de solo de onde afloram, das condições ambientais e dos locais por onde escoam, além da contaminação crescente pelas diversas ações antrópicas. A água, sob a forma em que é obtida na natureza, é chamada de água bruta. Em sua composição se encontra uma série de constituintes em suspensão ou dissolvidos, os quais poderão ser sólidos ionizados, gases dissolvidos, matérias em suspensão, microorganismos e matéria coloidal.

A exigência para que sejam extraídos da água tais constituintes, deve-se aos feitos danosos por eles provocados, tais como: corrosão, incrustação, depósitos nas superfícies internas dos tubos ou contaminação do vapor produzido. Estes problemas estão relacionados com a natureza das águas usadas para a produção de águas de abastecimento público e de processos industriais.

A qualidade da água captada é fundamental, em função das exigências, cada vez mais rigorosas, para consumo humano e uso industrial. Um eficiente tratamento de água captada garante o máximo aproveitamento de um recurso cada vez mais escasso (ANDREOLI, 2001).

A água, para que possa ser consumida pelo homem, deve obedecer a alguns padrões de qualidade. Como na natureza não encontramos água potável, pois a mesma sempre contém algum tipo de impureza, física, química ou biológica, deve-se tentar torná-la potável, controlando para que suas impurezas fiquem abaixo dos valores máximos estabelecidos pelo Ministério da Saúde, evitando malefício ao homem (SANEAMENTO..., [200-]).

O tratamento de água requer muita atenção e exige soluções integradas com outros processos. Várias empresas oferecem tecnologias para avaliar e tratar adequadamente qualquer tipo de efluente. Os programas são compostos de: coagulantes, floculantes, removedores de cor, anti-espumantes, inibidores de corrosão, desinfecção, biotecnologia, controle de odores e outros insumos para Estações de Tratamento de Afluentes e Efluentes (CASSINI, 2003).

Os diversos processos alteram os componentes presentes na água, em termos das suas características físicas, químicas e biológicas. Essas características podem ser apresentadas na forma de parâmetros de qualidade da água. As principais características da água podem ser expressas como:

- a) características físicas: estão associadas em sua maior parte, aos sólidos presentes na água. Tais sólidos podem ser em suspensão, coloidais ou dissolvidos, dependendo do seu tamanho;

- b) características químicas: podem ser interpretadas através de uma ou duas classificações, sendo elas matéria orgânica ou inorgânica;
- c) características biológicas: os seres presentes na água podem ser vivos ou mortos. Dentre os seres vivos, têm os pertencentes aos reinos animal e vegetal, além dos protistas⁵.

2.1.5.1 Tipos de impurezas encontradas na água

Impurezas Físicas: são aquelas relacionadas à cor, sabor, odor e temperatura

Impurezas Químicas: são substâncias dissolvidas na água – salinidade, alcalinidade, agressividade, ferro, manganês, cloreto, fluoreto, compostos tóxicos

Impurezas Biológicas: são microorganismos patogênicos – bactérias, vírus, protozoários e vermes, provenientes geralmente de dejetos humanos, por isso, também chamados “coliformes fecais”.

Além da qualidade da água, é necessário enfatizar sua quantidade necessária ao homem para seu uso doméstico, pois sua escassez influirá em muitos aspectos, dentre eles, higiene pessoal, alimentos e ambiente, o que poderá acarretar danos à saúde humana.

2.2 SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O fenômeno da sustentabilidade é tão antigo, segundo Palsule (2004, p. 39), como a própria vida em sistemas naturais. A palavra “Suster vem do latim *sustinere*, segurar, por cima: Suportar, por baixo; fortalecer o espírito, de confirmar.” O autor ainda acrescenta que a sustentabilidade é um processo, não um conceito.

O termo sustentabilidade é originário do campo da ecologia, referindo-se ao potencial de um ecossistema de subsistir ao longo do tempo com pouquíssima alteração (JABAREEN, 2006).

A sustentabilidade **ambiental** refere-se ao modo de extração, processamento e uso dos recursos naturais, à correta administração dos resíduos e à garantia da diversidade biológica. A sustentabilidade **social** aborda o acesso a terra, serviços públicos, moradia adequada, melhoramento da educação e conscientização sobre desenvolvimento sustentável, saúde,

⁵ Qualquer organismo unicelular.

segurança, interação social e consideração aos direitos humanos. A sustentabilidade **econômica** garante que o desenvolvimento deve aumentar o acesso a empregos, garantir a eficiência em todos os níveis de produção e uso de materiais, traçar políticas de forma transparente e equitativa, assegurar o desenvolvimento em pequena escala, local e diverso. Esta dimensão da sustentabilidade também considera que o monitoramento ambiental, social e econômico deve conduzir o desenvolvimento, e que o conhecimento local, como do indígena, deve ser levado em conta (GIBBERD, 2003).

Ness *et al.* (2007) apontam que a sustentabilidade pode ser encarada como uma nova área do conhecimento humano, porque combina a ciência ambiental com as ciências econômica e social, e, desta forma, busca desenvolver estudos e ferramentas que propiciem o entendimento da dinâmica de interação entre estas três dimensões.

A segunda Conferência Mundial do Meio Ambiente, realizada no Rio de Janeiro em 1992, com a presença de oitenta países, priorizou a busca do desenvolvimento sustentável. A Agenda 21, documento resultante desta conferência, estabeleceu diretrizes e procedimentos, que visam promover o equilíbrio de interesses conflitantes entre si, tais como o desenvolvimento econômico, a proteção ambiental e a justiça social.

Desenvolvimento Sustentável, segundo o Relatório Brundtland e a Agenda 21, é aquele desenvolvimento que atende às necessidades presentes, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades. Segundo o IBGE, trata-se de um novo paradigma para abordar um velho desafio, o desenvolvimento. Nesta nova visão, a noção de desenvolvimento, por muito tempo identificado ao progresso econômico, extrapola o domínio da economia, através da sua integração com as dimensões social, ambiental e institucional, apoiando-se em novos paradigmas (IBGE, 2008).

O desenvolvimento sustentável segundo Chambers, Simmons e Wackernagel (2000) deve ser alcançado por meio da integração de fatores sociais, ambientais e econômicos, os chamados “três pilares”. Conforme os autores, a economia é tratada, freqüentemente, como prioridade, na errada compreensão de que a sociedade e o meio ambiente existem para servir a economia, ao invés do contrário. Para exemplificar esta questão, os autores apresentam a proposta de Levett⁶, chamada de modelo de sustentabilidade ‘Russian Dolls’. O modelo insere a economia numa posição que oferece suporte ao social, manifestando que a economia existe para servir à

⁶ LEVETT, R. 1998, Journal of the Royal Statistical Society, A 161.

sociedade: enquanto que ambos somente têm condições de existir, em longo prazo, num ambiente natural saudável.

2.3 CIDADES SUSTENTÁVEIS

A revolução industrial teve grande influência no desenvolvimento das cidades, pois teve, como característica predominante, a troca da matriz energética, a partir do uso de combustíveis fósseis e materiais minerais. Foi mudar da colheita na superfície da Terra, para a mineração do subsolo; ou, nos termos de Geirgescu-Roegen, foi uma mudança da dependência da energia do sol, para a energia estocada na Terra⁷.

As cidades da era industrial substituíram, conscientemente, os processos naturais por dispositivos mecânicos, tornados possíveis pelo uso intenso de combustíveis fósseis.

As águas das chuvas, que caem sobre os telhados, ruas e passeios são rejeitadas e encaminhadas através de complexos sistemas de drenagem para rios e lago próximos, enquanto que grandes quantidades de água são importadas de locais distantes, através de canais e tubos. Nutrientes são importados, sob forma de alimentos, utilizados uma só vez e descartados da cidade, como resíduos sólidos e esgoto.

A maioria das cidades, hoje, está apoiada em processos de vida degenerativos, desconectados da paisagem maior, havendo, portanto, a necessidade de uma re-integração (LYLE, 1994).

A Cidade do Futuro necessita prover, não somente um sistema de transporte de água mais sustentável, mas, também, uma solução integrada às necessidades de um sistema urbano de manejo das águas mais economicamente eficiente e responsável. O alvo fundamental é a restauração dos sistemas naturais ao redor e dentro da cidade, de forma a manter sua integridade ecológica. Remover todo o grande encanamento de despejo nos rios e oceanos pressupõe que outros meios de tratamento e de reciclagem sejam encontrados. Integridade ecológica também significa que arroios urbanos podem ser restaurados para prover um habitat mais diversificado do que quando eles foram transformados em drenos de concreto para águas pluviais. Os processos podem ser aplicados de forma a melhorar o controle de inundações, assim que o fluxo de água for diminuído, e uma grande quantidade de água seja capaz de recarregar aquíferos, ao invés de ser canalizada tão logo seja possível.

⁷ Em: The entropy Law and the economic process (A lei da entropia e o processo econômico). Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1971.

Newman e Kenworthy (1999a) informam que as cidades mais dependentes de automóveis nos EUA tinham os maiores problemas de poluição das águas pluviais. Tubulações de lançamento em rios e oceanos não são mais necessárias. Reciclagem da água, para vários usos urbanos, reciclagem de nutrientes e resíduos orgânicos, arroios e banhados, como parte integral da cidade e ampliação das superfícies para retenção das águas pluviais são metas para uma cidade sustentável. Essas metas também desafiam a maior parte dos sistemas centralizados de gerenciamento das águas, que cresceram com o velho paradigma modernista. Será necessária nova tecnologia e novos processos de gerenciamento urbano, de forma a criar uma Cidade do Futuro mais sustentável, em termos de água.

É tempo de harmonizar a população, os recursos e o desenvolvimento para o Século XXI. Somente quando uma cidade pensada em termos ciclos fechados para os seus recursos for estabelecida, pode a sociedade conquistar um desenvolvimento sustentável. Um ciclo de água culturalmente saudável (HCWC) é a base para uma sociedade circular. A base para a recuperação do meio-ambiente da água e sua manutenção é estabelecer uma cultura saudável para o ciclo da água (ZANG; XIONG, 2006). Palenzuela (1999) aborda o metabolismo circular urbano, com relação à energia, água, resíduos e emissões atmosféricas. Newman e Kenworthy (1999b) denominam de cidades orgânicas, aquelas em que os prédios parecem nascer da paisagem. Onde há respeito com a história e a cultura local, a natureza faz parte da cidade, a água é reciclada, a área rural produtiva é adjacente à área urbana, as ruas são preenchidas por pessoas caminhando, e a maioria dos deslocamentos são realizados a pé.

A reutilização de águas residuárias urbanas e sedimentos é uma solução indispensável ao ciclo de água saudável. A reutilização de águas residuais tem sido amplamente promovida em Israel, Itália, Austrália e Estados Unidos, onde tem conquistado uma grande aceitação. A China, com graves problemas de poluição hídrica, também adota soluções e estratégias para o tratamento avançado e a reutilização da água residual urbana, denominada sistema de suprimento de água reutilizada, pois este é o ponto chave para a China restaurar os seus recursos hídricos (ZANG; XIONG, 2006).

O tratamento do esgoto municipal, para uso na irrigação, tem sido praticado em Israel desde 1950, quando a infra-estrutura de esgotos foi adotada. Como os estudos com água avançaram em Israel, os planejadores começaram a ver na água residual um recurso alternativo, que poderia facilitar a pressão de escassez de suprimento de água potável. Um aspecto importante do sistema de reuso de água residual é o transporte da água residual tratada das áreas urbanas,

onde é realizado o tratamento, para áreas agrícolas na periferia. A maior unidade de tratamento é o de Shafdan, que recolhe todo esgoto de Tel-Aviv e trata-o próximo a uma unidade de tratamento terciário, enviando-o por 100 km para o árido Negev, para uso em irrigação. Muitas plantas de menor escala são baseadas em açudes de sedimentos e reservas e fazem o tratamento das águas residuárias perto do local onde serão utilizados. Diversas cidades brasileiras, como Brasília-DF (BROSTEL; HARADA, 1997), Blumenau-SC (FIUZA JÚNIOR *et al.*, 2004), Nova Petrópolis-RS (LANZER; WOLFF, 2005), Balneário Comburui e Itajaí-SC (WAGNER; BELLOTTO, 2008) e Manaus-AM (BORJA; NEGREI-ROS, 2009) vêm adotando os conceitos desenvolvimento sustentável e implementando técnicas de tratamento de esgotos descentralizados, reutilização das águas residuais tratadas, com a finalidade tornar o ciclo de água saudável e se transformarem em cidades mais sustentáveis.

2.4 ESGOTOS SANITÁRIOS

2.4.1 Esgotos sanitários e sua composição

Os esgotos sanitários são gerados a partir da utilização das águas de abastecimento e podem ser classificados em urbanos e rurais. As atividades domésticas, comerciais, públicas, industriais e agrícolas utilizam água de abastecimento pública, ou de outras fontes de abastecimento, e a ela agregam matéria de diversificadas composição física, química e biológica (JORDÃO; VOLSCHAN JÚNIOR, 2009).

Os esgotos sanitários originários da área urbana e passíveis de serem coletados e transportados para uma ETE são: os efluentes domésticos; as águas de infiltração, que são as águas provenientes do subsolo e que infiltram nas redes coletoras; os esgotos industriais e as águas pluviais, parcela da chuva que escoam superficialmente.

Os esgotos industriais podem estar presentes na rede pública de coleta, geralmente em quantidade não significativa; constituem, juntamente com a maior parcela dos esgotos domésticos, o chamado esgoto sanitário. Indústrias de maior porte, ou com contribuição significativa, quer em quantidade ou qualidade, costumam ter suas próprias unidades de tratamento, ou dispõem de pré-tratamento, antes de lançarem seus efluentes na rede pública (JORDÃO; PESSÓA, 2005).

Os esgotos domésticos ou domiciliares provêm de instituições, edificações residenciais e/ou comerciais, que contenham banheiros, lavanderias, cozinhas, ou qualquer dispositivo de utilização da água para fins domésticos. Compõem-se, essencialmente, da água de lavagem, de banho, restos de alimentos, sabão, detergentes, urina, fezes e papel.

Os esgotos industriais são oriundos de qualquer atividade industrial que utilize a água para este fim. Estes esgotos adquirem características próprias, em função do processo industrial adotado; sendo assim, cada indústria deverá ser considerada separadamente, uma vez que seus efluentes diferem, até mesmo em processos industriais similares (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Os esgotos domésticos, segundo Balkema *et al.* (2001), classificam-se em águas cinzas (*grey-water*) e em águas negras (*blackwater*). As águas cinzas são as águas provenientes das pias, tanques, lavatórios e chuveiros e possuem contaminantes químicos, resultantes dos produtos de limpeza e higiene; sólidos em suspensão (cabelos, fibras de tecidos, areia, etc.); gorduras; graxas e óleos.

As águas negras são as resultantes do vaso sanitário (fezes e urina), possuem elevada concentração de matéria orgânica e tem alto índice de microrganismos patogênicos.

Segundo a GTZ (2006), há quatro diferentes classificações para as águas residuais domésticas, pois estas possuem características diferentes devido ao seu uso: águas amarelas, somente urina; águas marrons, somente fezes; e as águas cinza e negras, descritas anteriormente.

Os esgotos sanitários constituem-se, aproximadamente, de 99,9% de água e 0,1% de sólidos. O líquido é o meio de transporte das inúmeras substâncias sólidas descartadas pelo homem. Estes sólidos são responsáveis pela deterioração da qualidade do corpo hídrico, que recebe os efluentes; por tanto, é devido a esta fração de sólidos que devemos tratar os esgotos. Nas substâncias sólidas, onde estão os contaminantes, destacam-se os sólidos suspensos, compostos orgânicos (proteínas, carboidratos, óleos e graxas), nutrientes (fósforo e nitrogênio), metais, sólidos dissolvidos inorgânicos, sólidos inertes e grosseiros, compostos não biodegradáveis, organismos patogênicos e eventualmente tóxicos, decorrentes de atividades industriais ou acidentais.

2.4.2 Características físicas dos esgotos domésticos

As principais características físicas dos esgotos domésticos, segundo Qasim⁸ *apud* Von Sperling (2005), são:

⁸ QASIM, S. R. **Wastewater treatment plants: planning, desing and operation.** New York: Holt, Rinehart and Winston, 1985.

- a) temperatura: A temperatura é ligeiramente superior à da água de abastecimento; varia de acordo com as estações do ano (normalmente a temperatura nos esgotos está acima da temperatura do ar, à exceção dos meses mais quentes de verão, onde varia de 20° a 25°C). A temperatura tem influência na atividade microbiana, pois a velocidade de decomposição do esgoto aumenta com a temperatura; na solubilidade dos gases, onde a solubilidade do oxigênio é menor nas temperaturas mais elevadas; na velocidade de reações químicas e na viscosidade dos líquidos;
- b) odor: O esgoto fresco tem odor oleoso, relativamente desagradável. Os esgotos sépticos têm odor fétido, odor de ovo podre, desagradável, devido ao gás sulfídrico e a outros produtos da decomposição. Quando ocorrem odores diferentes e específicos, o fato se deve à presença de despejos industriais.
- c) cor: A tonalidade acinzentada da cor é típica do esgoto fresco, enquanto que a cor cinza escuro ou preta é típica do esgoto séptico e de uma decomposição parcial;
- d) turbidez: A turbidez é causada por uma grande variedade de sólidos em suspensão. Os esgotos mais frescos ou mais concentrados, geralmente apresentam maior turbidez.

2.4.3 Características químicas dos esgotos domésticos

As principais características químicas dos esgotos domésticos, segundo Von Sperling (2005), são:

- a) sólidos totais: Os sólidos totais podem ser orgânicos e inorgânicos e classificam-se em:
 - sólidos suspensos: É a fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que não são filtráveis, pois são retidos em filtros de papel com porosidade de tamanho padronizado (0,45 a 2,0 μm). Esta fração compõe-se dos sólidos suspensos fixos, que são os componentes minerais, não incineráveis, inertes e os sólidos suspensos voláteis, que são os componentes orgânicos;

- sólidos dissolvidos: É a fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são filtráveis, pois não são retidos em filtros de papel com aberturas padronizadas de 0,45 a 2,0 μm . Esta fração também se compõe dos sólidos dissolvidos fixos, que são os componentes minerais e os sólidos dissolvidos voláteis, que são os componentes orgânicos;
 - sólidos sedimentáveis: É a fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos, que sedimenta em uma hora no Cone Imhoff, indicação aproximada da sedimentação em um tanque de decantação;
- b) matéria orgânica: Cerca de 70% dos sólidos no esgoto médio são de origem orgânica; portanto, a matéria orgânica presente no esgoto é a mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos. Estes compostos são constituídos, principalmente, por carboidratos, proteínas, gorduras e óleos, e, em menor, parte por uréia, surfatantes, fenóis e pesticidas (JORDÃO; PESSÔA, 2005);
- c) a quantidade de matéria orgânica presente no esgoto pode ser determinada indiretamente através da DBO₅, DQO, ou DBO_u, ou, diretamente, através do COT, onde:
- demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅): É a quantidade de oxigênio consumido para estabilizar bioquimicamente o material orgânico biodegradável, contido no esgoto, sob condição aeróbica, no teste de incubação, durante cinco dias, a 20° C;
 - demanda química de oxigênio (DQO): É a quantidade de oxigênio consumida para oxidação da matéria orgânica contida no esgoto, estimada através da reação química, utilizando o dicromato de potássio, como reagente, sob condição ácida e quente;
 - demanda bioquímica de oxigênio (DBO_u): Representa o consumo total de oxigênio, ao final de u dias, requerido pelos microrganismos para a oxidação bioquímica da matéria orgânica;
- d) carbono orgânico total (COT): É uma mediada direta da matéria orgânica carbonácea. É determinado através da conversão do carbono a gás carbônico;

- e) nitrogênio total: O nitrogênio total inclui o nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato. É um nutriente indispensável para o desenvolvimento dos microrganismos, no tratamento biológico. O nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal compreendem o denominado Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK);
- f) fósforo: É um nutriente indispensável no tratamento biológico. Existe na forma orgânica (30%), combinado à matéria orgânica e na forma inorgânica (70%), que são os ortofosfatos e polifosfatos;
- g) potencial hidrogeniônico (pH): O pH é o indicador das características ácidas ou básicas do esgoto. Uma solução é neutra em pH 7. Os processos de oxidação biológica normalmente tendem a reduzir o pH;
- h) alcalinidade: É o indicador da capacidade tampão do meio (resistência às variações do pH). Devido á presença de bicarbonato, carbonato e íon hidroxila.
- i) cloretos: “São provenientes da água de abastecimento e dos dejetos humanos” (VON SPERLING, 2005, p. 86).
- j) óleos e graxas: São frações da matéria orgânica solúveis em hexanos. Nos esgotos domésticos, as fontes são óleos e gorduras utilizados nos alimentos;
- k) matéria inorgânica: Conforme Jordão e Pessoa (2005), a matéria inorgânica contida nos esgotos são constituídas, principalmente, pelas areias e outras substâncias minerais dissolvidas. A areia é proveniente de águas de lavagem das ruas e de águas do subsolo, que se infiltram através das juntas das canalizações. “Com exceção da desarenação, raramente os esgoto são tratados para remoção de constituintes inorgânicos, à exceção de alguns despejos industriais.”

2.4.4 Características biológicas dos esgotos domésticos

A disposição adequada dos esgotos é essencial para a proteção da saúde pública e para preservação do meio ambiente. A presença de microrganismos e de indicadores de poluição, chamados de patogênicos, são as principais características biológicas dos esgotos domésticos. Dentre as bactérias, fungos, protozoários, vírus, e algas, microrganismos presentes no esgoto, as bactérias constituem o elemento mais importante deste grupo de organismos, visto que são responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica, tanto na natureza, quanto

nas unidades de tratamento biológico; outros, denominados organismos patogênicos, são causadores de doenças.

2.4.5 Principais doenças causadas pelos esgotos domésticos

Segundo o Manual de Saneamento da FUNASA, onde se encontra algumas experiências exitosas em saneamento, são citadas algumas das principais doenças transmitidas pela água ao homem, através de microrganismos de origem fecal, causados pelo inadequado tratamento e disposição das excretas e dos esgotos, entre as quais se destacam: (BRASIL. FUNASA, 2004).

2.4.5.1 Doenças veiculadas por ingestão

Febre tifóide, cólera, disenteria bacilar e amebiana, hepatite infecciosa, doenças cuja forma de transmissão é através da ingestão de organismo patogênico e as formas de prevenção são: a proteção e tratamento das águas de abastecimento, o fornecimento de água com qualidade e quantidade adequada e a promoção da higiene pessoal e doméstica.

2.4.5.2 Doenças veiculadas pelo contato com a pele ou com as mucosas

A falta de água e a higiene pessoal insuficiente são formas de transmissão de doenças, como a esquistossomose, infecções na pele e nos olhos, como o tracoma e o tifo relacionado com piolhos, e a escabiose. As formas de prevenção destas doenças são através da proteção dos mananciais, da disposição adequada dos esgotos, do não contato com as águas infectadas, combate ao hospedeiro intermediário, fornecimento de água em quantidade adequada e promoção da higiene pessoal, doméstica e dos alimentos.

2.4.6 Sistemas de tratamento de esgotos domésticos

O tratamento dos esgotos tem por objetivo a remoção de impurezas de diversificadas composições físico, química e biológica e de organismos patogênicos agregados às águas de abastecimento pelo uso doméstico.

Segundo Von Sperling (2005), a classificação dos principais níveis de tratamento de esgotos (figura 2) é:

- a) **tratamento preliminar:** Tem por objetivo a remoção de sólidos grosseiros e de areias, através de mecanismos físicos (gradeamento, sedimentação e outros).

As principais finalidades da remoção dos sólidos grosseiros são as proteções dos dispositivos de transporte de esgotos (bombas e tubulações), das unidades de tratamentos subsequentes e dos corpos receptores. A remoção de areia tem como finalidade básica: evitar a abrasão nos equipamentos e tubulações, eliminar ou reduzir a possibilidade de obstrução em tubulações, tanques, sifões e outros, além de facilitar o transporte do líquido. Usualmente, junto com o tratamento preliminar está uma unidade para a medição da vazão (Calha Parshall);

- b) **tratamento primário:** Destina-se à remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes, predominando os mecanismos físicos. Uma parte significativa dos sólidos em suspensão é matéria orgânica em suspensão. Assim, sua remoção por processos simples, como a sedimentação, implica na redução da carga de DBO (25 a 35%), dirigida ao tratamento secundário, enquanto que a eficiência na remoção de sólidos em suspensão fica em torno de 60 a 70%. A eficiência do tratamento primário, na remoção de sólidos em suspensão e, em decorrência, a DBO, pode ser aumentada através da adição de agentes coagulantes. Isto é denominado tratamento primário avançado. Conforme Silva (2004), após o tratamento primário, a matéria poluente que permanece na água é de reduzidas dimensões, normalmente constituída de colóides, devido à digestão do lodo, não sendo, portanto, passível de ser removida por processos exclusivamente físico-químicos;
- c) **tratamento secundário:** Este processo de tratamento inclui as unidades do tratamento preliminar, mas pode, ou não, incluir as unidades de tratamento secundário. Neste processo estão presentes os mecanismos físicos, mas predominam os mecanismos biológicos, com o objetivo de remoção da matéria orgânica, que se apresenta na forma de matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel ou filtrada) e matéria orgânica em suspensão (DBO suspensa ou particulada), cujos sólidos de sedimentabilidade mais lenta persistem no esgoto. Os índices de remoção da DBO e dos coliformes são em torno de 60 a 99%, podendo, eventualmente remover algumas quantidades de nutrientes (nitrogênio e fósforo); uma gama de microrganismos toma parte neste processo: bactérias, protozoários, fungos e outros. A base do processo é o contato efetivo entre os microrganismos e o material orgânico contido nos

esgotos, de tal forma que esse possa ser utilizado como alimento pelos microrganismos, que convertem a matéria orgânica em gás carbônico água e material celular (crescimento e reprodução dos microrganismos);

- d) **tratamento terciário:** objetiva a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou, ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário, como o nitrogênio e o fósforo, microrganismos patogênicos, metais pesados e outros. Os processos mais utilizados são a cloração para desinfecção, a ozonização para desinfecção e/ou remoção de substâncias orgânicas complexas, filtração rápida, para remoção de matéria em suspensão e outros. O tratamento terciário é bastante raro no Brasil;

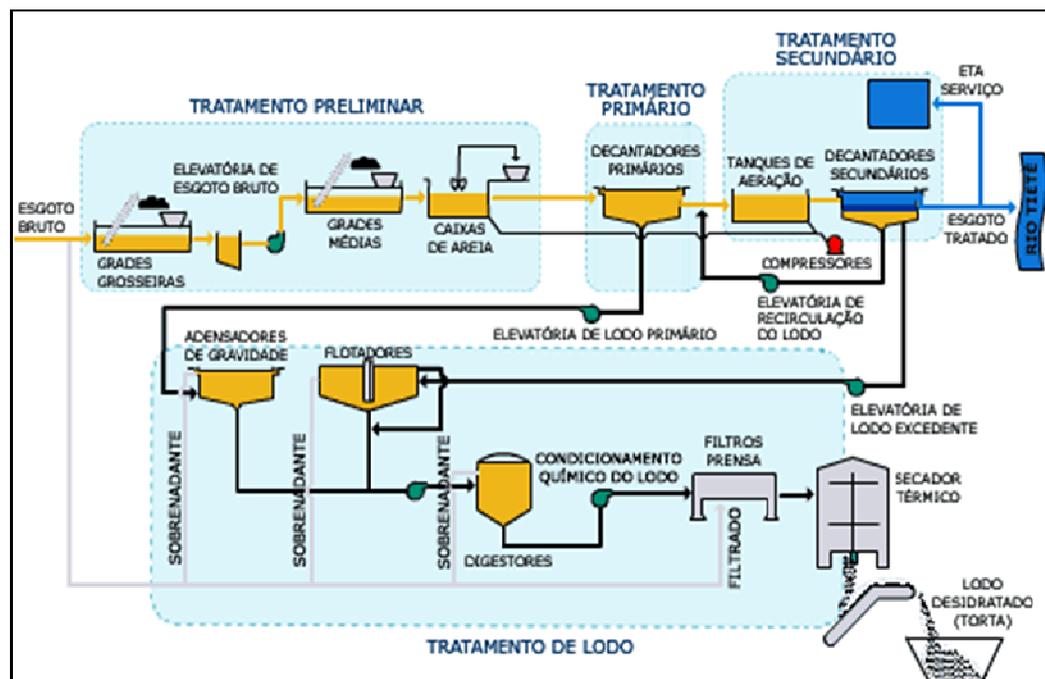


Figura 2: Diagrama esquemático de uma estação de tratamento de esgotos (Fonte: Baseado em MELLO, 2007)

Os principais métodos utilizados para tratamento nas estações de esgotos são classificados em sistemas anaeróbios, sistemas aeróbios com biofilmes, sistemas de lodos ativados e variantes, lagoas de estabilização e variantes e processos de disposição controlada no solo:

- a) **sistemas anaeróbios:** Os sistemas anaeróbios apresentam, como uma das principais características, a estabilização da matéria orgânica, anaerobicamente,

sem a presença de oxigênio, por meio de bactérias aderidas em um meio de suporte, pedras, plásticos, no interior do reator;

- b) sistemas aeróbios, com biofiltros: Neste sistema a matéria orgânica é estabilizada aerobicamente, através de bactérias que apresentam capacidade de aderência a um meio de suporte inerte, podendo ser classificados em percoladores da baixa e de alta carga. O esgoto é aplicado na superfície do tanque, ficando a matéria orgânica retida pelas bactérias, ao percolar em sentido descendente, pelos espaços vazios existentes no meio de suporte. No meio de suporte, há espaços livres, formando vazios, o que permite a circulação de ar no processo;
- c) sistemas de lodos ativados: Neste processo, a estabilização da matéria orgânica é realizada aerobicamente, através da introdução de oxigênio, por meio de equipamentos. O princípio dos lodos ativados baseia-se no aumento da concentração da biomassa em suspensão no meio líquido, isto é, quanto mais bactéria houver em suspensão, maior será a assimilação da matéria orgânica presente no esgoto bruto. Estes sistemas têm alta eficiência na remoção da DBO, baixos requisitos de área, porém elevados custos de implantação, operação e consumo de energia;
- d) lagoas de estabilização e variantes: São sistemas de tratamento biológico, em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas (JORDÃO; PESSÔA, 2005). As lagoas de estabilização são unidades especialmente projetadas, construídas e operadas com a finalidade de tratar esgotos (VON SPERLING, 2005). As lagoas de estabilização podem ser classificadas em anaeróbias, facultativas e de maturação, ou aeróbias, conforme as atividades metabólicas predominante na degradação da matéria orgânica;
- e) disposição controlada no solo: A aplicação dos esgotos no solo pode ser uma forma de disposição final ou tratamento, ou ambas. Uma fração das águas dos esgotos dispostos no solo incorpora-se às plantas e ao próprio solo, umedecendo-o; a parte excedente, geralmente a maior, é encaminhada à recarga do lençol subterrâneo e à evapotranspiração (disposição final) ou, finalmente, escoar até um corpo hídrico; porém em maior grau de pureza, devido à ação do sistema solo-planta (CORAUCCI FILHO et al., 1999). Neste

processo podem-se citar os banhados construídos (wetlands). Estes podem ser considerados como método de disposição no solo, que usa tecnologia simples, de fácil operação e baixo custo. Nos banhados construídos ocorre boa ciclagem de nutrientes, a remoção da matéria orgânica e a diminuição dos microrganismos patogênicos, presentes nas águas residuárias (BRIX, 1994). O fornecimento de água e nutrientes ao solo favorece o crescimento das plantas (forrageiras), que podem ser destinadas a alimentação de animais (bovinos), pois não apresentam alterações no perfil sanitário (BEVILACQUA et al., 2003).

As técnicas empregadas no tratamento de esgotos domésticos são amplas e podem ser consultadas, com detalhe, em trabalhos de Jordão e Pessoa (2005) e Von Sperling, 2005. A figura 3 apresenta as operações e processos de tratamento de esgotos sanitários comumente utilizados, no que se refere aos poluentes mais encontrados, neste tipo de efluente.

Poluente	Operação, processo ou sistema de tratamento
Sólidos em suspensão	Gradeamento, remoção de areia, sedimentação e disposição no solo.
Matéria orgânica biodegradável	Lagoas de estabilização e variações, lodos ativados e variações, reatores aeróbicos com biofilmes, tratamento anaeróbio e disposição no solo.
Organismos patogênicos	Lagoas de maturação, disposição no solo, desinfecção com produtos químicos, desinfecção com radiação ultravioleta e membranas.
Nitrogênio	Nitrificação e desnitrificação biológica, lagoas de maturação e de alta taxa, disposição no solo e processos físico-químicos.
Fósforo	Remoção biológica, lagoas de maturação de alta taxa e processos físico-químicos.

Figura 3: Operações, processos e sistemas de tratamento utilizados para remoção de poluentes (Fonte: VON SPERLING, 2005)

As características das ETEs dependem de algumas condições prévias, que devem ser atendidas: a classe do rio, estabelecida pelo enquadramento, que receberá o efluente final; as exigências legais de disposição e qualidade; as condições e capacidade de depuração do corpo receptor, além da definição da eficiência necessária para o tratamento (BASSANI, 2005). Na figura 4 são comparados às eficiências de remoção de poluentes, dos diversos tipos de tratamento, considerando os parâmetros de remoção de matéria orgânica (DBO₅), de

nitrogênio total (N total), de fósforo total (P total), assim como a remoção de organismos patogênicos (coliformes fecais).

Tipos de Tratamento de Esgoto	Eficiência média de remoção			
	DBO5 (%)	N total (%)	P total (%)	CF (unid.)
Tratamento primário (tanques sépticos)	30-35	< 30	< 35	< 1
Tratamento primário convencional	30-35	< 30	< 35	< 1
Tratamento primário avançado (a)	45-80	< 30	75-90	≈ 1
Lagoa facultativa	75-85	< 60	< 35	1-2
Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa	75-85	< 60	< 35	1-2
Lagoa aerada facultativa	75-85	< 30	< 35	1-2
Lagoa aerada mistura comp.-lagoa de sedimentação	75-85	< 30	< 35	1-2
Lagoa+lagoa de maturação	80-85	50-65	> 50	3-5
Lagoa+lagoa de alta taxa	80-85	75-90	50-60	3-4
Lagoa+remoção de algas	85-90	< 60	< 35	3-4
Infiltração lenta	90-99	> 75	> 85	3-5
Infiltração rápida	85-98	> 65	> 50	4-5
Escoamento superficial	80-90	< 65	< 35	2-3
Terras úmidas construídas (wetlands)	80-90	< 60	< 35	3-4
Tanque séptico+filtro anaeróbio	80-85	< 60	< 35	1-2
Tanque séptico + infiltração	90-98	< 65	> 50	4-5
UASB	60-75	< 60	< 35	≈ 1
UASB + lodos ativados	83-93	< 60	< 35	1-2
UASB + biofiltro aerado submerso	83-93	< 60	< 35	1-2
UASB + filtro anaeróbio	75-87	< 60	< 35	1-2
UASB + filtro biológico de alta carga	80-93	< 60	< 35	1-2
UASB + lagoas de polimento	77-87	50-65	> 50	3-5
UASB + escoamento superficial	77-90	< 65	< 35	2-3
Lodos ativados convencionais	85-93	< 60	< 35	1-2
Aeração prolongada	90-97	< 60	< 35	1-2
Reator por batelada	90-97	< 60	< 35	1-2
Lodos ativados com remoção biológica de N	85-93	> 75	< 35	1-2
Lodos ativados com remoção biológica de N/P	85-93	> 75	75-88	1-2
Lodos ativados + filtração terciária	93-98	< 60	50-60	3-5
Filtro biológico percolador de baixa carga	85-93	< 60	< 35	1-2
Filtro biológico percolador de alta carga	80-90	< 60	< 35	1-2
Biofiltro aerado submerso	88-95	< 60	< 35	1-2
Biofiltro aerado submerso com remoção biológica	88-95	> 75	< 35	1-2
Biodisco	88-95	< 60	< 35	1-2

DBO5: Demanda Bioquímica de Oxigênio; N: Nitrogênio; P: Fósforo

Figura 4: Eficiências típicas de remoção dos principais poluentes nos esgotos domésticos (Fonte: Baseado em VON SPERLING, 2005)

2.4.7 Sistemas de tratamento de esgotos descentralizados

A expressão “saneamento descentralizado” está associada à idéia de “diversidade” e se contrapõe às idéias de “centralismo”, que correspondem a concepções “monoculturais”. O tratamento de esgotos por sistemas descentralizados devem dar enfoque ao conceito de desenvolvimento sustentável, na medida em que promovem concepções locais, mais próximas das pessoas e integradas aos ecossistemas e suas leis. Desse modo, promove-se a participação da sociedade, e, também, a produção de conhecimento (LETINGA, 2001).

No uso da expressão “tratamento descentralizado” observa-se uma grande variação dos tamanhos das estações de tratamento de esgotos. Nos países mais avançados, como os europeus, sistemas descentralizados são discutidos para residências ou pequenos povoados, de 5 até 500 habitantes (ESREY, 1998).

Para utilização deste termo técnico no Brasil, deve-se considerar uma realidade totalmente diferente, não somente pelo nível de tratamento realizado, mas também pela situação social e geográfica. Os problemas mais urgentes são localizados nos centros urbanos, com seus crescimentos explosivos e condições de implantação de tratamento de esgoto totalmente variáveis. Por outro lado, há locais especiais, que também exigem um tratamento de esgotos com elevada eficiência, como hotéis, centros turísticos e condomínios.

As estações “descentralizadas”, segundo a legislação vigente no país, são aquelas com vazão nominal de projeto menor ou igual a 50 L/s ou com capacidade para atendimento de até 30.000 habitantes, a critério do órgão ambiental competente (BRASIL, 2006b).

Outra questão refere-se ao atendimento a padrões cada vez mais restritivos da legislação ambiental. Observa-se que os sistemas de esgotamento avançados, com elevada eficiência, apresentam custos de operação muito elevados e, portanto, tem a sua implantação inviabilizada para pequenas unidades de tratamento (LETINGA, 2001).

No Brasil, devido às baixas taxas de tratamento de esgotamento sanitário e à falta de investimentos, procurou-se minimizar estes problemas, através da construção das estações em etapas ou módulos, reduzindo os custos e a necessidade de contrair empréstimos para a implantação de sistemas de tratamento. Essa solução, no entanto, depende de um forte comprometimento dos gestores públicos, para que os investimentos tenham uma continuidade (ROQUE, 1997).

Considerando a situação econômica dos municípios e a falta de condições de pagamento pelos serviços pela população, há também a necessidade de se restringir o consumo de insumos, como energia elétrica e produtos químicos, para reduzir os custos de operação. As estações de tratamento de esgotos, que possam ser implantadas com um menor investimento global e alta eficiência destacam-se como soluções viáveis.

Por fim, a utilização de materiais e métodos construtivos adaptados às realidades regionais, são fatores importantíssimos para minimizar os custos de implantação e aumentar a vida útil das instalações.

2.4.8 Sistemas de tratamento de esgotos centralizados

São sistemas de esgotamento sanitário públicos e coletivos, que possuem estação de tratamento de esgotos (ETE), como sua unidade de referência centralizada (figura 5), que recebem todos os esgotos coletados e transportados, sendo assim denominados “sistemas centralizados”. Em seus limites insere-se uma ou mais bacias de esgotamento sanitário e toda a abrangência da área urbana atendida pela rede coletora de esgotos. Para a ETE convergem todos os esgotos gerados nos limites do sistema de esgotamento sanitário (JORDÃO; VOLSCHAN JR, 2009).

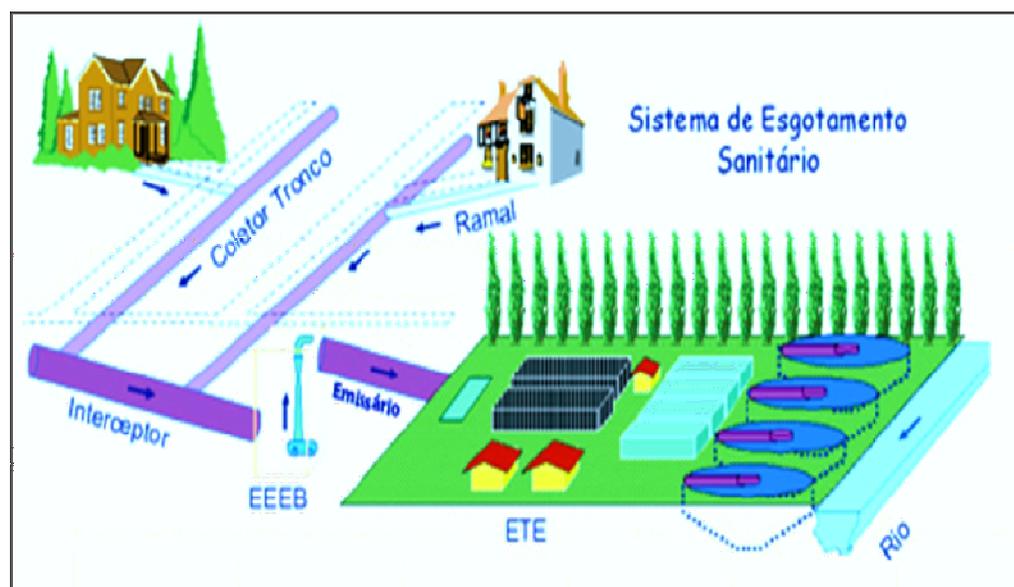


Figura 5: Desenho esquemático de um Sistema de Esgotamento Sanitário e seus principais componentes

2.5 LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS, DE RECURSOS HÍDRICOS E DE SANEAMENTO

No que tange à legislação ambiental, temos importantes marcos referenciais, no âmbito nacional, estadual e municipal, responsáveis pelas diretrizes do meio ambiente, em especial quanto aos impactos decorrentes do lançamento de efluentes nos corpos hídricos. A legislação de recursos hídricos restringe-se ao âmbito nacional e estadual, enquanto que a lei de saneamento é o marco regulatório para o setor de saneamento no país.

2.5.1 Legislação ambiental e de recursos hídricos

A Constituição Federal estabelece uma série de premissas sobre este tema:

Art. 20 – São bens da União: [...] III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais;

[...] VIII - os potenciais de energia hidráulica;

Art. 21 – Compete à União:

[...] XIX - instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso;

Art. 23 – É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e Municípios:

[...]. VI – proteger o meio ambiente e combater a poluição, em qualquer de suas formas;

[...] IX – promover programas de construção de moradias e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico;

[...] XI – registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direito de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios;

Art. 26 – Incluem-se entre os bens dos Estados:

I – as águas superficiais e subterrâneas fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obra da União;

Art. 30 – Compete aos Municípios:

I - legislar sobre assuntos de interesse local;

[...] VIII - promover, no que couber, o adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano;

Art. 225: Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo, para os presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

A Constituição Federal de 1988 destinou um capítulo especial, *Capítulo VI*, ao meio ambiente. Para a temática dos Recursos Hídricos delegou à União a competência para legislar sobre as águas e energia, criando normas gerais de aplicação nacional. Cabe aos Estados legislar sobre a utilização e o aproveitamento dos recursos hídricos em seu território, criando normas administrativas para gestão dos recursos e combate a poluição em seus domínios. A Constituição definiu a instituição do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos

Hídricos. Para atender este princípio constitucional foi promulgada a Lei 9.433, em 1997, que criou o Sistema Nacional de Recursos Hídricos. Esta Lei, denominada “Lei das Águas”, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, com o objetivo de assegurar a necessária disponibilidade de água, a utilização racional e integrada dos recursos hídricos e a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos.

Os princípios desta política são:

- a) a água é um bem de domínio público;
- b) a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- c) em situações de escassez, o uso prioritário da água é o consumo e a dessedentação de animais;
- d) a gestão dos recursos hídricos deve promover o uso múltiplo das águas;
- e) a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a gestão dos Recursos Hídricos;
- f) a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos são:

- a) os planos de recursos hídricos;
- b) o enquadramento dos corpos de água em classes de uso;
- c) a outorga dos direitos de uso da água;
- d) a cobrança pelo uso da água;
- e) o sistema nacional de informações sobre recursos hídricos.

Os integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos são: o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); a Agência Nacional de Águas (ANA); os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; os Comitês de Bacias Hidrográficas, os órgãos e as entidades da União, Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos.

RESOLUÇÃO CONAMA 357/05

A Resolução CONAMA 357, de 2005, promulgada em 17 de março de 2005, revoga a Resolução CONAMA 20/86 e: “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, entre outras providências.”

Entre suas considerações é importante ressaltar que o enquadramento dos corpos hídricos não deve ser baseado no seu estado atual, mas, sim, no nível em que deveriam estar para atender às necessidades dos usuários. Isto significa que os rios brasileiros devem ser reclassificados (BRASIL, 2005b).

Esta Resolução classificou as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, segundo a qualidade requerida para seus usos preponderantes, em treze qualidades, sendo as águas doces classificadas em cinco classes, as águas salobras e as salinas em quatro classes, cada. As águas doces foram classificadas em classe especial, classes 1, 2, 3 e 4, sendo que as águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigentes, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes. A classe especial é a mais restritiva, enquanto que a classe 4 é a menos restritiva (BRASIL, 2005b).

A Resolução 357/2005, define que enquanto não forem aprovados os enquadramentos, as águas doces serão consideradas como Classe 2 e as águas salinas e salobras Classe 1, exceto se as condições de qualidades atuais forem melhores, determinando a aplicação da classe mais rigorosa.

Conforme a classificação das águas doces, definida na resolução, o uso a que se destinam as águas de Classe especiais são: abastecimento humano, com desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e a preservação dos ambientes aquáticos, em unidades de conservação de proteção integral. As águas de Classe 1 são destinadas ao abastecimento humano, após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, irrigação de hortaliças e frutas consumidas cruas e à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas. As águas de Classe 2 são definidas como as águas que podem ser destinadas ao abastecimento humano, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, irrigação de hortaliças, plantas frutíferas, áreas de lazer em que o público possa ter contato direto e à aquicultura e à atividade de pesca. As águas de Classe 3 podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento

convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora, à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais. As de Classe 4 destinam-se à navegação e à harmonia paisagística.

O enquadramento da Resolução 357/05 é específico para a classificação das águas superficiais. Os padrões de qualidade das águas determinados por esta resolução estabelecem limites individuais, para cada substância, em cada classe. Os órgãos estaduais ou municipais responsáveis pelas diretrizes do meio ambiente, em cada estado ou município no Brasil, podem aplicar os mesmos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA, complementar, ou estabelecer padrões mais restritivos.

RESOLUÇÃO CONAMA 377/06

A Resolução N° 377, de 9 de outubro de 2006, dispõe sobre: “Licenciamento ambiental simplificado de esgotamento sanitário”.

Esta resolução resolve que as unidades de transporte e de tratamento de esgoto sanitário, separada ou conjuntamente, de pequeno e médio porte, ficam sujeitos a procedimentos simplificados de licenciamento ambiental, sendo que estes procedimentos não se aplicam aos empreendimentos situados em áreas, declaradas pelo órgão competente, como ambientalmente sensíveis. No escopo desta resolução, consideram-se como unidades de transporte de esgoto, de pequeno porte, interceptores, emissários e estações elevatórias, com vazão nominal de projeto menor ou igual a 200 L/s. E, estações de tratamento de esgoto, com vazão nominal de projeto menor ou igual a 50 L/s, ou capacidade para atendimento de até 30.000 habitantes, a critério do órgão ambientalmente competente (BRASIL, 2006b).

As unidades de transporte de médio porte serão interceptores, emissários e estações elevatórias, com vazão nominal de projeto maior do que a 200 L/s e menor ou igual a 1000 L/s e estações de tratamento de esgoto com vazão nominal de projeto maior que 50 L/s e menor ou igual a 400 L/s ou capacidade para atendimento superior a 30.000 e inferior a 250.000 habitantes, a critério do órgão ambientalmente competente.

RESOLUÇÃO CONAMA 412/09

A Resolução N° 412, de 13 de maio de 2009, estabelece: “Critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à construção de habitações de Interesse Social”.

Esta resolução, em um de seus artigos, estabelece que no licenciamento ambiental simplificado para novos empreendimentos deverão ser atendidos, no mínimo, os seguintes critérios e diretrizes: “implantação de sistemas de abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgotamento sanitário, nos locais não dotados de sistema público de esgotamento e destinação adequada.”

RESOLUÇÃO CONAMA 430/11

A Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre: “As condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA”.

No escopo desta, em um de seus artigos, parágrafo único, se estabelece que o lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deverá observar o disposto nesta Resolução, quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas e disposições do órgão ambiental competente.

Em suas diretrizes, a resolução estabelece que os responsáveis pelas fontes poluidoras dos recursos hídricos deverão realizar o automonitoramento, para controle e acompanhamento periódico dos efluentes lançados nos corpos receptores, sob responsabilidade de profissional legalmente habilitado. O responsável por fonte poluidora dos recursos hídricos deve apresentar ao órgão competente, até o dia 31 de março de cada ano, Declaração de Carga Poluidora, referente ao ano anterior (BRASIL, 2011).

A Constituição do Estado do Rio Grande do Sul, através do artigo 171, instituiu o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, integrado ao Sistema Nacional de Recursos Hídricos adotando a bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento. A Constituição Estadual estabelece uma série de premissas sobre os temas recursos hídricos, meio ambiente e saneamento.

LEI N° 10.350/94

Em 30 de dezembro de 1994, foi sancionada e entrou em vigor a Lei 10.350/94, a “Lei das Águas” do Rio Grande do Sul, regulamentando o artigo 171 da Constituição Estadual, através da instituição do Sistema Estadual de Recursos Hídricos. Este Sistema instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos, que tem por objetivo promover a harmonização entre os múltiplos e competitivos usos da água, de modo a: priorizar o abastecimento público;

combater os efeitos adversos das enchentes, estiagens e da erosão do solo; impedir a degradação e promover a melhoria de qualidade e o aumento da capacidade de suprimento dos corpos de água, superficiais e subterrâneos.

Os princípios desta política são:

- a) todas as utilizações dos recursos hídricos que afetam a disponibilidade qualitativa ou quantitativa ficam sujeitas à previa aprovação pelo Estado;
- b) a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a gestão dos recursos hídricos;
- c) os benefícios e os custos da utilização da água devem ser socializados, através de uma gestão estatal, considerando a participação dos indivíduos e das comunidades afetadas;
- d) as diversas utilizações da água serão cobradas, a fim de financiar as intervenções necessárias, à proteção dos recursos hídricos, e incentivar o uso racional d'água;
- e) o Estado deve divulgar à sociedade, periodicamente, relatórios sobre o estado quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos.

As diretrizes específicas da lei são: descentralização do Estado, por regiões e bacias hidrográficas; participação comunitária, através da criação de Comitês de Gerenciamento de bacias hidrográficas; compromisso e apoio técnico por parte do Estado, através de agências de região hidrográfica; integração do gerenciamento dos recursos hídricos e do gerenciamento ambiental; articulação do Sistema Estadual de Recursos Hídricos (SERH) com o Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNRH); compensação financeira aos municípios que sofram prejuízos decorrentes de leis de proteção aos mananciais; incentivo financeiro aos municípios afetados por áreas de proteção ambiental de especial interesse para os recursos hídricos.

Segundo Cánepa e Grassi (2000), transparecem duas características marcantes sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos: a primeira, é que se recupera a idéia e a necessidade de um planejamento em longo prazo para o poder público e a sociedade gaúcha, sem o qual o bem ambiental **água**, de propriedade estatal, pode ser exaurida, por degradação qualitativa de suas fontes; a segunda característica traduz-se na idéia de planejamento em um modelo descentralizado e participativo, onde as comunidades afetadas têm voz e voto, sem os quais o planejamento tornar-se-ia excessivamente tecnocrático e fadado ao fracasso.

Os instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos são divididos em:

- a) instrumentos de planejamento:
 - enquadramento dos mananciais em classe de uso;
 - plano de bacia hidrográfica;
 - plano estadual de recursos hídricos;
- b) instrumentos de gestão:
 - a outorga dos direitos de uso da água;
 - a cobrança pelo uso da água.

Os integrantes do Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos são: o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH), órgão superior do sistema, onde são aprovados, em última instância, os processos de enquadramento, planos de bacias e resoluções de conflitos pelo uso da água; o Departamento de Recursos Hídricos (DRH), órgão responsável pela execução dos processos de outorga, cadastramento de usuários, sistema de informações de recursos hídricos e de assistir tecnicamente o Conselho de Recursos Hídricos; a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEPAM), responsável pelas outorgas de emissão de efluentes em corpos hídricos e o acompanhamento dos processos de planejamento; os Comitês de Gerenciamento de Bacias hidrográficas (CBs), “verdadeiros parlamentos das águas”; as Agências de Bacia Hidrográficas, que são o elo entre o CRH, DRH e a FEPAM e os CBS, cujo objetivo é o suporte técnico aos comitês, a fim de que estes possam decidir sobre as intervenções e executar a cobrança pelo uso da água, baseado em alternativas tecnicamente factíveis.

2.5.2 Legislação sobre saneamento

A Constituição do Estado do Rio Grande do Sul de 1992 estabelece que:

Do saneamento básico.

Art. 247– “O saneamento básico é serviço público essencial e, como atividade preventiva das ações de saúde e meio ambiente, tem abrangência regional” (RIO GRANDE DO SUL, 1992).

§ 1º – O saneamento básico compreende a captação, o tratamento e distribuição de água potável; a coleta, o tratamento e a disposição final de esgotos cloacais e do lixo, bem como a drenagem urbana.

§ 2º – É dever do Estado e dos municípios a extensão progressiva do saneamento básico a toda população urbana e rural, como condição básica da qualidade de vida, da proteção ambiental e do desenvolvimento social.

Art. 248 – O Estado e os Municípios, de forma integrada ao Sistema Único de Saúde, formularão a política e o planejamento da execução das ações de saneamento básico, respeitadas as diretrizes estaduais quanto ao meio ambiente, recursos hídricos e desenvolvimento urbano.

[...]

§1º – Os Municípios poderão manter seu sistema próprio de saneamento.

[...]

Do Meio Ambiente.

Art. 250 – O meio ambiente é bem de uso comum do povo, e a manutenção de seu equilíbrio é essencial à sadia qualidade de vida.

Art. 251 – Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo, preservá-lo e restaurá-lo, para as presentes e futuras gerações, cabendo a todos exigir do Poder público a adoção de medidas nesse sentido (RIO GRANDE DO SUL, 1992).

RESOLUÇÃO CONSEMA 128/2006

No Estado do Rio Grande do Sul, a Resolução, do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA), Nº 128, dispõe sobre: “a fixação dos padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão, que lançam seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul.”

Esta resolução apresenta diretrizes específicas sobre o tema, abordando os parâmetros de lançamento gerais, como temperatura, cor, odor, espumas, materiais flutuantes, sólidos sedimentáveis, pH, dureza, óleos e graxas de origens, animal, vegetal e mineral e coliformes fecais. Também são contempladas na resolução as concentrações máximas para produtos químicos e metais pesados, DBO, DQO, SS (Sólidos Suspensos) a serem lançados nos corpos de água, por faixas de vazões, considerando a potencialidade das fontes poluidoras.

RESOLUÇÃO CONSEMA 245/2010

A Resolução Nº 245, de 20 de agosto de 2010 dispõe sobre:

[...] a fixação de procedimentos para o licenciamento de sistemas de Esgotamento Sanitário, considerando etapas de eficiência, a fim de alcançar, progressivamente, os padrões de emissão e os padrões das classes dos corpos hídricos receptores, em conformidade com os planos de Saneamento e de Recursos Hídricos.

Esta resolução fixa procedimentos para o licenciamento de Sistemas de Esgoto Sanitários (SES), considerando etapas de eficiência, com objetivo de alcançar, progressivamente, os padrões de emissão e os padrões das Classes dos corpos hídricos receptores, em conformidade com os Planos de Saneamento e de Recursos Hídricos. A aplicação desta resolução é exclusivamente aos SES previstos nos referidos planos, o que contempla a Lei Federal 11.445, especialmente no seu Art. 22 (BRASIL, 2007). Este define diretrizes para o

saneamento básico e condiciona a prestação de serviços públicos à observação de um plano de saneamento, com objetivos e metas de curto, médio e longo prazo para a universalização, admitidas soluções graduais e progressivas, observando a compatibilidade com os demais planos setoriais.

Lei Nº 11.445 (Lei do Saneamento)

A adição dos conceitos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas aos conceitos de saneamento básico, abastecimento de água e esgotamento sanitário corrige distorções do antigo modelo, que centravam na oferta de água e esgoto, priorizando o abastecimento de água. Para a saúde pública, a integralidade dos serviços é que pode alcançar a salubridade ambiental (SANTOS, 2009).

A aprovação da lei nº 11.445/07 supriu uma importante lacuna, em termos de políticas públicas, que durou duas décadas. É extremamente positivo o fato de a nova legislação do setor incorporar alguns princípios do SUS, como o controle social, o fortalecimento do papel dos municípios, a inter-setorialidade, o que oportuniza a integração das ações de saúde e saneamento (SANTOS, 2009, p. 357).

A história do saneamento no país pode ser dividida em três fases, entre o século XVI e XX: na primeira, com início no século XVI, até meados do século XIX, o Estado estava ausente das questões sanitárias; a segunda fase, entre meados do século XIX, até o final de 1959, o Estado assume as ações sanitárias, havendo melhoria da saúde e, como consequência, uma melhora na produtividade do trabalho e a terceira fase, a partir da década de 1960, ocorre a bipolarização entre as ações de saúde e as de saneamento (REZENDE; HELLER, 2008). A saúde passa a ter cada vez mais um caráter assistencialista e o saneamento básico passa a ser tratado como ações de infra-estrutura (MORAES, 2009).

Na década de 60 houve um distanciamento entre as ações de saúde e saneamento, porque o governo autoritário desmobilizou forças políticas, enfraquecendo instituições que atuavam antes de 1964, visando a facilitar o seu controle (BRASIL, 2006a).

O saneamento, no Brasil, até os anos de 1970, foi caracterizado por comportamentos isolados, em cada região. Os problemas eram enfrentados conforme estes atingiam a população da região interessada, de acordo com os aspectos econômicos, políticos, sociais, e culturais, levando, portanto, à exclusão das populações carentes, o que ainda podemos observar (DE SWAAN, 1990).

A partir da década de 70, através da implementação do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), foi estabelecido para o setor de saneamento um novo modelo de gestão, unificado. A principal motivação deste modelo foi a necessidade de atender à demanda urbana por abastecimento da água, devido ao crescimento populacional (RUBINGER, 2008).

Rezende e Heller (2008) destacam que, apesar da melhoria no abastecimento de água, grande parte da população, principalmente a mais carente, continuou excluída, visto que o plano foi fundamentado na auto sustentação tarifária, onde tarifas deveriam cobrir os custos de operação e manutenção das Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESB), criadas para operarem os sistemas de abastecimento de água. Ainda, no modelo Planasa, os serviços de abastecimento de água foram privilegiados, em detrimento dos serviços de esgotamento sanitário, e nenhum dos dois serviços atingiram as metas pretendidas.

As crianças de 1 a 6 anos, atualmente, são as principais vítimas da ausência de sistemas de coleta de esgotos, o que representa uma probabilidade de 32% de morrerem por doenças causadas pela ausência de redes de esgoto. Em mulheres grávidas, há um aumento de 30% da chance de seus filhos nascerem mortos, nas localidades onde não há sistemas de coleta de esgotos (NERI⁹ *apud* MARTINETTI, 2009).

Em 1999, é firmado acordo com Fundo Monetário Internacional (FMI) e o Brasil compromete-se a acelerar e ampliar o escopo do programa de privatização e concessão dos serviços de água e esgotos, limitando o acesso dos municípios aos recursos oficiais. Neste ano é realizada a I Conferência Nacional de Saneamento, por iniciativa da Câmara dos Deputados, onde os princípios fundamentais de uma política pública passam a ser formulados e discutidos.

Os resultados da Conferência, que apontam para a universalização do atendimento com serviços de qualidade e igualitário, pelos operadores públicos, reforço quanto à titularidade municipal, como poder concedente dos serviços, estimulando mecanismos de controle social e participação popular na realização dos serviços (BRASIL, 2000).

No século XXI, a União assume seu papel financiador e regulador do saneamento básico. A concessão dos financiamentos foi condicionada à viabilidade econômica e social dos novos projetos. A reinserção da União nas políticas urbanas, através da criação do Ministério das Cidades, da Secretária Nacional de Saneamento Ambiental e a abertura à participação da

⁹ NERI, M.C. (Coord.). **Trata Brasil: Saneamento e Saúde**. Rio de Janeiro: FGV/IBRE, 2007.

sociedade civil, por meio de Conferências e do Conselho das Cidades, resultaram na Lei do Saneamento (BRASIL, 2006a).

O saneamento básico no país tem vivenciado um dos melhores períodos da trajetória econômica e institucional recente. Por um lado, a retomada dos investimentos públicos em saneamento básico está sendo consolidado, por meio do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que ampliou consideravelmente os recursos disponíveis para os investimentos em saneamento no quadriênio do programa. Com o lançamento do PAC, em janeiro de 2007, reverteram as limitações financeiras, que restringiam os novos investimentos, elevando o volume de contratações, de uma média de R\$ 3 bilhões anuais, no período de 2003-2006, para cerca de R\$ 10 bilhões por ano, de 2007 a 2010 (BRASIL, 2009).

A partir de 2007, a Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, regulamentada através do decreto nº 7217, de 21 de junho de 2010, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Esta lei, nº 11.455, denominada Lei de Regulamentação do Setor de Saneamento Básico, é considerada o marco regulatório para o setor de saneamento no país e supera o vazio institucional, que caracterizou o setor nos últimos anos.

Segundo esta Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007), os serviços públicos de saneamento básico são prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:

- a) **universalização do acesso:** os serviços devem ser acessados por todos;
- b) **integralidade das ações:** os serviços de saneamento ambiental devem ser promovidos de forma integral, principalmente os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo das águas pluviais, manejo de resíduos sólidos e controle de vetores;
- c) **igualdade:** considera-se que os cidadãos têm direitos iguais no acesso aos serviços de saneamento ambiental de boa qualidade;
- d) **eficiência e sustentabilidade econômica:** os serviços de saneamento deverão ser remunerados, sempre que possível;
- e) **integração das infra-estruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos:** esta articulação e integração institucional se constituem em importantes mecanismos de uma política pública de saneamento ambiental,

pois compatibilizam, racionalizam a execução de diversas ações, planos, programas e projetos, ampliando a eficiência, efetividade e eficácia da política;

- f) **participação e controle social:** estes são de fundamental importância na definição dos princípios e diretrizes da política pública, no planejamento das ações de saneamento e no acompanhamento das execuções para democratizar os processos de decisão e implantação das ações de saneamento.

A lei do saneamento estabelece, quanto ao exercício da titularidade, que os titulares dos serviços públicos de saneamento básico poderão delegar a organização, a regulação, a fiscalização e a prestação desses serviços.

No que se refere ao processo de planejamento, a Lei estabelece que o Plano de Saneamento Básico seja elaborado pelo titular, e os Planos Regionais de Saneamento Básico e o Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB) seja elaborado pela União. A elaboração e a revisão dos planos de saneamento básico deverão efetivar-se, de forma a garantir ampla participação da sociedade e dar-se-ão a cada quatro anos. Segundo o art. 26, do decreto 7.217/2010, a partir do exercício financeiro de 2014, a existência de plano de saneamento básico, elaborado pelo titular dos serviços, será condição para o acesso a recursos orçamentários da União ou entidade da administração pública federal, quando destinados a serviços de saneamento básico.

Quanto aos aspectos técnicos, a lei estabelece, em seu artigo 44.

Art. 44. O licenciamento ambiental de unidades de tratamento de esgotos sanitários e de efluentes gerados nos processos de tratamento de água considerará etapas de eficiência, a fim de alcançar, progressivamente, os padrões estabelecidos pela legislação ambiental, em função da capacidade de pagamento dos usuários.

§ 1º A autoridade ambiental competente estabelecerá procedimentos simplificados de licenciamento para as atividades a que se refere o caput deste artigo, em função do porte das unidades e dos impactos ambientais esperados.

§ 2º A autoridade ambiental competente estabelecerá metas progressivas, para que a qualidade dos efluentes de unidades de tratamento de esgotos sanitários atenda aos padrões das classes dos corpos hídricos em que forem lançados, a partir dos níveis presentes de tratamento e considerando capacidades de pagamento das populações e usuários envolvidos (BRASIL, 2007).

Este artigo está regulamentado no decreto nº 7.217/10, de 23 de junho de 2010, no CAPÍTULO V, DO LICENCIAMENTO AMBIENTAL, através Art. 22.

No que se refere à participação de órgão colegiado no controle social, a Lei do Saneamento, estimula que os serviços públicos de saneamento básico deverão incluir a participação de órgãos colegiados consultivos, estaduais, do Distrito Federal e municipais. Nos órgãos colegiados mencionados é assegurada a representação dos titulares dos serviços, dos órgãos relacionados ao setor de saneamento básico, dos prestadores de serviços públicos de saneamento básico, dos usuários, de entidades técnicas, organizações da sociedade civil e de defesa do consumidor.

Aos órgãos colegiados de controle social é assegurado o acesso a quaisquer documentos e informações produzidos pelos órgãos fiscalizados. A partir do exercício de 2014, será vetado o acesso aos recursos federais àqueles titulares de serviços públicos de saneamento básico que não instituírem, por meio de legislação específica, o controle social realizado por órgão colegiado (DECRETO Nº 7.217, 2010).

A idéia de participação social impõe a presença explícita e formal, no interior do aparato estatal, dos vários segmentos sociais, de modo a tornar visível a diversidade e, muitas vezes, contradições de interesses e projetos. A idéia suscita e associa à noção de controle social do estado, por oposição ao controle privado ou particular, exercido por grupos com maior poder de acesso e influência (MORAES; OLIVEIRA FILHO, 2000¹⁰ *apud* BRASIL, 2005a).

A cultura da participação deve acompanhar a da educação, visto que ambas são fundamentais para o exercício do controle social sobre as ações do Estado. A participação forma cidadãos, constrói solidariedade, protagoniza mudanças, facilita a democracia e acaba com a corrupção e o paternalismo (WARTCHOW, 2009).

Os objetivos da política são: contribuir para o desenvolvimento nacional, através da redução das desigualdades, geração de rendas e a inclusão social; priorizar a implantação e a ampliação dos serviços de saneamento nas áreas ocupadas por populações de baixa renda; propiciar condições de salubridade ambiental às populações rurais e de pequenos núcleos isolados, indígenas e outras populações tradicionais; assegurar que a aplicação dos recursos se dê através de critérios de promoção de salubridade ambiental, maior relação benefício-custo e retorno social; incentivar o planejamento, regulação e fiscalização dos serviços de

¹⁰ MORAES, L. R. S; OLIVEIRA FILHO, A. Política e Regulamentação do Saneamento no Brasil: Análise Contemporânea e Perspectivas. In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, IX., 2000, Porto Seguro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES/APRH, 2000. CD-ROM. P. 1848-1859.

saneamento; promover alternativas de gestão; promover o desenvolvimento institucional; fomentar o desenvolvimento científico e tecnológico, a adoção de tecnologias apropriadas e a difusão dos conhecimentos gerados, de interesse do saneamento básico; e minimizar os impactos ambientais.

Para atender os objetivos propostos, a Política Nacional de Saneamento Básico observará as seguintes diretrizes: prioridade para as ações que promovam equidade social e territorial, no acesso ao saneamento básico; aplicação de recursos, com a finalidade de promover o desenvolvimento sustentável, a eficiência e a eficácia; utilização de indicadores epidemiológicos e de desenvolvimento social; melhoria da qualidade de vida e das condições ambientais e de saúde pública; colaboração para o desenvolvimento urbano e regional, atendimento à população rural, fomento ao desenvolvimento científico e tecnológico, adoção de critérios objetivos de elegibilidade e prioridade, considerando renda, cobertura, disponibilidade hídrica e riscos sanitários; adoção da bacia hidrográfica, como unidade de referência para o planejamento; e estímulo à implantação de infra-estruturas e serviços comuns a municípios, através de consórcios.

Para atingir as metas propostas na Política Nacional de Saneamento Básico caberá a União, sob a coordenação do Ministério das Cidades, a elaboração e revisão do Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB) e os Planos Regionais de Saneamento Básico. Os planos serão avaliados anualmente e revisados a cada quatro anos, com horizonte de vinte anos, compatíveis com as disposições dos Planos de Recursos Hídricos, inclusive o Plano Nacional de Recursos Hídricos e Planos de Bacias.

LEI Nº 2.514

A Lei Nº 618/87, de 29 de dezembro de 1987, institui o Código de Obras no Município de Feliz. Este código estabelece que as instalações sanitárias devam seguir as Normas da ABNT. Onde não existir rede de esgoto sanitário será obrigatório a instalação de fossa séptica, para o tratamento do esgoto sanitário, distinguindo os seguintes casos: quando não houver rede de drenagem pluvial, o efluente da fossa deverá ser conduzido a um poço absorvente (sumidouro), podendo o seu extravasor ser ligado, mediante canalização, ao meio fio, valas ou cursos de água; quando não houver rede de drenagem pluvial e o terreno não permitir a infiltração suficiente, a fossa deverá conter um biofiltro, com capacidade de retenção de 50 dias (FELIZ, 1987).

A Lei N° 1586, de 31 de dezembro de 2002, institui o Código de Posturas do Município, que determina as medidas de polícia administrativas, a cargo da municipalidade, relativas à higiene, à ordem e à segurança pública, ao funcionamento de estabelecimentos, regulamentando as obrigações do poder público municipal e dos habitantes do município. O Código de Posturas, em seu artigo 14, define:

Art. 14: O escoamento de águas servidas e dejetos devem ser feitos para o sistema de esgotamento sanitário, ou através de sistema individual, aprovado previamente pelo órgão técnico competente, proibida a ligação com a rede de escoamento de águas pluviais, se não houver tratamento prévio (FELIZ, 2002).

A lei municipal de nº 2.514, de 10 de fevereiro de 2011, dispõe sobre a Política do Meio Ambiente do Município de Feliz e dá outras providências, fixando objetivos e normas básicas para a proteção do Meio Ambiente e melhoria da qualidade de vida da população.

A Prefeitura Municipal de Feliz, através da Política do Meio Ambiente do Município, estabelece competência ao Departamento do Meio Ambiente, para que este passe a formular as normas técnicas e legais que constituam as posturas do município, no que se refere ao saneamento a aos serviços urbanos e rurais (FELIZ, 2011b).

Quanto aos serviços de saneamento básico (águas, esgoto, drenagem e resíduos sólidos) e domiciliar, operados por órgãos e entidades de qualquer natureza, estão sujeitos ao controle do Departamento de Meio Ambiente, sem prejuízo daquele exercido por outros órgãos competentes, devendo observar o disposto na Lei 2.514, seu regulamento e normas técnicas. A construção, reforma, ampliação e operação de sistema de saneamento básico dependem da prévia aprovação dos respectivos projetos pelo Departamento do Meio Ambiente. Ao proprietário do imóvel, é obrigatório a execução de adequadas instalações domiciliares de abastecimento, armazenamento, distribuição de água e esgotamento sanitário, assim como a sua conservação. Os esgotos sanitários deverão ser coletados, tratados e receber destinação adequada, de forma a se evitar contaminação de qualquer natureza; portanto, é obrigatória a existência de instalações sanitárias adequadas e sua ligação à rede pública coletora. Quando não existir rede coletora de esgotos, as medidas adequadas ficam sujeitas à aprovação do Departamento de Meio Ambiente, sendo vedado o lançamento de esgotos “in natura”, a céu aberto ou na rede de drenagem das águas pluviais.

NBR N° 12.209/1992

A NBR n° 12.209/1992, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), considerando sobre projetos de ETE's, fixa condições exigíveis para a elaboração de projetos hidrosanitários destas unidades. A NBR dispõe sobre algumas diretrizes básicas e restringe-se ao estabelecimento de parâmetros relativos aos processos de separação de sólidos, por meios físicos, filtro biológico, lodos ativados e tratamento de lodo (ABNT, 1992).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo descreve a área de estudo, os materiais e o método de pesquisa utilizado para a realização deste trabalho. Inicialmente apresenta-se a descrição do local de estudo e, posteriormente, a estratégia de pesquisa e o delineamento da pesquisa.

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na Região Hidrográfica do Guaíba, na bacia hidrográfica do rio Caí, no município de Feliz.

3.1.1 Caracterização da bacia hidrográfica do rio Caí

O Rio Grande do Sul, através do Conselho de Recursos Hídricos, foi subdividido em três regiões hidrográficas: a Região Hidrográfica da bacia do Rio Uruguai, a Região Hidrográfica da bacia do Guaíba e a Região Hidrográfica das bacias Litorâneas, figura 6.

A Região Hidrográfica do Guaíba é composta por 09 bacias hidrográficas: Caí, Gravataí, Sinos, Taquari-Antas, Baixo Jacuí, Pardo, Vacacaí-Vacacaí Mirim, Alto Jacuí e Lago Guaíba. Esta região hidrográfica, com área de 84.751,48 Km² (equivalente a 30% da área geográfica do RS), abrange os mais importantes núcleos industriais e concentra aproximadamente 6.884.253 habitantes, o equivalente a 70% da população do RS, distribuída em 257 municípios, incluindo a região metropolitana de Porto Alegre (RIO GRANDE DO SUL, 2008a).

A bacia hidrográfica do rio Caí está inserida na Região Hidrográfica do Guaíba e corresponde à Bacia G 030, da subdivisão hidrográfica do Sistema Estadual de Recursos Hídricos (SERH).

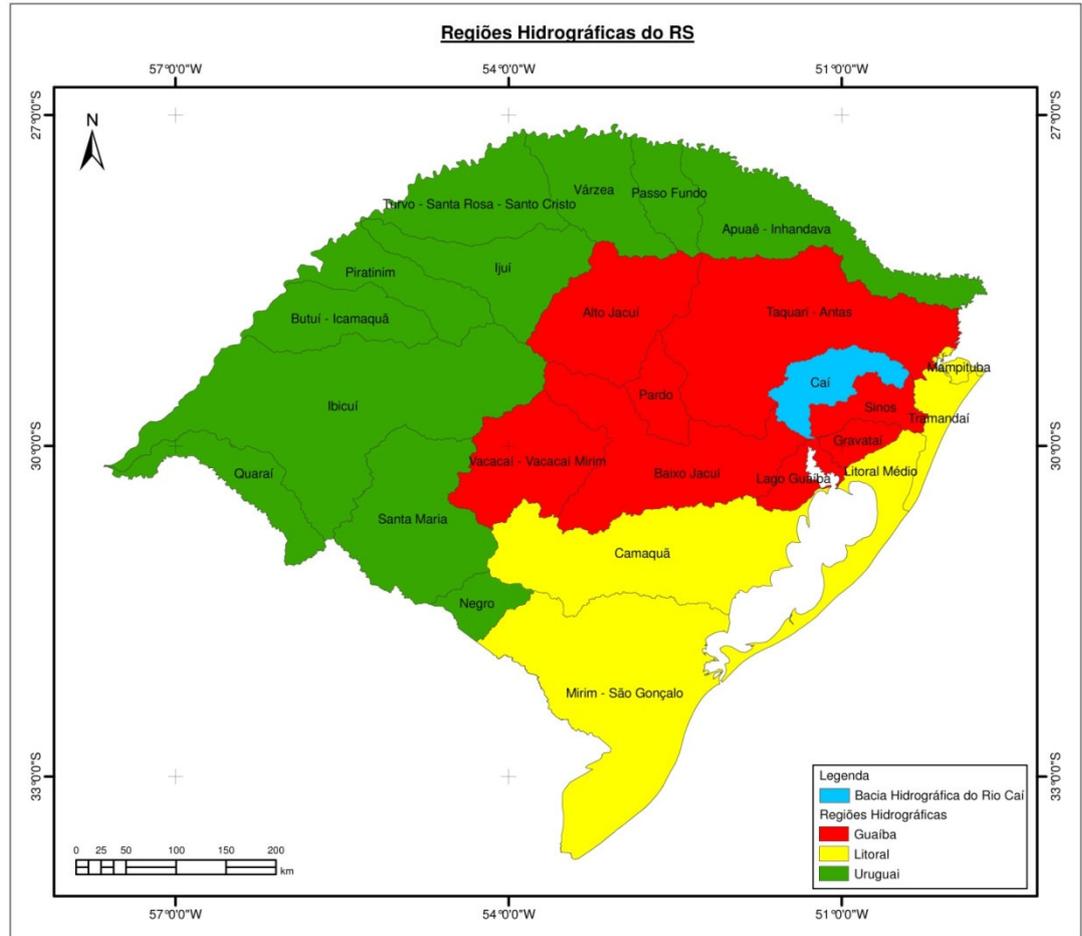


Figura 6: Regiões Hidrográficas (Fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2008b).

Segundo Tucci (2001), bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório (figura 7). A bacia hidrográfica é o conjunto de terras banhadas por um rio principal e seus afluentes. Área de drenagem é o limite da divisa hidrográfica (FORTUNATO NETO, 2010).



Figura 7: Desenho esquemático de uma bacia hidrográfica (Fonte: RIO GRANDE DO SUL. SEMA, 2010).

A Bacia Hidrográfica do Caí (G030), limita-se, a oeste e norte, com a bacia Taquari-Antas (G040); ao sul, com a bacia Baixo Jacuí (G 070) e, a oeste, com a bacia dos Sinos (G020). O rio Caí, cuja vazão média é de 110 m³/s na foz, tem uma extensão de 264 km, com as suas nascentes no município de São Francisco de Paula, na Serra Gaúcha, e a sua foz no delta do rio Jacuí, na região metropolitana de Porto Alegre.

Considerando aspectos geográficos e hidrográficos, a bacia do Caí abrange, total ou parcialmente, 43 municípios, sendo que algumas sedes municipais estão situadas no divisor de águas, ou seja, parte da mancha urbana está na bacia do Caí e a outra parte em outra bacia, caso de Caxias do Sul (figura 8).

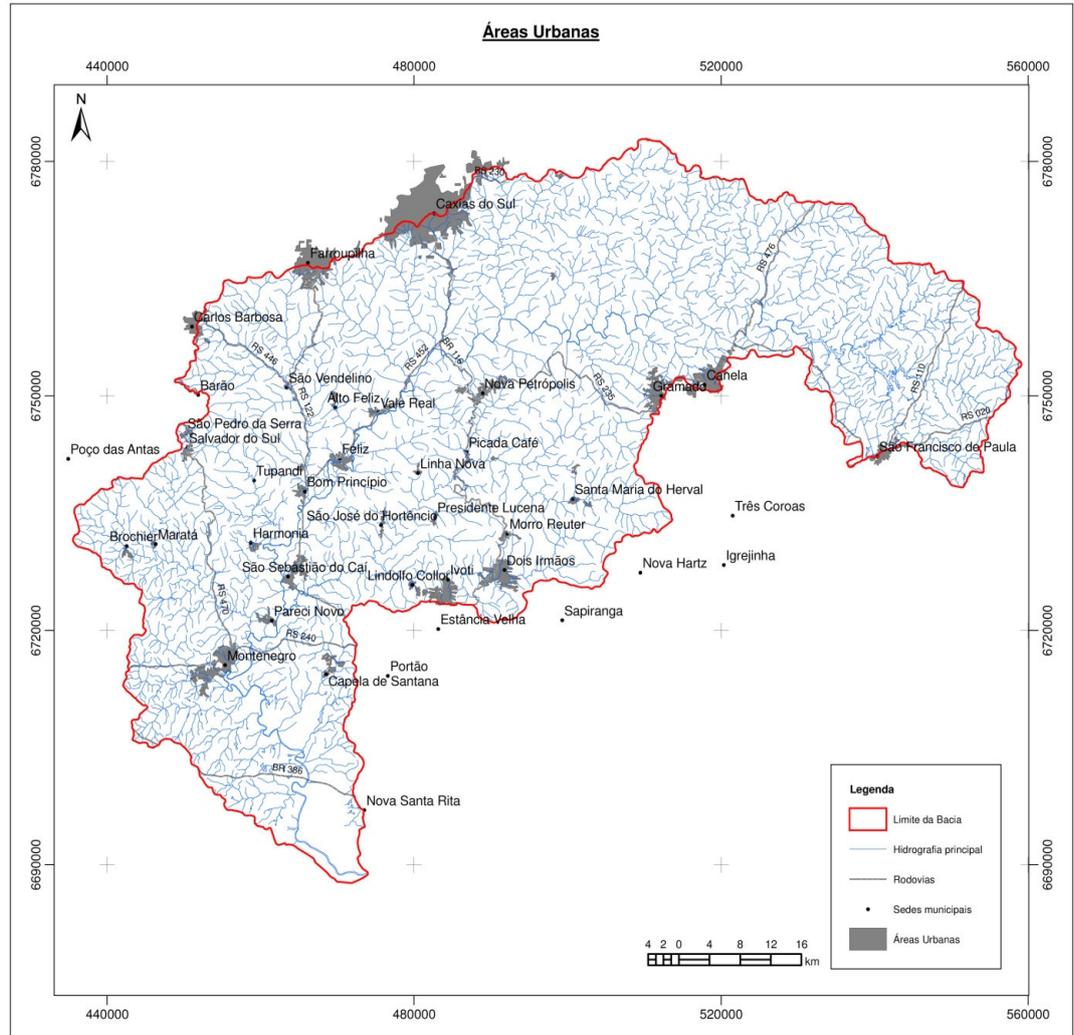


Figura 8: Bacia Hidrográfica do Caí (Fonte: O Autor)

A população total da bacia é de 489.746 habitantes, aproximadamente 5% da população do Estado, sendo que 405.084 habitantes residem na área urbana e 84.662, na área rural, e a sua área de drenagem é de 4.945,70 km² (RIO GRANDE DO SUL, 2008b). Considerando os municípios participantes no Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí – Comitê Caí, a bacia se restringe a 42 municípios (RIO GRANDE DO SUL, 2008a).

Quanto ao Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE, 2003), nos 42 municípios que participam do Comitê Caí, somente o município de Caxias do Sul é considerado de elevado desenvolvimento, enquanto que os demais são considerados de desenvolvimento médio. Seis municípios da bacia estão classificados entre os 50 melhores classificados no Estado: Caxias do Sul (1º), Ivoti (16º), Carlos Barbosa, (18º), Montenegro (24º), Farroupilha (48º) e Dois Irmãos (49º) (RIO GRANDE DO SUL, 2008a). O IDESE é um índice sintético, inspirado no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), que abrange um conjunto amplo de

indicadores sociais e econômicos, classificados em quatro blocos temáticos: educação; renda; saneamento e domicílios; e saúde. Tem por objetivo mensurar e acompanhar o nível de desenvolvimento do Estado, de seus municípios e dos Coredes, informando a sociedade e orientando os governos (municipal e estadual), nas suas políticas sócio-econômicas (FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2011).

A Bacia do Caí abrange quatro núcleos importantes de desenvolvimento econômico, onde se destacam as atividades urbano-industriais: os municípios pertencentes à Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), especializados no setor calçadista; os municípios que constituem o eixo turístico do Estado, cuja economia é baseada no turismo, destacam-se pelas atividades terciárias ligadas ao setor; a aglomeração polarizada de Montenegro, onde se destacam as atividades industriais; a aglomeração urbana do Nordeste, onde podemos destacar os municípios de Caxias e Farroupilha, com importante estrutura agro-industrial, destacando-se a vitivinicultura e o parque industrial diversificado (IPEA¹¹ *apud* RIO GRANDE DO SUL, 2008a).

O setor agropecuário desenvolve inúmeras atividades, que vão desde criação de gado de corte e silvicultura, nos Campos de Cima da Serra (nascentes), até a orizicultura, na foz. Estas atividades passam pela fruticultura (videira), avicultura, suinocultura e gado leiteiro, na região serrana e produção de morangos, olericultura, cítrica e acácias, no Vale do Caí. A participação dos setores produtivos na economia da região está distribuída em: 46%, setor industrial; 31%, setor de serviços e 23%, o setor agropecuário (RIO GRANDE DO SUL, 2008a).

3.1.2 Demanda hídrica e qualidade das águas

A estimativa da demanda hídrica superficial na bacia do Caí é de 124,10 hm³/ano, sendo que o abastecimento público é responsável por consumir 26,49 hm³/ano; o abastecimento industrial, 46,26 hm³/ano; a irrigação, 41,83 hm³/ano e a dessedentação animal, 9,52 hm³/ano. A demanda hídrica subterrânea estimada é de 11,32 hm³/ano, sendo que o abastecimento público é responsável por utilizar 9,02% hm³/ano e o abastecimento industrial, 2,30% hm³/ano (RIO GRANDE DO SUL, 2008b).

¹¹ IPEA. Caracterização e Tendências da rede urbana do Brasil: redes urbanas e regionais: SUL /IPEA, IBGE, UNICAMP/IE/NESUR, IPARDES. 1ª Reimpressão, Brasília: IPEA, 2000.

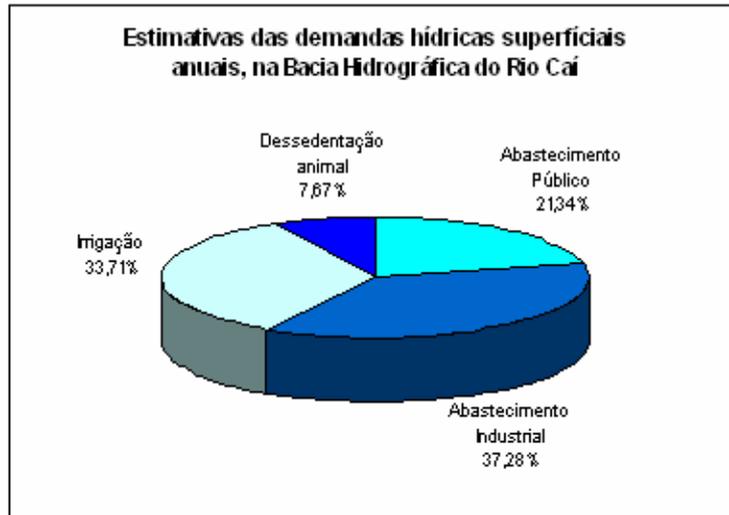


Figura 9: Estimativas das demandas hídricas superficiais anuais na Bacia do Caí (Fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2008b).

Com os múltiplos usos da água, a expansão do desenvolvimento agroindustrial e populacional na bacia, o balanço hídrico se tornou uma ferramenta de gestão fundamental para verificar a disponibilidade hídrica e definir qual é a capacidade de ampliação do desenvolvimento agroindustrial da região.

O balanço hídrico da Bacia Hidrográfica do rio Caí apresenta alguns aspectos distintos:

- a) há afluentes do rio Caí, tanto das margens esquerda e direita, que utilizam pouco a água disponibilizada, encontrando-se em situação confortável, quanto ao aspecto referente ao uso dos recursos hídricos superficiais. É o caso dos arroios Belo, do Ouro, Cadeia, Maratá, Pinhal, Feitoria e Baixo Cadeia;
- b) no eixo principal do rio Caí, no segmento Alto Caí-Barragens, onde há a existência de barragens para regularização das vazões, para a geração de energia na bacia do rio dos Sinos, através de uma transposição de água, a disponibilidade hídrica já se encontra muito comprometida com os seus usos;
- c) nos eixos intermediários do rio Caí, a situação de disponibilidade hídrica é um pouco mais confortável, com exceção do trecho Alto Caí-Lava Pés. Neste trecho, onde há a captação de água da CORSAN, para o abastecimento público dos municípios de Canela e Gramado, a disponibilidade hídrica está um pouco comprometida, devido ao uso significativo do recurso natural.

- d) nos trechos mais de jusante, Baixo Caí-Trecho Alto, Baixo Caí-Trecho Médio, Baixo Caí-Trecho Baixo, há a demanda hídrica para a orizicultura, que compromete bastante o balanço hídrico, pois há um grau de uso acima de 50% da disponibilidade. Devido à inversão de fluxo do Caí, há a entrada de água do rio Jacuí, em toda a extensão destes trechos; assim, boa parte da água utilizada para a irrigação de arroz neste trecho provém de outra bacia (RIO GRANDE DO SUL, 2008a).

A qualidade da água superficial na bacia hidrografia do Caí apresenta inúmeros problemas, provocados pela poluição orgânica, proveniente dos esgotos sanitários e dos dejetos de animais de sangue quente, e pela poluição industrial, com origem nos efluentes industriais, principalmente nas regiões da bacia em que prevalece esta atividade. Dentre os problemas apresentados, o que causa maior preocupação é a falta de tratamento dos esgotos sanitários, devido a altas taxas de DBO e coliformes fecais, nos trechos de grande densidade urbana.

3.1.3 Geologia e geomorfologia

3.1.3.1 Geologia

A geologia da bacia hidrográfica do rio Caí, está compreendida por litologias da Bacia do Paraná e pelos sedimentos Quaternários/Recentes, os quais correspondem, respectivamente, às províncias Paraná e Costeira (RIO GRANDE DO SUL, 1997).

A bacia encontra-se, quase toda, sobre rochas que compõem a seqüência vulcano-sedimentar da bacia do Paraná. Esta geologia consiste de rochas das Formações Serra Geral, Botucatu, Rosário do Sul e Rio do Rasto, além de sedimentos do Terciário e Quaternário (Figura 10). Os depósitos aluvionares e lacustres, de idades quaternárias, localizam-se junto ao rio principal, em seu curso médio e inferior, como também nos rios Cadeia e Feitoria.

A litologia mais antiga, dentre as que afloram na bacia, é a que constitui a Formação Rio do Rasto, cuja ocorrência restringe-se à foz do rio Caí, mais precisamente à localidade de Morretes, extremo sul da bacia (RIO GRANDE DO SUL, 2008a).

Dando continuidade, na coluna estratigráfica, situa-se a Formação Rosário do Sul, entre as Formações Rio do Rasto e Botucatu, na parte sul da bacia do rio Caí. Esta formação é

composta por sedimentos de origem fluvial, constituídos por arenitos médios e finos, a muito finos, de cores vermelha, rosa, amarela e esbranquiçada, apresentando, muitas vezes, manchas esbranquiçadas, devido à redução secundária.

A sequência fluvial é sucedida pela deposição eólica, visando constituir à Formação Botucatu e aos primeiros derrames basálticos da Formação Serra Geral. A Formação Botucatu é constituída por arenitos finos a médios, com estruturas típicas de deposição eólica, apresentando coloração vermelha, rosa e esbranquiçada. A Formação Serra Geral, situada em grande parte da bacia, é predominantemente de rochas vulcânicas básicas e, secundariamente, por rochas ácidas a intermediárias, que ocorrem restritas à região de planalto, correspondendo aos municípios de Caxias do Sul e São Francisco de Paula. Seus contatos inferiores são as Formações Botucatu e Rosário do Sul (RIO GRANDE DO SUL, 2008a).

A idade Quaternária está representada na bacia do rio Caí pelos depósitos aluvionares, os quais correspondem aos depósitos fluviais recentes, sendo constituídos por cascalhos, areias, siltes e argilas, havendo uma tendência de que as frações grosseiras predominem nas cabeceiras dos cursos de água, que compõem a bacia do rio Caí. Em função das suas características genéticas, tais depósitos sedimentares estão situados nas zonas sujeitas a enchentes, no Vale do Caí, o que não têm sido adequadamente considerado na ocupação do solo, no processo de urbanização e implantação de loteamentos habitacionais e industriais.

Os depósitos aluvionares possuem características agroecológicas heterogêneas, em função da diversidade de material de origem, o que implica na situação de solos alóctones arenosos permeáveis, solos argilosos e siltosos mal drenados, muito mesclados. Os bens minerais explorados na bacia são utilizados como suprimento de areia e cascalho (Figura 11), para a construção civil e como fonte de argila para a produção de cerâmica.

Quanto à Província Costeira, esta se encontra na porção sul da bacia e é constituída, predominantemente, por depósito silticos-argilosos, arenosos e, ocasionalmente, conglomeráticos que, fracamente consolidados ou inconsolidados, constituem acumulações colúviais, fluviais e eólicas. Fisiograficamente, esta Província se confunde com o Domínio Morfoestrutural dos Depósitos Sedimentares.

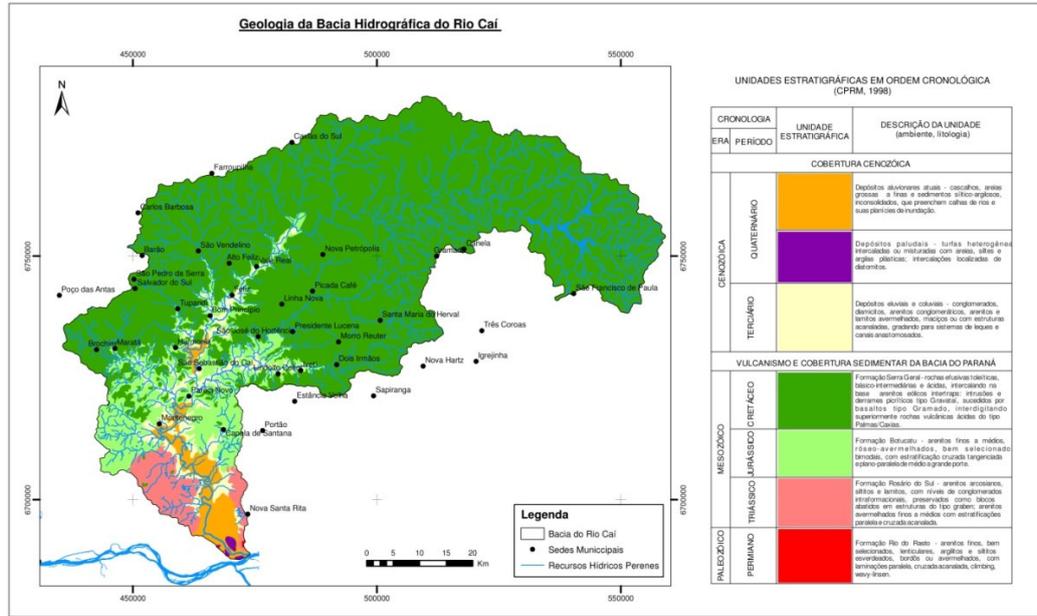


Figura 10: Mapa geológico da bacia hidrográfica do Caí (Fonte: Baseado em VARGAS, 2008)



Figura 11: Retirada de cascalho no rio Caí (Fonte: O Autor)

3.1.3.2 Geomorfologia

A classificação geomorfológica da bacia hidrográfica do Caí, baseada no projeto RADAM-BRASIL (IBGE, 1986), está dividida em dois domínios morfoestruturais: o domínio

morfoestrutural dos depósitos sedimentares; e o domínio morfoestrutural das bacias e coberturas sedimentares.

O Domínio Morfoestrutural dos Depósitos Sedimentares é constituído por amplas e extensas planícies costeiras, em uma grande superfície plana, alongada, na direção geral NE-SW, com variações N-S, alargando-se para sul. Estas planícies possuem uma superfície baixa, com altimetrias que variam entre 1 e 25 m, de acordo com a maior ou menor aproximação da linha de água.

O Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares traduz-se por um vasto planalto do tipo monoclinal, cujas cotas altimétricas decaem para oeste, em direção ao rio Uruguai. Este está representado pelos rios que formam as bacias do Uruguai e Jacuí, onde, nesta última, está inserida a bacia do rio Caí.

Os Domínios Morfoestruturais são divididos em regiões morfológicas e, estas, em unidades morfológicas, sendo que a bacia hidrográfica do rio Caí está representada, geomorfológicamente, pelas Regiões Geomorfológicas Planície Costeira Interna, Depressão Central Gaúcha, Planalto das Araucárias e apresenta cinco unidades geomorfológicas: Planície Alúvio-coluvionar do rio Caí, Depressão do rio Jacuí, Patamares da Serra Geral, Serra Geral e Planalto dos Campos Gerais, que encontra-se a 800 e 1000 metros acima do nível do mar e a camada de solo é rasa e pedregosa (Figura 12). As duas primeiras unidades geomorfológicas, Planície Alúvio-coluvionar do rio Caí e Depressão do rio Jacuí, estão situadas na Depressão Periférica (Central) e as demais, ao Planalto Meridional (Planalto e Chapadas da Bacia do Paraná).

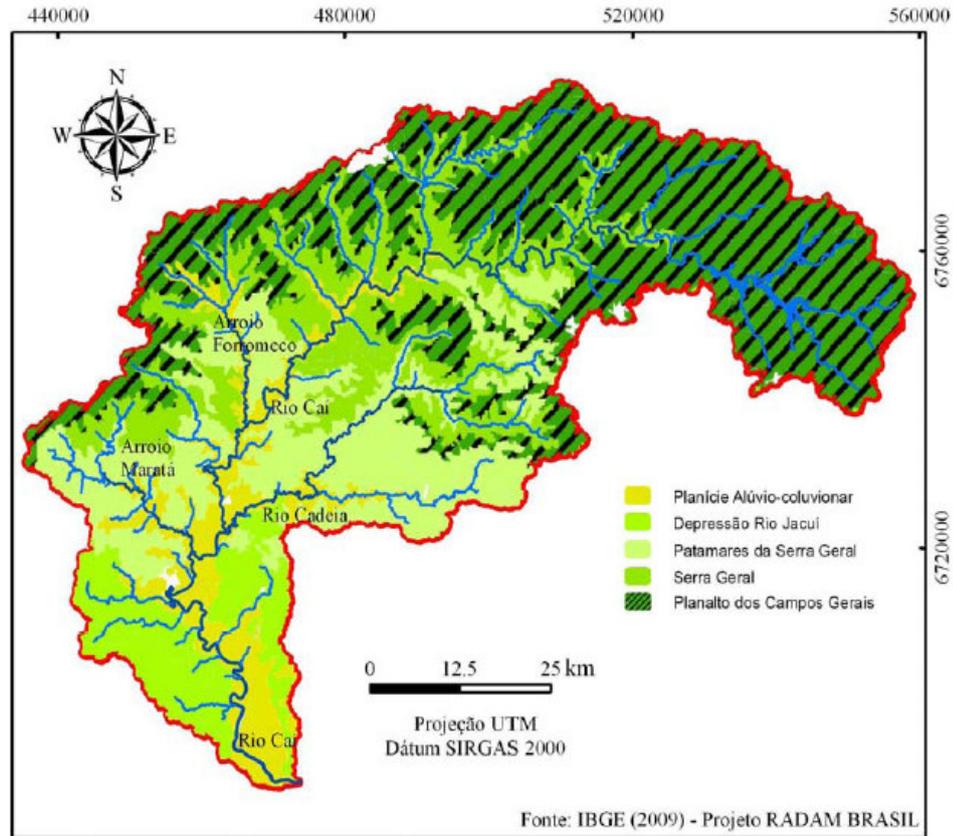


Figura 12: Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Caí (Fonte: OLIVEIRA, 2010)

3.1.4 Clima

A bacia hidrográfica do Caí está localizada em duas grandes regiões climáticas do Rio Grande do Sul, a Depressão Central e a Serra do Nordeste (FORTES¹² *apud* OLIVEIRA, 2010). Segundo a classificação climática de Köppen, esta bacia está inserida em uma região que apresenta dois tipos climáticos mais gerais. São eles: clima subtropical úmido, com verão quente (Cfa), cuja temperatura do mês mais quente é superior a 22° C; e clima subtropical úmido, com verão temperado (Cfb), com temperatura média, do mês mais quente, inferior à 22° C (Figura 13).

¹² FORTES, A. B. **Geografia Física do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Livraria do Globo, 1959.

Paulo Robinson da Silva Samuel. Porto Alegre: PPGE/UFGRS, 2011.

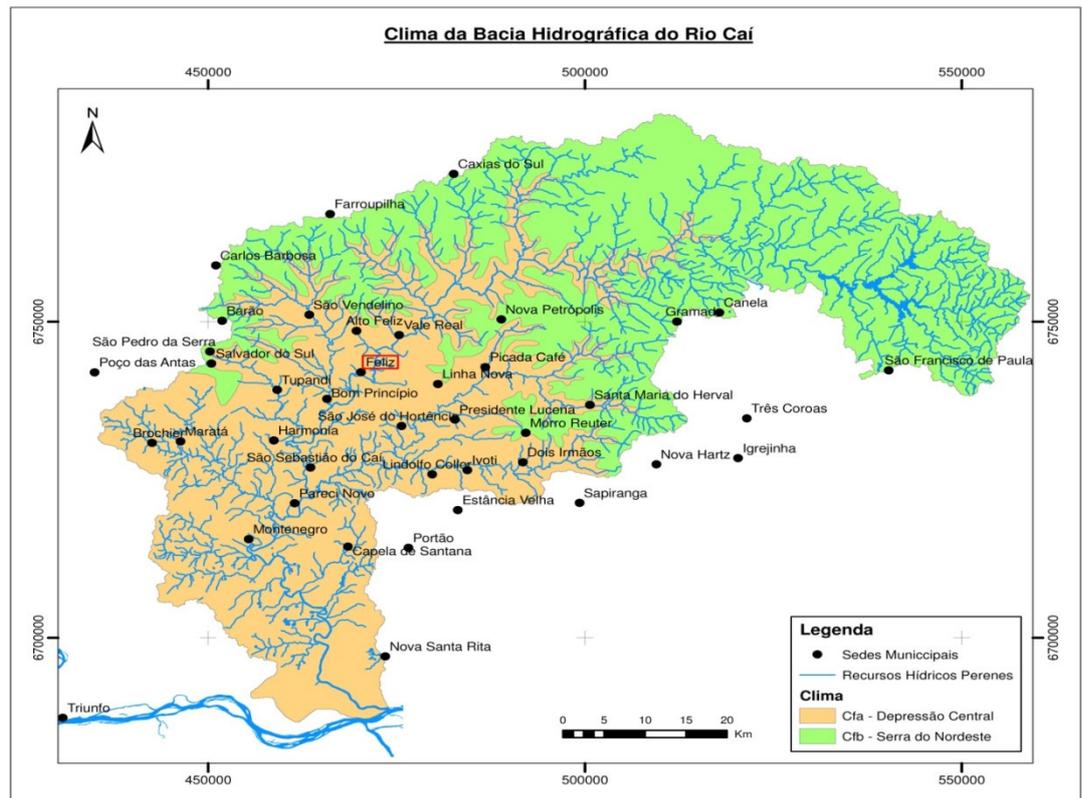


Figura 13: Clima da bacia hidrográfica do Caí (Fonte: OLIVEIRA, 2010)

A temperatura média anual da bacia, inserida na Depressão Central, é de $19,4^{\circ}\text{C}$, sendo que, entre os meses de novembro a março, a média mensal ultrapassa os 20°C . A precipitação média anual desta região varia de 1.250mm e 1.750mm, de acordo com os microclimas.

Na área da bacia localizada na Serra do Nordeste, com altitudes mais elevadas, as temperaturas caracterizam-se por serem mais amenas e o volume de chuva, maior. A temperatura média anual é de 16°C e a precipitação média anual oscila entre 1.500mm e 1.850mm (Figura 14).

Conforme os dados do Atlas Agroclimático do Rio Grande do Sul (1989 apud FEPAM-GTZ, 1997), há uma variação de precipitação, do sul para o norte, na bacia hidrográfica. A precipitação oscila de 1.300 a 1.400mm/ano, no curso inferior do rio, de 1.400 a 1.600mm/ano, no curso médio, e de 1.600 a 2.000mm/ano, no curso superior. As precipitações médias anuais variam de 1.213mm, em Porto Alegre, para 1.489mm, na Usina de Toca, no município de Canela, chegando a 2.131mm, em São Francisco de Paula. A média de dias de chuva no ano, em toda a bacia, é de 110 e 120 dias, sendo janeiro o mês mais chuvoso, variando entre 10 a 14 dias de chuva (FEPAM-GTZ, 1997) e os meses menos chuvosos são abril e maio, com precipitação média de 90mm (OLIVEIRA, 2010).

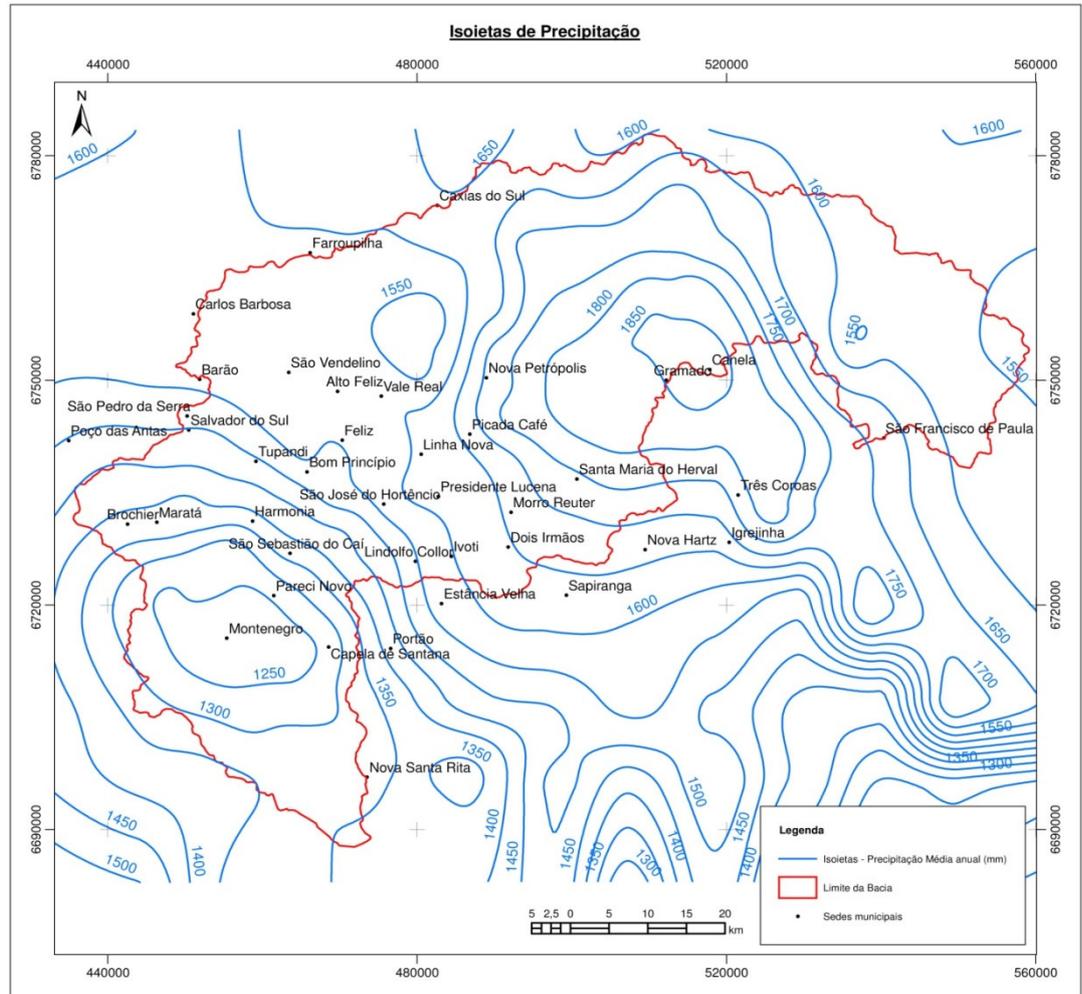


Figura 14: Isoietas de precipitação média anual na bacia hidrográfica do rio Caí (Fonte: Baseado em RIO GRANDE DO SUL, 2008a)

A umidade relativa do ar, em toda a bacia do rio Caí, é elevada, durante todo o ano (SÃO SEBASTIÃO DOCAÍ, 2011); porém, no período entre novembro a fevereiro, a tendência é de valores menores (RIO GRANDE DO SUL, 1997).

3.1.5 Usos do solo

Na bacia hidrográfica do rio Caí foram determinados 10 categorias de uso do solo: Área urbanizada, agricultura/arroz irrigado, agricultura (outros cultivos)/solo exposto, banhado/campo úmido, campo seco/ pastagem, mata nativa, mineração e corpo de água, silvicultura, vegetação arbustiva (RIO GRANDE DO SUL, 2008a).

As áreas de cobertura vegetal de porte arbóreo, composta da mata nativa e da silvicultura, predominam sobre as demais categorias na bacia do Caí (Figura 15).

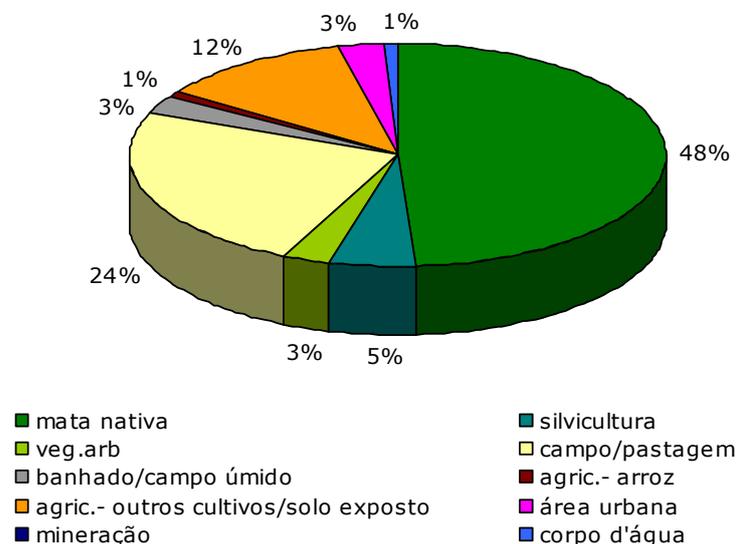


Figura 15: Distribuição das categorias de uso do solo na bacia do Caí (Fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2008a)

As áreas mais próximas às nascentes do rio Caí, curso superior do rio, caracterizam-se pelos campos abertos, com relevos suaves, que são utilizados na criação extensiva de gado bovino, na produção de maçãs e na atividade madeireira. Núcleos de mata araucária são comuns a estas áreas. Grande parte dos remanescentes desta mata encontra-se nas encostas mais íngremes e nos topos de morro, especialmente na porção onde o vale dificulta a ocupação. As maiores áreas de vegetação arbustiva são encontradas neste trecho, mas também são encontrados no baixo Caí.

Nas regiões do curso médio do rio, zona central e nordeste da bacia, estão localizadas as pequenas propriedades agrícolas, com cultivos diversificados. No Vale do Caí predomina o

plantio de frutas cítricas, enquanto que nos municípios que fazem parte de segmentos, como Arroio Pinhal, Belo, Ouro e Forromeco, predominam as plantações de uva, maçã e pêssego. No trecho médio do Caí, até a sua foz, são dominantes as manchas de acácia-negra e eucalipto. Os maiores centros urbanos desta região estão localizados às margens do rio, sendo que Caxias do Sul está no divisor de águas da bacia.

No curso inferior do rio estão localizadas as terras planas que são utilizadas para a plantação de arroz e para a pecuária. Nas áreas de várzea, onde são encontrados os banhados úmidos, é desenvolvida a cultura do arroz irrigado. As atividades de mineração são exercidas neste trecho do rio e caracterizam-se, principalmente, pela extração de cascalho, areia, saibro, argila e arenito. Neste trecho, muitas manchas urbanas estão localizadas às margens do rio, destacando-se Montenegro, por ser o maior município ao Sul da bacia.

3.1.6 Plano de Bacia e enquadramento

O Plano de Bacia e o enquadramento são processos de planejamento e gestão, respectivamente, previstos pela Lei Gaúcha das Águas (10.350/1994) e garantem a participação da sociedade em defesa desse bem público, que é responsabilidade de todos.

Segundo Lanna (1995), o planejamento ambiental é um processo organizado de obtenção de informações, de reflexão sobre os problemas e potencialidades de uma região, da definição de objetivos e metas sobre os problemas de estratégias de ação, de pactuação de projetos, atividades e ações, do sistema de monitoramento e avaliação que irá retro-alimentar o processo de planejamento.

3.1.6.1 Plano de bacia

Os planos de bacias são documentos técnicos, que terão, como elementos constitutivos, os objetivos de qualidade dos corpos hídricos a serem alcançados em determinado horizonte (enquadramento); os programas de intervenção estruturais e não-estruturais e sua espacialização; as formas de financiamentos dos programas, através dos valores a serem cobrados pelo uso da água, do rateio dos investimentos de interesse comum e da previsão dos recursos alocados pelos orçamentos públicos e privados na bacia.

Os planos de bacia hidrográfica têm por finalidade operacionalizar, no âmbito da bacia, as disposições do PERH, compatibilizando os aspectos quantitativos e qualitativos, em busca de

das metas e usos previstos pelo PERH, para a melhoria contínua da qualidade dos mananciais. A vigência dos planos é de 4 anos, com atualização a cada 2 anos.

No Estado do Rio Grande do Sul existem vinte e cinco Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas instalados, sendo que oito bacias hidrográficas possuem ou estão em fase de enquadramento de seus rios e onze têm planos de bacia ou estão em fase de desenvolvimento.

Os planos de bacia consistem de três fases: A fase A, que apresenta o diagnóstico e o prognóstico da situação atual dos recursos hídricos; a fase B, que compatibiliza e articula os múltiplos usos, e a fase C, que formula os planos de ações. A primeira etapa do plano de bacia do Caí, foi realizada no período de maio de 2006 a janeiro de 2008, onde constaram as fases A, diagnóstico e prognóstico, e a fase B, compatibilização e articulação, que foram aprovadas pelo CRH, em 2008. A fase C, fase em que se concebe o plano de ações e onde são determinados os prazos e metas intermediários para alcançar a proposta de Enquadramento, deverá ser realizada posteriormente.

3.1.6.2 Enquadramento

O enquadramento é um instrumento de planejamento, que visa indicar as metas de qualidade das águas, a serem alcançadas em uma bacia hidrográfica, em um determinado período, ou em que classe de qualidade de água deverá esta BH permanecer, para atender às necessidades de uso definidas pela sociedade. Conforme a lei nº 9.433/1997, o enquadramento deve ser estabelecido pelo CNRH ou pelos Conselhos Estaduais, mediante proposta apresentada pela Agencia de Bacia Hidrográfica e aprovado pelo respectivo Comitê de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica (BRASIL, 2006c).

No processo de Enquadramento realizado na Bacia do Caí, foi dada ênfase ao cenário de Pré-Enquadramento, concluído em reunião ordinária do Comitê em 24/05/2007, em São Sebastião do Caí. Este processo de pré-enquadramento teve 04 consultas públicas e contou com a participação de, aproximadamente, 260 pessoas.

O enquadramento contou com quatro reuniões públicas, descentralizadas, nos municípios de Canela, Caxias do Sul, Sebastião do Caí e Dois Irmãos, sendo que 174 pessoas participaram do processo decisório. As reuniões públicas foram para apresentação de resultados e recolhimento de opiniões sobre a proposta de enquadramento (figura 16).



Figura 16: Reunião pública para o enquadramento da bacia do rio Caí (Fonte: Comitê Caí, 2008).

Após este processo, foi elaborada uma proposta final de Enquadramento (Figura, 17), aprovada em reunião ordinária do Comitê Caí, em 27/11/2007, que foi submetida à aprovação do CRH, através da Resolução 50/08, de 11 de novembro de 2008. O prazo para atingir o enquadramento foi estipulado em 15 anos.

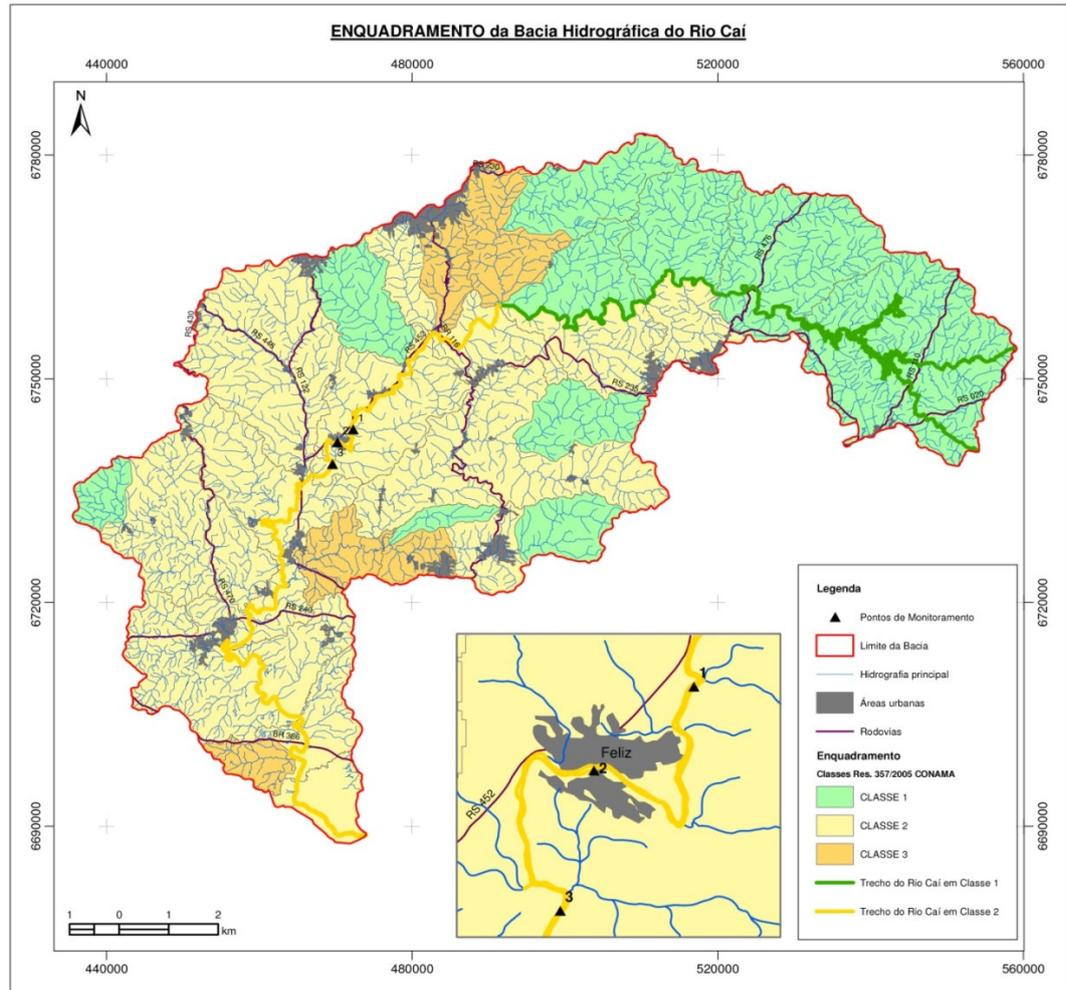


Figura 17: Mapa de enquadramento da bacia do rio Caí (Fonte: Baseado em RIO GRANDE DO SUL, 2008a)

Na reunião de 27/11/2007, o Comitê Caí também deliberou sobre a não realização de novos barramentos para geração elétrica e outros usos múltiplos, no curso principal do rio Santa Cruz e do rio Caí, no trecho compreendido entre suas nascentes e a foz do arroio Pirajá (RIO GRANDE DO SUL, 2008a).

As deliberações do Plano de Bacia, sobre o enquadramento e seu prazo, foram oficializadas pelas resoluções 50/2008 e 53/2009 do CRH, votadas em 11/11/2008 e 20/04/2009 (RIBEIRO; LAIGNEAU, 2010).

3.1.7 Município de Feliz

Os imigrantes alemães chegaram ao Rio Grande do Sul a partir de 1824, sendo que, nos primeiros cinquenta anos de imigração ingressaram no Estado entre 20 a 28 mil alemães.

A história do município de Feliz começou em 1846, com a chegada dos imigrantes alemães à região, trazendo consigo seus costumes e sua cultura. A partir desta data, o diretor da colônia de São Leopoldo pediu que as terras entre o arroio Forromeco e o Rio Caí, que pertenciam ao governo Imperial, fossem medidas e distribuídas aos colonos. A maioria destes imigrantes vinha diretamente da Alemanha, principalmente da região do Reno (ASSMANN, 2002).

Em 06 de maio de 1875, a localidade é elevada a distrito, com a denominação de Santa Catarina da Feliz, pela lei provincial nº 953, e ato municipal nº 1, de 12 de agosto de 1892, subordinando-o ao município de São Sebastião do Caí. Em 17 de fevereiro de 1959, através da Lei Estadual nº 3.726/1959, foi decretada a emancipação política do município, que passou a chamar-se Feliz.

3.1.7.1 Situação e localização

O município de Feliz está situado no Vale do Caí (figura 18), no limiar da serra gaúcha, na zona fisiográfica do estado, chamada Encosta Inferior do Nordeste, e pertence à Microrregião Colonial da Encosta da Serra Geral. As coordenadas geográficas de sua sede são: Latitude: 29°27'03.29"S e Longitude: 51°18'25.38"W. Feliz possui ligações com as rodovias estaduais RS 122 e RS 240, e com a rodovia federal BR 116 (FELIZ, 2010).

Os limites geográficos do município de Feliz são: ao norte, as cidades de Alto Feliz, Nova Petrópolis e Vale Real; ao sul, as cidades de São José do Hortêncio e São Sebastião do Caí; a oeste, a cidade de Bom Princípio; a leste, Linha Nova (FELIZ, 2010).

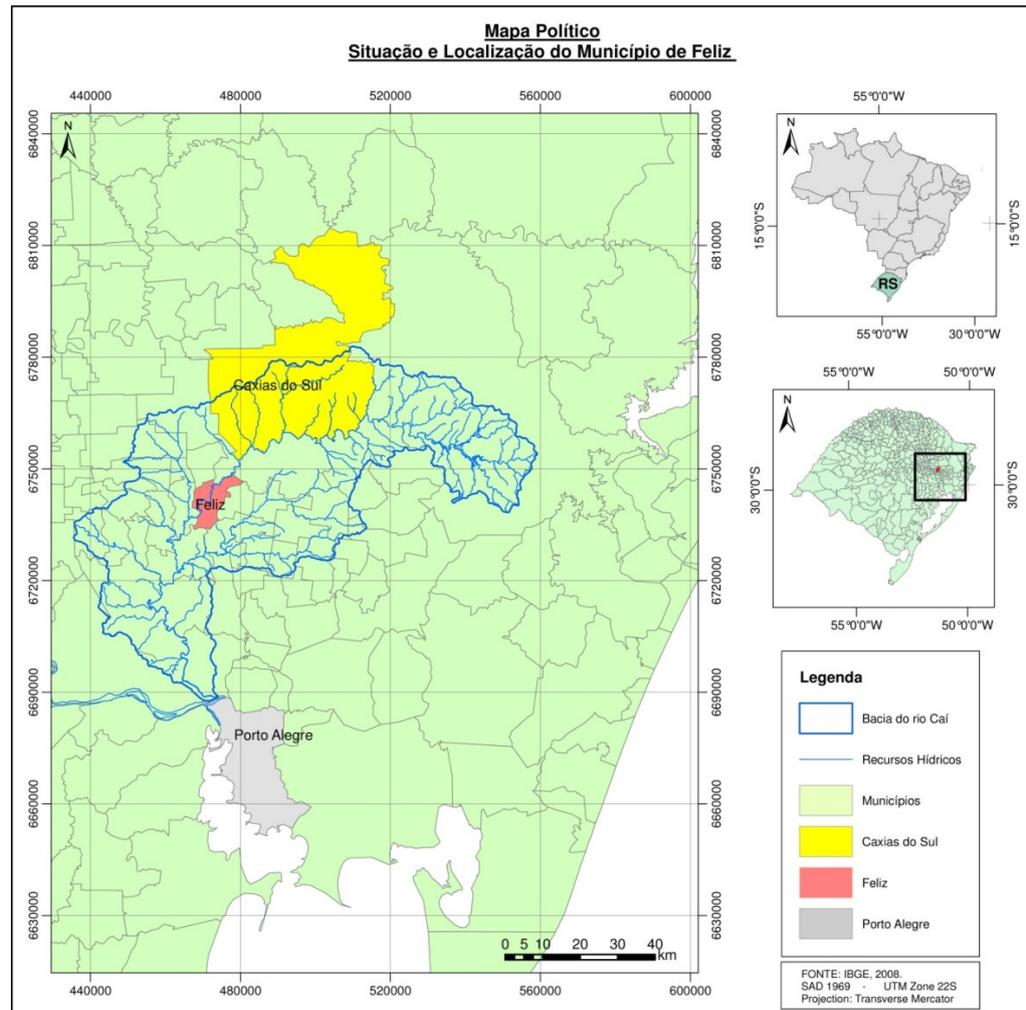


Figura 18: Mapa Político da Situação e Localização do Município de Feliz-RS (Fonte: Adaptado de IBGE, 2008)

3.1.7.2 População

De acordo com o Censo Demográfico de 2010, o município possui uma população 12.359 habitantes (IBGE, 2011). No município residem 6161 homens e 6198 mulheres, sendo que 76,18% da população vive na zona urbana, enquanto que 23,81% reside na zona rural (IBGE, 2011). No ano de 1998, o município figurou como o primeiro colocado no ranking dos municípios brasileiros com maior índice de desenvolvimento humano (IDH), de acordo com o relatório divulgado pela Organização das Nações Unidas (ONU), apesar dos baixos índices de tratamento de esgotos sanitários (SOUZA, 2009).

Conforme o Censo Demográfico (IBGE, 2011), 25% dos moradores do município tem menos de 20 anos de idade; outros 32,5% têm entre 20 a 39 anos de idade; 28,5% têm entre 40 e 59 anos de idade e 14% possui idade superior a 60 anos. De acordo com o IBGE (2002), mais da

metade da população, 53% dos residentes, tem de 4 a 7 anos de estudo; 19% têm de 8 a 10 anos de estudo e 13% têm entre 11 e 14 anos de estudo. O Censo de 2010 classificou o município de Feliz como o município mais alfabetizado do Brasil (FELIZ, 2011c).

Atualmente, 70% da população do município é descendente de alemães, enquanto 15% é descendente de italianos e 15% dos habitantes descende de outras etnias (FELIZ, 2010).

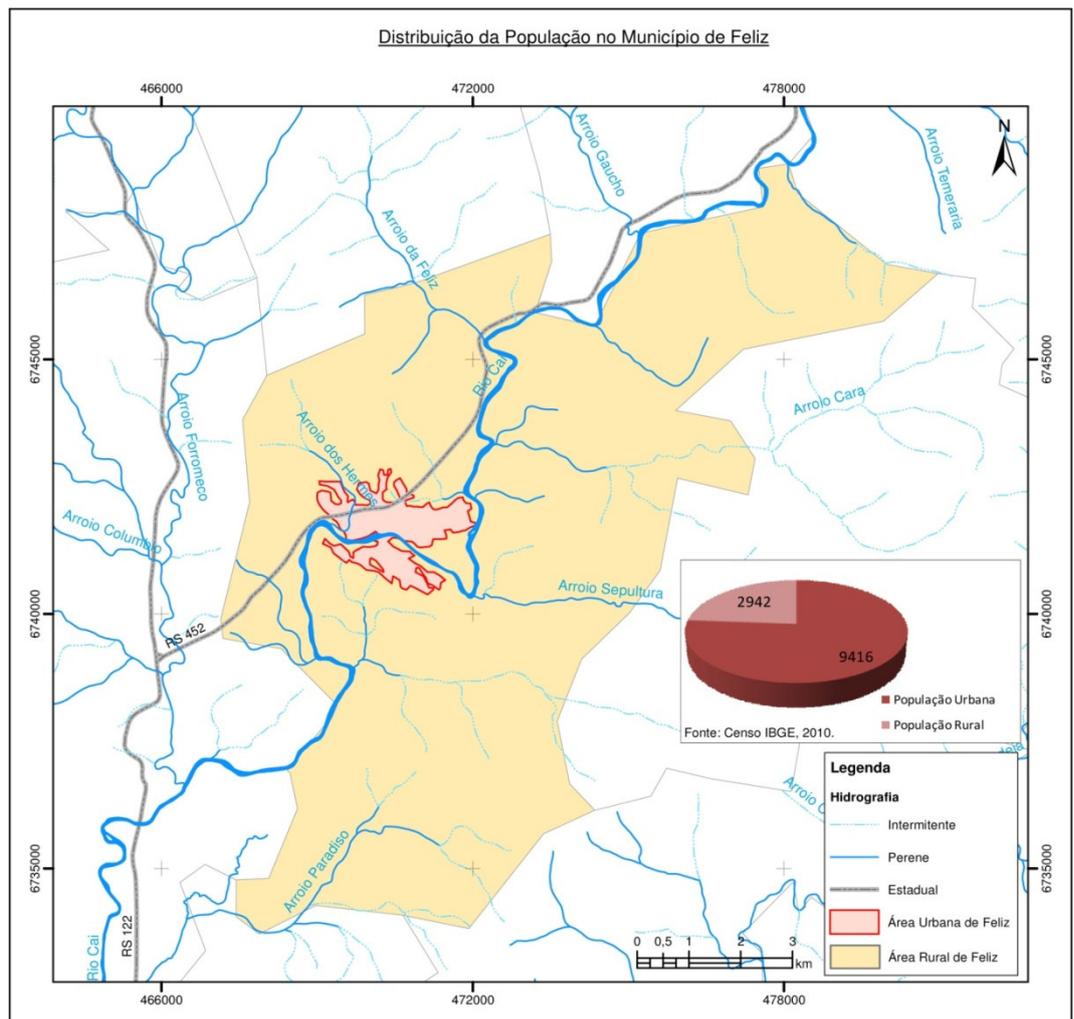


Figura 19: Mapa da Distribuição da população no Município de Feliz

3.1.7.3 Área urbana e rural

A área do município de Feliz é de 96,23 km² ou 9.623 hectares, representando 0,0358% do Estado, 0,0171% da Região e 0,0011% de todo o território brasileiro (FELIZ, 2010).

A sede do município situa-se, quase em sua totalidade, à margem direita do rio Caí e é cortada pela RS 452 (figura 19). A área urbana representa 20,4% da área do município, totalizando 18,89 km² (FELIZ, 2007) e é formada por sete bairros: Centro, Bela Vista, Bom Fim, Matiel, Morro das Batatas, Vale do Hermes e Vila Rica e conta com doze localidades: Arroio Feliz, Bananal, Canto do Rio, Coqueiral, Escadinhas, Linha Temerária, Picão, Nova Caxias, Picada Cará, Roncador, São Roque e Vale do Lobo.

3.1.7.4 Aspectos econômicos

O município tem destaque no setor industrial (90 indústrias), o qual representa 37,49% da atividade econômica, industrial do setor metal-mecânico, calçadista, cerâmico e moveleiro. As atividades do setor primário, com destaque ao cultivo de hortigranjeiros, juntamente com a avicultura e a suinocultura, representam 26,15% da economia municipal, sendo que a maioria das propriedades é de agricultura familiar. As frutas de maior destaque são o morango e a amora-preta, tendo importância a produção de figos e de goiabas. Feliz se declara o maior produtor de morango do Estado, sendo que esta fruta deu destaque nacional ao município. O setor de comércio é bem diversificado, possuindo 254 estabelecimentos, o que representa 20,52% das atividades econômicas, e o setor de serviços complementa a economia local com 15,84% das atividades (FELIZ, 2010).

3.1.7.5 Recursos hídricos no município

O município de Feliz é banhado pelo rio Caí, situado na Bacia Hidrográfica do rio Caí, correspondente à Região Hidrográfica do Guaíba, G 030, subdivisão hidrográfica do Sistema Estadual de Recursos Hídricos. A área de drenagem da bacia é de 4.945,70 km² (figura 20).

Do ponto de vista hidrológico, a bacia do Rio Caí caracteriza-se por apresentar um curso de água principal (Rio Caí), dividido em alto, médio e baixo Caí, e alguns afluentes de maior porte, do trecho alto, para o trecho baixo: Arroio Piaí, Arroio Forromeco, Arroio Cadeia e Arroio Maratá.

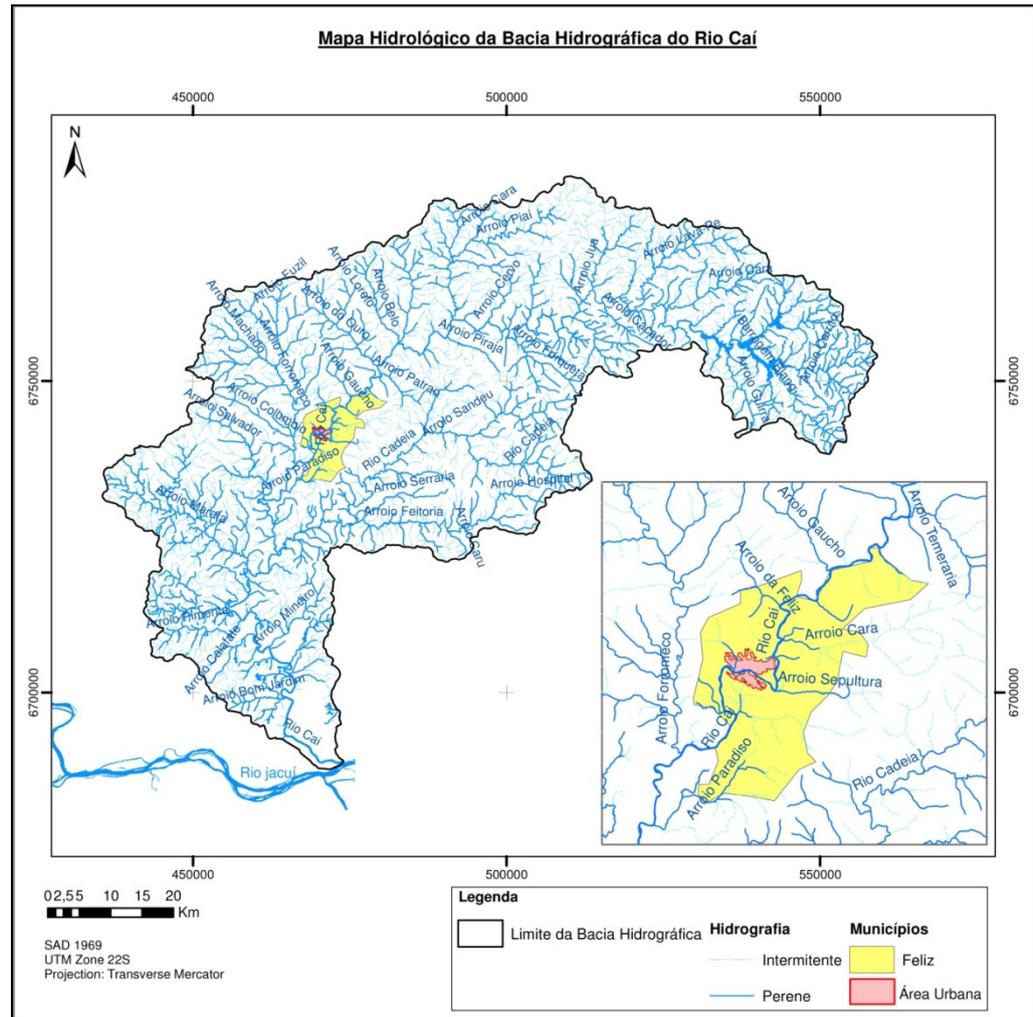


Figura 20: Mapa Hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Caí

O município está situado junto ao trecho principal do rio Caí, no segmento denominado Médio Caí-Trecho Alto, que tem uma área de drenagem de 25.805,11 ha.

O sistema hidrográfico do município é composto pelo rio Caí, que corta a cidade de Feliz no sentido nordeste - sudoeste (figura 21), e seus afluentes: Arroio Cará, Arroio Escadinhas, Arroio da Feliz, Arroio dos Hermes, Arroio das Lajes, Arroio Mata, Arroio Paradiso, Arroio Sepultura, Arroio Temerária e Arroio Três Mares.

recicláveis, totalizando 2.342 toneladas de resíduos sólidos (FELIZ, 2011a). A composição dos resíduos sólidos gerados no município é de 59%, de origem orgânica (restos de alimentos, podas de árvores e outros), e os 41% restantes são recicláveis (papel, papelão, plástico, metal) (FELIZ, 2007a). A segregação dos resíduos, pelos moradores, entre orgânico e reciclável, é realizada desde 2002 (SOUZA, 2009). O recolhimento dos resíduos orgânicos, na zona urbana, é realizado por empresa terceirizada, enquanto que, na área rural do município, não há coleta dos resíduos sólidos orgânicos gerados. A frequência da coleta domiciliar é de três vezes por semana e a sua destinação final é o Aterro Sanitário da Central de Resíduos de Recreio, localizado na cidade de Minas do Leão, distante 160 km do município de Feliz. A empresa percorre, em média, 126 km por dia, para coletar os resíduos dentro do município, e uma distância média de 286 km, até a sua disposição final (FELIZ, 2007a).

Os resíduos recicláveis são coletados duas vezes por semana, na zona urbana, e uma vez por semana, na zona rural, e seu destino é uma unidade de triagem localizada na cidade de Tupandi/RS, distante 17 km de Feliz.

Drenagem urbana

A maioria dos municípios da bacia hidrográfica do Caí apresenta cobertura de rede de drenagem pluvial superior a 50% da área urbana e poucos municípios dispõem de cadastro das referidas redes. Não há informações, nem dados disponíveis, sobre as condições de operação e manutenção desses sistemas de drenagem urbana nos municípios. O município de Feliz não difere dos demais, não tendo, portanto, disponibilidade dos dados referentes à drenagem urbana. As informações obtidas na Prefeitura são de que, em toda à área central, onde há pavimentação, existe uma rede de drenagem superficial, que também é utilizada como rede coletora mista, pois escoam os esgotos sanitários (figura 23), devido à inexistência de rede coletora do tipo separador absoluto. Realizou-se o levantamento dos principais pontos de lançamento de drenagem superficial, que são destacados na figura 22.

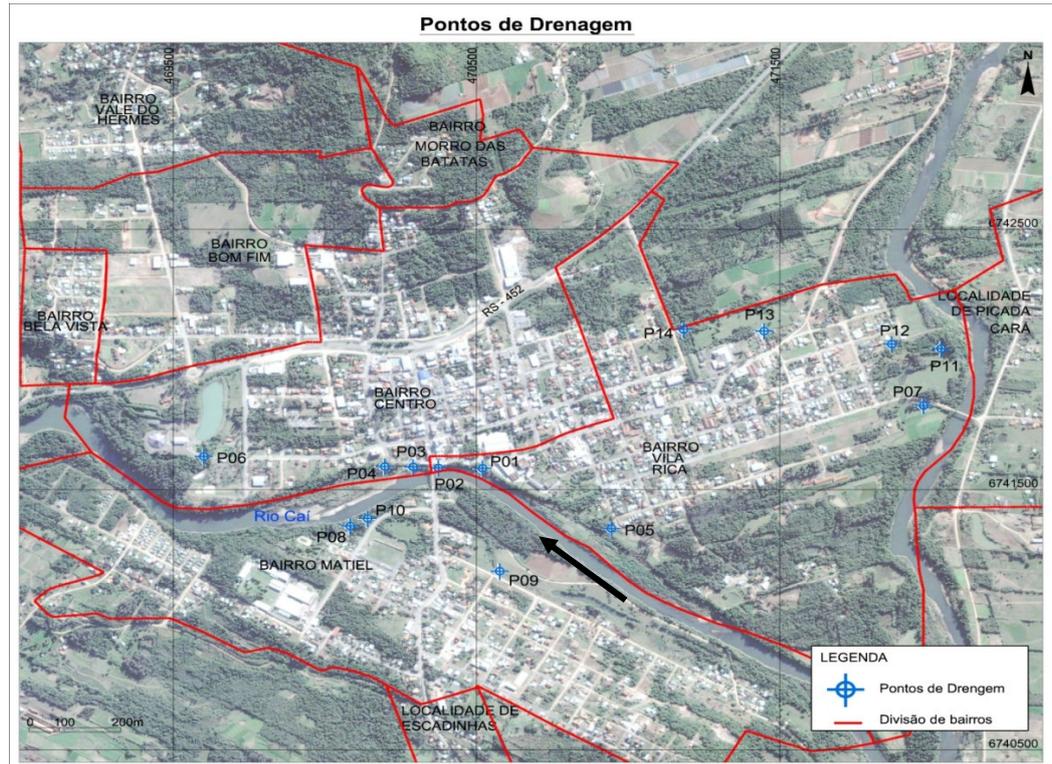


Figura 22: Principais pontos de lançamento de drenagem superficial



Figura 23: Lançamento da rede de drenagem superficial mista.

Abastecimento de água

O abastecimento de água no município de Feliz é realizado pela Companhia Riograndense de Saneamento (Corsan), na zona urbana (figura 25), através de Contrato de Serviço para Abastecimento de Água na área urbana do município, assinado em 21 de junho de 1974, com validade de 20 anos, prorrogado pelo mesmo período. Na zona rural, o abastecimento é realizado pela Prefeitura Municipal. O abastecimento público atinge 98% da população, os demais 2% possuem poços próprios (SOUZA 2009).

A Corsan abastece 3.179 economias, através das 2.539 ligações, na área urbana do município, com água proveniente de 10 poços artesianos, localizados em diversos pontos da região urbana (CORSAN, 2011). Os poços recebem tratamento preventivo, especialmente para a desinfecção, através da adição de produtos químicos (hipoclorito de sódio). Os produtos utilizados para o tratamento da água são o hipoclorito de sódio, para prevenção de doenças, como cólera, febre tifóide, diarreia e outras doenças de veiculação hídrica e o fluorsilicato de sódio (flúor), para prevenção da cárie. O tratamento de água de todos os poços é acompanhado duas vezes por dia, mediante a coleta e análise das amostras. Semanalmente, são realizadas coletas nas pontas de rede e enviadas para análises físico-químicas e bacteriológicas, na Estação de Tratamento de água de São Sebastião do Caí. Semestralmente, é coletada a água de cada poço e enviada para análise no Laboratório Central de Porto Alegre, a fim de garantir os padrões de qualidade da água para o consumo humano, Portaria 518/2004, do Ministério da Saúde, conforme os padrões da Organização Mundial da Saúde (OMS).

O sistema de abastecimento de água da Corsan (figura 25), na cidade de Feliz, resultou em uma produção mensal média de 39.457 m³ de água, no período de junho de 2010 a abril de 2011, sendo que o volume médio utilizado, mensalmente, nas 2.464 ligações ativas, abastecidas pela Companhia, é de 30.771 m³. A capacidade de reservação na área urbana é de 405 m³, através de seus 08 reservatórios. Na área de estudo, o abastecimento realizado através dos setores R1 e R2 (poços 01, 02, 03, 04, 07, 09 e 10) atende o Centro, a Vila Rica e o bairro Matiel. O Loteamento Colina é abastecido pelo setor R6, poço 09, enquanto que a localidade de Escadinhas é abastecida pelo setor R5, poço 05. Os bairros Vale Hermes e Bela Vista são abastecidos pelo setor R4, poço 12 (figura 24). O Morro das Batatas (Picão) e Arroio Feliz são abastecidos, respectivamente, pelos setores R3, poços 01, 02, 03, 04, 07, 09 e 10 e o setor R7, pelo poço 06.

Os bairros Centro e Vila Rica possuem 1.076 ligações e 1562 economias; Matiel, 730 ligações e 786 economias; Vale do Hermes, 164 ligações e 200 economias; Bela Vista, 123 ligações e 142 economias; Bom Fim, 130 ligações e economias; Escadinhas, 148 ligações e 170 economias e Arroio Feliz, 168 ligações e 189 economias, totalizando as 2.539 ligações e 3.179 economias, identificadas em abril de 2011 (CORSAN, 2011).

A Prefeitura Municipal de Feliz realiza o abastecimento de água na zona rural, para cerca de 3000 pessoas, com água proveniente de 10 poços artesianos, localizados na área rural, sendo que 04 não recebem nenhum tipo de tratamento. O tratamento nas águas de abastecimento, pelas quais a Prefeitura é responsável, é realizado por empresa contratada e consiste da aplicação de sal de ácido dicloroisocianúrico de sódio na água (SOUZA, 2009).

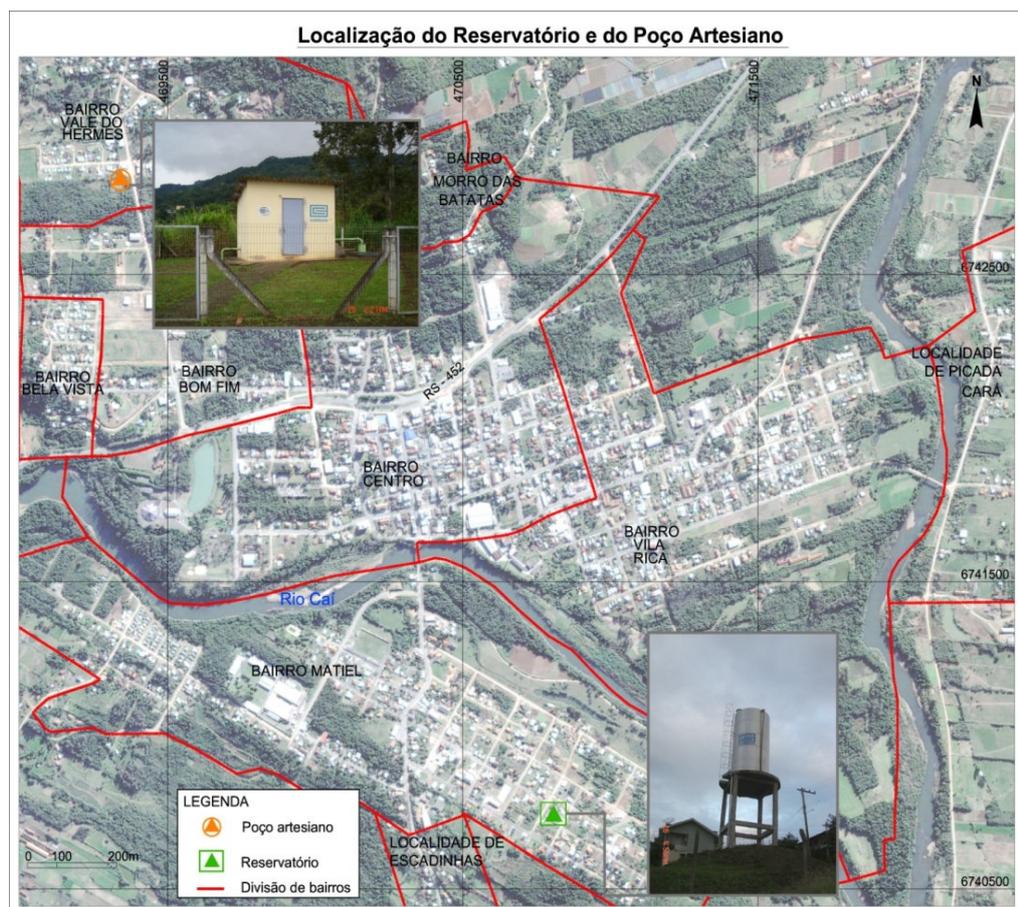


Figura 24: Localização do poço artesiano nº 12 do setor de abastecimento R4 e do reservatório elevado, do setor de abastecimento R6, com volume de 50 m³.

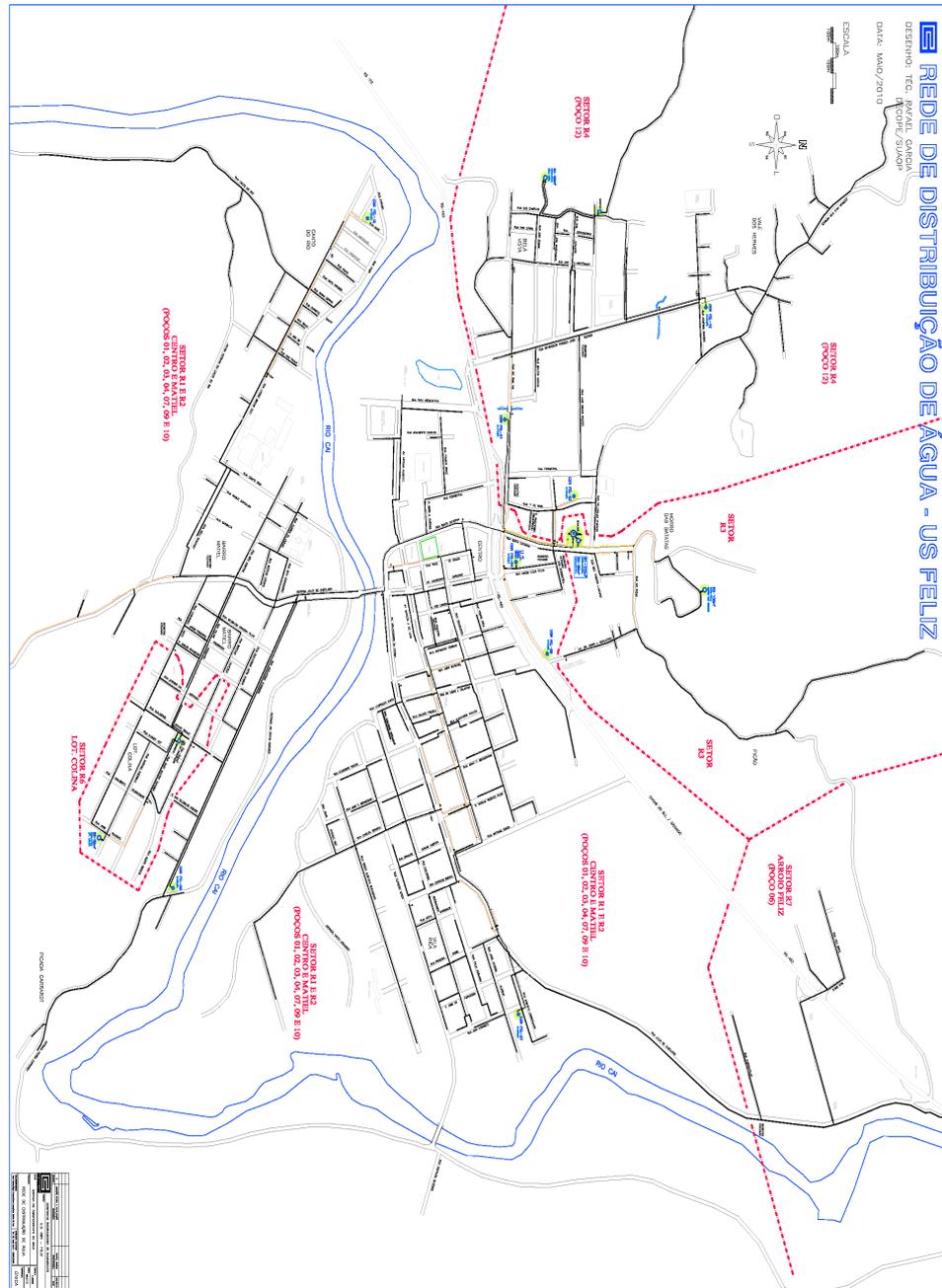


Figura 25: Sistema de abastecimento de água da área urbana de Feliz (Fonte: Corsan)

Esgotamento sanitário

A aprovação dos projetos de edificações no município de Feliz, no Setor de Engenharia, tem exigência legal (Lei 618/87). Os projetos hidro-sanitários deverão conter projeto de fossa e sumidouro, para descarte no solo ou fossa e filtro anaeróbio, antes da descarga em cursos de água.

De acordo com os dados de Feliz (2007b), cerca de 5,0% dos domicílios do município possui rede geral de esgotos sanitário ou pluvial, 44% possuem fossa séptica, 48% são supridos por Paulo Robison da Silva Samuel. Porto Alegre: PPGE/UFGRS, 2011.

fossas rudimentares e 3% das residências deságuam seus efluentes diretamente em arroios, córregos, rio e/ou outro escoadouro.

Conforme Souza (2009), há um tratamento local de fossa e sumidouro em cada lote. Nos casos em que é observada a não absorção da água residual pelo solo, a Prefeitura solicita ao proprietário a inclusão de um filtro anaeróbio, de modo que o efluente seja direcionado à rede de drenagem pluvial do município e, após, ao rio Caí ou a um de seus afluentes. O município não tem cadastro da quantidade de residências que utilizam tratamento de esgotos sanitários pelo sistema de fossa e sumidouro e/ou fossa filtro.

“[...] mas há uma estimativa de que cerca de 70% do tratamento do esgoto se dê por fossa e sumidouro, e nos demais 30% haja a inclusão do filtro anaeróbio e a utilização da rede de esgoto pluvial” (SOUZA, 2009, p. 132).

No capítulo 4, este tema será examinado minuciosamente, visto que é um dos objetivos desta pesquisa.

3.2 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Segundo Yin (2005), os experimentos, levantamentos, pesquisas históricas, análise de informações e estudo de caso são estratégias de pesquisa. O que diferencia as estratégias de pesquisas é: o tipo de questão de pesquisa; o controle que o pesquisador tem sobre os eventos comportamentais efetivos e o foco em fenômenos históricos, em oposição a fenômenos contemporâneos.

Segundo Rasanen e Mantyla (2001), a pesquisa construtiva ou *constructive research* é um modo de pensar alternativas futuras para uma determinada comunidade. Para os autores, esta estratégia faz com que o pesquisador faça as seguintes perguntas: Como isto poderia ser? Como isto deve ser? Como isto poderia ser colocado em prática? O desafio é desenvolver alternativas para a situação atual, descobrir quais são as alternativas possíveis e desejáveis para efetivar a sua realização. A pesquisa construtiva visa atingir uma transição ou uma transformação sobre as práticas existentes.

Considerando que a proposta desta pesquisa é a proposição de alternativas sustentáveis de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, para municípios de pequeno porte, atendendo as legislações vigentes, a estratégia de pesquisa utilizada para este trabalho, será a pesquisa construtiva. Apesar de ser uma estratégia recente e ainda pouco utilizada, define-se na

proposta a transformação de uma situação atual real, para uma situação de melhoria futura, através de um instrumento prático aplicável.

3.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O processo de desenvolvimento para a realização da pesquisa foi dividido em três etapas: (1) delimitação da área de estudo e coleta de dados secundários, (2) coleta e análise de dados primários, (3) propostas das alternativas sustentáveis de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, para municípios de pequeno porte e apresentação dos resultados. As etapas estão esquematizadas na figura 26.

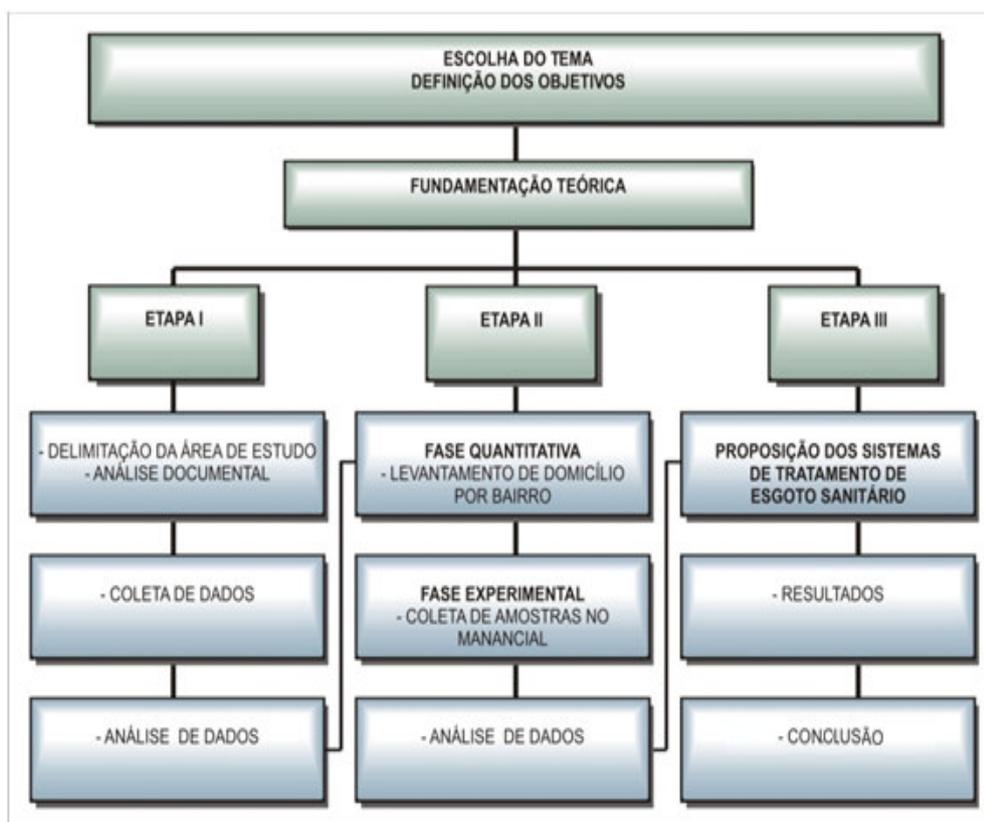


Figura 26: Delineamento da pesquisa

3.3.1 Etapa 1- Delimitação da área de estudo e coleta de dados secundários

Esta etapa consistiu de duas fases. Na primeira fase, realizaram-se visitas ao município, com a finalidade de conhecer e delimitar a área de estudo. Concomitantemente ao reconhecimento da área a ser estudada, realizou-se contatos com representantes da Emater, Secretarias Municipais de Obras, Saúde e Departamento de Meio Ambiente, CORSAN-US-FELIZ, SEMA-DRH, autoridades municipais e ambientalistas com conhecimento dos principais mananciais hídricos da região.

Baseando-se em mapas, consultados no Departamento de Engenharia da Secretária de Obras do Município de Feliz, imagens do Google Earth, de 14 de julho de 2008, e informações de técnicos dos órgãos citados anteriormente, delimitou-se a área a ser estudada.

Com a delimitação da área de estudo, partiu-se para a pesquisa exploratória, através de uma ampla análise documental. Nesta fase, levantaram-se os dados sobre a legislação municipal, o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Feliz, a existência de projetos e cadastros de redes de esgotos pluviais e sanitários, o destino do lançamento dos esgotos sanitários da área de estudo, assim como a localização das estações de tratamento de esgotos (ETEs). A análise documental estendeu-se para a Secretaria Municipal de Saúde, através do Sistema de Informação de Atenção Básica, SIAB, onde se levantou o destino dos esgotos sanitários. Na Corsan, Companhia de Saneamento que atua no município e na SEMA/DRH também se realizou análises documentais, com vistas a conhecer, respectivamente, o sistema de tratamento e abastecimento de água, e seus principais componentes, poços e reservatórios, e as políticas de planejamento urbano destes órgãos estaduais, para com o Município.

O levantamento dos dados teve a finalidade de compreender o contexto municipal: identificar onde existe esgotamento sanitário, qual é o destino deste esgotamento, quais são os tipos de tratamento de esgotos sanitários existente na região urbana central do município de Feliz e como a população da bacia hidrográfica do rio Caí enquadrado este rio.

3.3.2 Etapa 2 – Coleta de dados primários

A segunda etapa desta pesquisa foi realizada em duas fases, caracterizadas por uma fase quantitativa e uma fase experimental, através da coleta de amostras de água do rio Caí.

A primeira fase, desta etapa, caracterizou-se por um levantamento, com a finalidade de quantificar as residências existentes, por bairro, na zona urbana do município de Feliz. A pesquisa do número de residências foi através da sobreposição dos mapas, fornecidos pelo Departamento de Engenharia da Secretaria de Obras do Município, que definem, através do Plano Diretor, a área urbana do município de Feliz e pela imagem do Google Earth, de 14 de Julho de 2008. A confecção dos mapas referentes à divisão de bairros da área urbana, para a quantificação do número de residências, embasou-se no Plano Diretor do Município e nas imagens QuickBird, do Google-Pró (2008). A confecção dos mapas e o georeferenciamento foram realizados segundo as coordenadas South American 1969 (SAD 69), UTM – Zona 22, no Software ArcGIS 9.2, que mostrou todos os bairros da área urbana central, com seus arruamentos e residências.

Com a defasagem das imagens do Google Earth, de 2008 para 2011, houve dificuldade de identificar as residências com mais de um pavimento e as novas habitações que surgiram neste período. O aquecimento da economia brasileira gerou o crescimento do setor imobiliário, com a conseqüente expansão da construção civil. Segundo o SINDUSCON/RS, em 2010, a economia brasileira cresceu 7,5%, e o PIB da indústria da construção foi de 11,6%¹³. Considerando estes fatores, partiu-se para a comparação com outras fontes de referência, tendo em vista corrigir eventuais distorções no número de casas. As correções destas discrepâncias foram realizadas pela contabilização das residências no município, bairro a bairro, uma a uma. Este levantamento baseou-se no mapa de quadras da zona urbana (figura 27), fornecido pelo Departamento de Engenharia da Prefeitura. Com um automóvel, um GPS, marca Garmin, modelo GPSmap 76S, um mapa de quadras do município, na escala 1:1000, percorreu-se todas as quadras e ruas da cidade de Feliz, contabilizando as residências térreas e os prédios com mais de um pavimento dos bairros e localidades da área urbana do município. O levantamento dos dados referentes ao número habitantes, por bairro, é de suma importância, visto que embasará a definição das alternativas sustentáveis de tratamento de esgotos domésticos descentralizados.

¹³ Jornal Correio do Povo de 23 de junho de 2011, p 10.

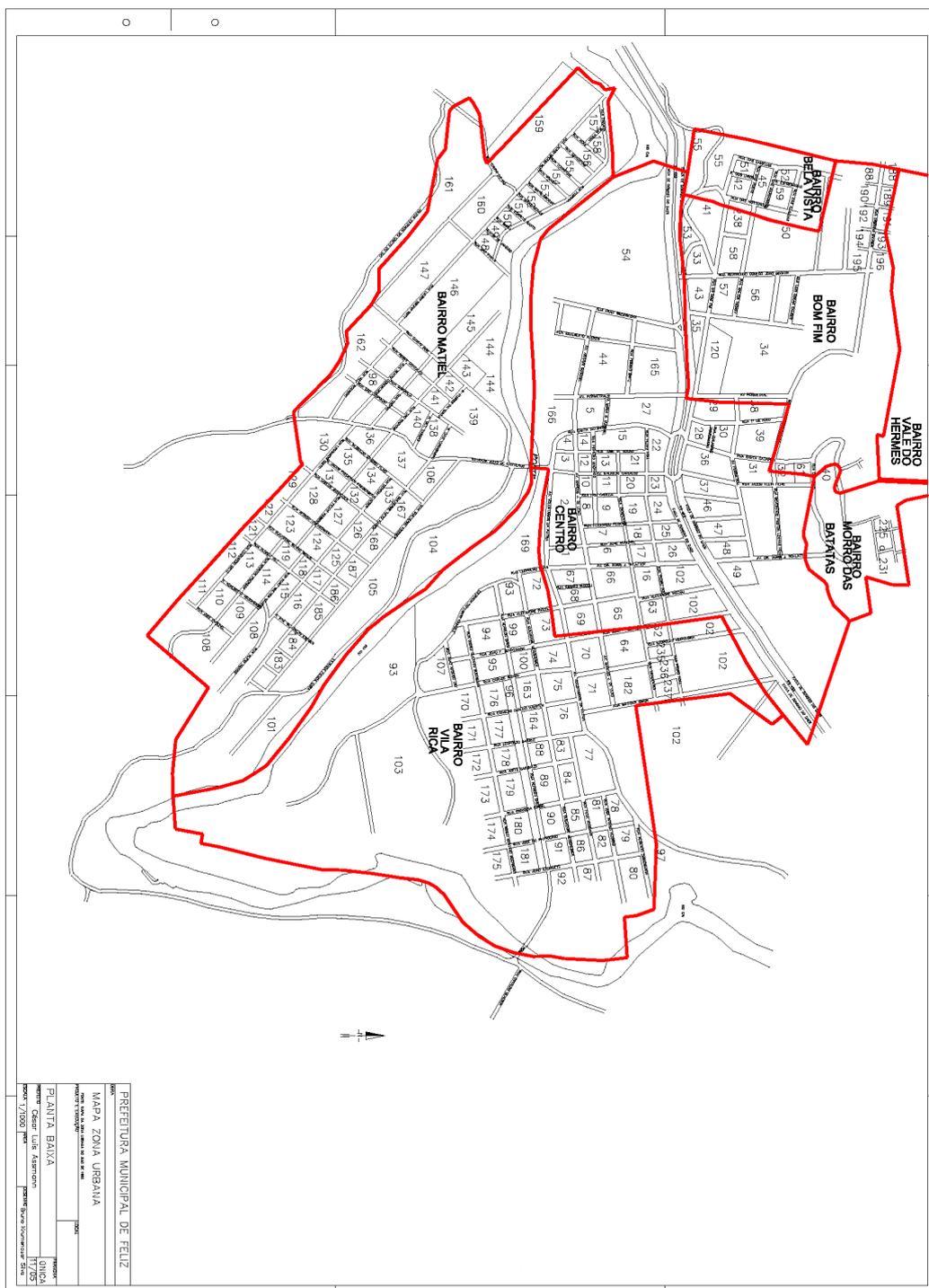


Figura 27: Mapa da Zona Urbana do Município de Feliz (Fonte: Prefeitura Municipal de Feliz)

A segunda fase desta etapa caracterizou-se por uma fase experimental, através da coleta de amostras de água no principal manancial hídrico do município, o rio Caí. As amostras de água

são de fundamental importância para se conhecer os parâmetros analíticos da qualidade do corpo hídrico e verificar quais são os impactos dos esgotos urbanos neste manancial.

Para que não haja deficiência de dados em estudos realizados em uma bacia hidrográfica, é necessário o estudo criterioso de alguns fatores importantes para o planejamento de uma rede de monitoramento, que pretende avaliar a qualidade de suas águas. Os fatores indicados são: a localização dos pontos de amostragem, que deve considerar os objetivos do projeto, as vias de acesso, proximidade do laboratório e potencial de crescimento urbano e rural. A frequência da amostragem, que deve ser definida de acordo com os objetivos e a viabilidade do projeto. Os parâmetros a serem amostrados, que devem ser ajustados com as necessidades da pesquisa, custo das análises, respeitando as normas técnico-analíticas e os padrões definidos pelo órgão de controle ambiental (MEZOMO, 2010).

As coletas das amostras de água foram realizadas em três pontos (figura 28). Para a definição dos pontos de coleta, foram consideradas a existência do impacto do meio urbano no manancial e as condições de acessibilidade ao local. O primeiro ponto localiza-se a montante da área urbana, a jusante da divisa dos municípios de Vale Real e Feliz. O segundo ponto, na área urbana de maior concentração populacional, a jusante da ponte que divide o centro urbano e um dos bairros da cidade. Já, o terceiro ponto, a jusante da área central do município, na divisa entre os municípios de Feliz e Bom Princípio. Todos os pontos foram georeferenciados com GPS.

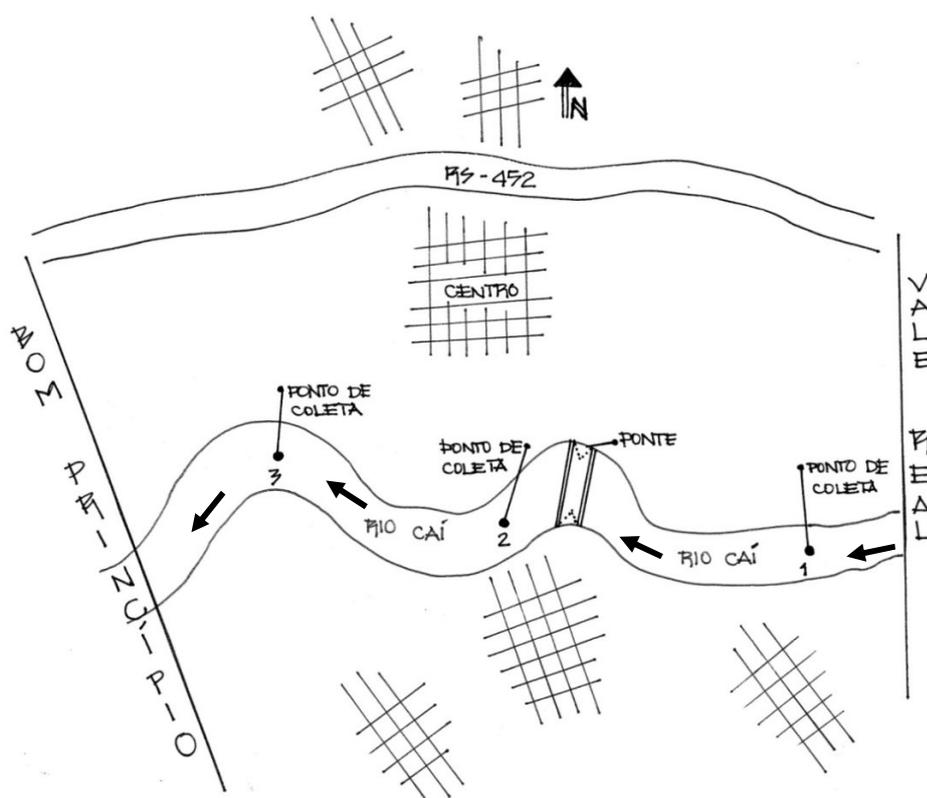


Figura 28: Croqui do Município de FELIZ-RS, localizando os pontos onde foram coletadas as amostras de água analisadas em laboratório

Definidos os pontos amostrais no rio Caí, o número de campanhas, e os períodos em que as coletas foram realizadas, partiu-se para a execução do trabalho de campo, visto que, após a realização de cada campanha, as amostras foram encaminhadas ao laboratório para análise.

Foram realizadas 04 coletas de água, no período de dezembro de 2010 a fevereiro de 2011, iniciando no dia 06 de dezembro a primeira campanha. As demais campanhas realizaram-se a cada 28 dias, portanto, nos dias 03 e 31 de janeiro e 28 de fevereiro de 2011. Todas as campanhas foram realizadas no mesmo dia da semana, segunda-feira, e sempre próximo dos horários da primeira coleta.

Todos os pontos de coleta foram localizados no meio da calha do rio. As coletas foram realizadas com o auxílio de barco de pequeno porte, a remo, sendo que, em cada ponto de coleta, foram registradas as coordenadas, através de GPS, a temperatura da água, o pH, o OD (figura 29) e a profundidade, pois a coleta, em cada ponto realizou-se em três profundidades diferentes. A primeira amostra é coletada a 50 cm de superfície; a segunda amostra, a 50 cm do fundo do rio e a terceira amostra, na metade da profundidade total do rio, no ponto

coletado. As amostras de água foram coletadas com garrafas Van Dorn, e misturadas em um recipiente de polietileno, de 20 litros, a fim de homogeneizar todo o material coletado. As misturas homogeneizadas foram acondicionadas em frascos previamente limpos e esterilizados e devidamente identificados com o número do ponto de coleta. A temperatura da água, o pH e o OD foram medidos a uma profundidade de 50 cm. O material coletado foi mantido sob refrigeração, a 4°C, em caixas de isopor, para o transporte, no mesmo dia, até o laboratório da empresa ECONSULTING Laboratório e Gestão Ambiental, cujo certificado de cadastro na FEPAM é o n° 21/2010-DL, onde foram realizadas as análises dos parâmetros, que determinaram a qualidade das águas do manancial.



Figura 29: Medição de parâmetros e preparação da amostra coletada

As coletas de amostras de água foram realizadas pelo pesquisador e pelo técnico do laboratório (figura 30), com equipamentos e material do laboratório da empresa Econsulting, de Porto Alegre. Os equipamentos utilizados foram: trena com peso, para medir a profundidade do rio; garrafa Van Dorn, para coleta de água; oxímetro Instrutherm MO-900, que mede o oxigênio dissolvido; potenciômetro PH METER, modelo PH 221, que mede o pH; termômetro, para medir a temperatura da água em °C; recipientes de vidro âmbar e frascos de polietileno, previamente limpos e esterilizados, para preparação das amostras e transporte ao laboratório, para as análises.



Figura 30: Coleta de amostra de água no ponto 1

Em laboratório, foram realizadas análises dos seguintes parâmetros: coliformes termotolerantes; demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅); demanda química de oxigênio (DQO); fósforo total; nitrogênio total Kjeldahl; nitrogênio amoniacal; nitrogênio orgânico; nitratos; sólidos totais e turbidez. Os ensaios para determinação dos parâmetros realizou-se conforme as metodologias descritas em APHA (2005) (figura 31).

Os parâmetros medidos em campo e os dados analisados em laboratório (figura 31) foram comparados com os padrões exigidos pela legislação, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, definido pelo Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí.

Parâmetro	Unidade de medida	Metodologia	Referência
Condutividade	µS/cm	Método 2510 - B	(APHA, 2005)
Colif Termotolerantes	NMP/100mL	Método 9223 - B	(APHA, 2005)
DBO5	mg DBO ₅ /L	Método 5210 - B	(APHA, 2005)
DQO	mg O ₂ /L	Método 5220 - B	(APHA, 2005)
Fósforo Total	mg P/L	Método 4500 P - D	(APHA, 2005)
Nitrogênio Total Kjeldhal	mg NH ₃ -N/L	Método 4500 NH ₃ -C	(APHA, 2005)
Nitrogênio Amoniacal	mg NH ₃ -N/L	Método 4500 NH ₃ -C	(APHA, 2005)
Nitrogênio Orgânico	mg NH ₃ -N/L	Método 4500 NOrg - B,C	(APHA, 2005)
Nitratos	mg NO ₃ /L	ABNT NBR 12620 - 1992	(ABNT, 1992)
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg OD/L	Método 4500 O - G	(APHA, 2005)
pH	-	Método 4500 H+ - B	(APHA, 2005)
Sólidos Totais	mg ST/L	Método 2540 - B	(APHA, 2005)
Turbidez	NTU	Método 2130 - B	(APHA, 2005)
Temperatura	°C	Método 2550- B	(APHA, 2005)

Figura 31: Metodologias utilizadas para análises das águas

Tabela 2: Limites estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA

Limites	Classe Especial*	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Coliformes fecais(NMP)		200	1000	máx. 2.500 MP/100mL (recreação); 1.000 NMP/100 mL (dessedentação) e 4.000 NMP/100mL (demais usos)	
Cromo total (mg/L)		0,05 mg/L Cr	0,05 mg/L Cr	0,05 mg/L Cr	
DBO 5 dias a 20 °C (mg/L)		até 3mg/L O ₂	até 5 mg/L O ₂	até 10mg/L O ₂	
Fósforo total (para ambiente lótico) (mg/L)		0,10 mg/L P	0,10 mg/L P	0,15 mg/L P	
Nitrogênio amoniacal total (mg/L)		3,7 mg/L N, para pH = 7,5 2,0 mg/L N, para pH 7,5 < 8,0 1,0 mg/L N, para pH = 8 < 8,5 0,5 mg/L N, para pH > 8,5	3,7 mg/L N, para pH = 7,5 2,0 mg/L N, para pH 7,5 < 8,0 1,0 mg/L N, para pH = 8 < 8,5 0,5 mg/L N, para pH > 8,5	13,3 mg/L N, para pH = 7,5 5,6 mg/L N, para pH 7,5 < 8,0 2,2 mg/L N, para pH = 8 < 8,5 1,0 mg/L N, para pH > 8,5	
pH		6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Turbidez (UNT)		até 40	até 100	até 100	
Oxigênio dissolvido (mg/L)		não inferior a 6	não inferior a 5	não inferior a 4	não inferior a 2
Nitrato (mg/L)		10	10	10	

*Nas águas de classe especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água¹⁴.

(Fonte: Adaptado de CONAMA 357/2005)

¹⁴ Art. 13 da resolução 357/2005 do CONAMA. Condições naturais dos corpos de água são águas sem influência antrópica.

3.3.3 Etapa 3 – Propostas das alternativas de tratamento de esgotos sanitários sustentáveis para municípios de pequeno porte.

A terceira etapa desta pesquisa caracterizou-se pela utilização dos resultados obtidos nas etapas anteriores do trabalho. Após as análises dos parâmetros pesquisados, estas subsidiaram as discussões sobre o impacto dos esgotos sanitários no rio Caí e embasaram a proposição de sistemas de tratamento de esgotos sanitários sustentáveis, que atendam os padrões de emissões de efluentes líquidos, permitidos pela legislação, em águas superficiais.

Com as análises dos parâmetros definidos, Coliformes Termotolerantes, DBO₅, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal, Nitratos, OD, foram realizadas as simulações da qualidade da água, em todo o trecho, definido entre os pontos de coleta 1 a 3. Para a simulação da qualidade da água entre os pontos 1 e 3, foi utilizado o modelo QUAL2K (CHAPRA, 2006).

O modelo QUAL2K é aplicado para verificar a qualidade das águas em rios e arroios sendo a continuação da série de modelos QUAL-I (1960), QUAL-II, QUAL2 e QUAL2E-UNCAS. Este modelo tem sido aplicado como ferramenta de suporte para a tomada de decisões no gerenciamento integrado dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, em âmbito mundial no decorrer dos anos. Pela credibilidade adquirida durante este período, o modelo vem sendo atualizado, considerando o avanço das técnicas computacionais, e também, para disponibilizar o estado da arte da teoria dos modelos de qualidade da água. O modelo QUAL2K é uma versão mais atualizada do modelo QUAL2E e foi desenvolvida por Chapra, na Universidade de Tufs, Estados Unidos, em 2006.

Este modelo QUAL2K é utilizado para simular o comportamento de diversos parâmetros de qualidade de água e possibilita simular entradas e retiradas de origem pontual e/ou difusa nos mananciais. Para a simulação dos parâmetros de qualidade da água, o modelo se baseia nas equações de transporte de quantidade de movimento ou fluxo de água e massa, para sistemas unidimensionais e de regime permanente.

Inicialmente o modelo foi calibrado/ajustado com os resultados das análises da água do rio Caí, com as vazões de entrada no ponto 1, com a extensão total entre o ponto 1 e 3, com as cargas pontuais, cujos pontos de lançamento são os pontos de drenagem superficial (figuras 22 e 45), e com a declividade do rio. Também foram utilizados, na calibração do modelo, as taxas de decaimento da DBO; de reaeração; de decaimento de fósforo; de hidrólise do nitro-

gênio orgânico; de sedimentação do nitrogênio orgânico; de nitrificação; de sedimentação de coliformes fecais e de decaimento de coliformes fecais (RIO GRANDE DO SUL, 2008a). A seguir, após os ajustes, o modelo foi simulado com os parâmetros citados acima e os resultados comparados com os parâmetros limites, definidos pelo enquadramento do Comitê rio Caí, como classe 2.

A vazão em um ponto entre dois postos fluviométricos é calculada pelo método proposto por Chaves *et al.* (2002), onde:

$$Qz = Az \left[\left(p_x \frac{Qx}{Ax} \right) + \left(p_y \frac{Qy}{Ay} \right) \right]$$

$$p_x = \left(\frac{dy}{dx + dy} \right)$$

$$p_y = \left(\frac{dx}{dx + dy} \right)$$

Onde:

Qz = vazão que passa no ponto de interesse (x), m³/s.

Qx = vazão no posto de montante, m³/s.

Qy = vazão no posto de jusante, m³/s.

Ax = área de drenagem do posto de montante, km².

Ay = área de drenagem do posto de jusante, km².

$P_{x,y}$ = peso relativo à estação de montante e jusante, respectivamente, adimensional;

dx = distância do posto fluviométrico de montante (x) ao ponto de interesse, km;

dy = distância do posto fluviométrico de jusante(y) ao ponto de interesse, km.

A vazão de entrada no modelo corresponde à vazão de entrada no ponto 1. Esta vazão foi obtida através do modelo de regionalização proposto por Chaves *et al.* (2002), onde são utilizadas as vazões que passam no posto fluviométrico de Nova Palmira, extraída do site da

Agência Nacional de Águas¹⁵, e a vazão proveniente da área de drenagem (figura 32), entre o posto fluviométrico e o ponto 1. A área de drenagem entre o posto fluviométrico de Nova Palmira e o ponto 1 foi calculada através do Software ArcGIS 9.2 (2008), próprio para o cálculo de áreas. Com a área de drenagem, a vazão total entre os dois pontos foi calculada pelo método proposto por Chaves *et.al.* (2002).

As variáveis: comprimento total do trecho, cotas e declividade foram obtidas, respectivamente, através de mapas georeferenciados, do mapa de curvas de nível do exército, escala 1:50.000, fornecido pela Prefeitura de Feliz e do Plano de Bacia do rio Caí (RIO GRANDE DO SUL, 2008a).

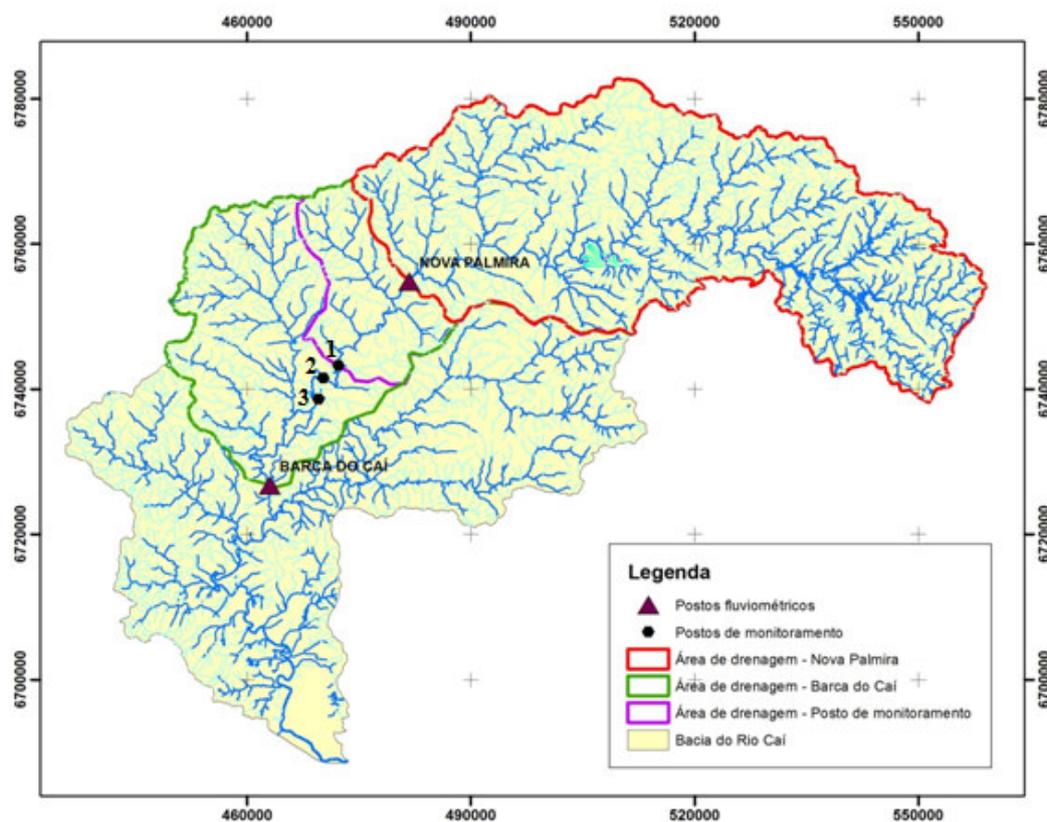


Figura 32: Localização dos pontos de monitoramento, postos fluviométricos e áreas de drenagem da área em estudo.

Em um segundo momento, concentrou-se as cargas pontuais em um ou mais bairros e simulou-se o tratamento dos esgotos sanitários em ETEs, mais sustentáveis. Posteriormente realizou-se a simulação da qualidade das águas, através do modelo QUAL2K. Para a seleção

¹⁵ Site: <http://www.ana.gov.br>, com acesso em 12 de maio de 2011.

de sistemas mais sustentáveis foram considerados os custos de implantação, baixos requisitos de área, baixo grau de mecanização, simplicidade operacional e de manutenção, e atendimento às legislações.

Os resultados pós-tratamento, simulados pelo modelo QUAL2K, foram comparados com os parâmetros limites, em águas superficiais, permitidos pela Legislação Federal, Estadual, Resolução nº 357/2005, do CONAMA (Tabela 2), a Resolução nº 128/2006, do CONSEMA e o enquadramento do rio, realizado pelo Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí, através da Resolução 50/2008, do CRH. A comparação tem por finalidade medir a eficácia dos sistemas de tratamento de esgotos domésticos urbanos, propostos ao município.

As propostas de sistemas de tratamento de esgotos sanitários devem ser elaboradas considerando o diagnóstico do sistema de esgotamento sanitário do município, a população atendida (BROSTEL; HARADA, 1997), as características dos sistemas propostos (LANZER; WOLF, 2005) e a otimização dos sistemas de esgoto descentralizado e reuso, através da topografia, geologia e clima (ZANG, 2006). Todos estes aspectos deverão estar de acordo com a Legislação Federal, Estadual e Municipal e com o enquadramento do rio Caí, definido pela população (RIO GRANDE DO SUL, 2008a).

4 RESULTADOS e DISCUSSÃO

Neste capítulo são descritos e analisados os resultados obtidos para o diagnóstico do sistema de esgotos sanitários urbanos do município de Feliz, o impacto gerado por estes esgotos no principal manancial hídrico do município e as propostas mais sustentáveis de sistemas de tratamento de esgotos que atendam a legislação.

4.1 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO DA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE FELIZ

Através de análise documental, verificou-se que no município de Feliz houveram várias tentativas de implantação de redes e sistemas de tratamentos de esgotos domésticos, nos últimos 11 anos.

Em outubro de 2000, o município elaborou o projeto de uma rede sanitária e de um sistema de tratamento de esgoto sanitário para atender 95 casas, posteriormente aumentado para 309 residências, prevendo o crescimento futuro da área a ser saneada, no Bairro Matiel. Nesta mesma data, em outro local, no mesmo bairro, também foram projetadas as redes de esgoto sanitário e um sistema de tratamento de esgoto sanitário para 103 residências, posteriormente ampliado para 417 residências.

Através de edital de nº 003/2001, de 19 de fevereiro, foi realizada a “Tomada de Preços para execução de Rede de Esgoto Sanitário, nos Bairros Bela Vista e Matiel”.

Em outubro de 2001, houve a elaboração de um projeto da rede de esgoto sanitário e sistema de tratamento coletivo dos esgotos domésticos para o loteamento Popular, no bairro Matiel, com o intuito de atender 67 casas, aumentado para 239, prevendo a urbanização futura da área.

Em maio de 2002, a FEPAM expediu ao município de Feliz as Licenças Prévias (LP), de números 385/2002-DL e 386/2002-DL, substituídas pelas LPs 343/2003-DL e 340/2003-DL em maio de 2003, para a atividade de implantação do Sistema de Esgoto Sanitário, constituído de rede coletora e de ETE, nos bairros Matiel e Bela Vista, respectivamente. As licenças foram expedidas para atender as populações de 1545 pessoas, no bairro Matiel, e de 2085 pessoas, no bairro Bela Vista.

Conforme a tabela 3, os bairros e localidades da zona urbana do município de Feliz são: Centro, Vila Rica, Bom Fim, Morro das Batatas/Picão, Vale do Hermes, Bela Vista, Matiel, Picada Cará, Escadinhas (Urbana), que possuem, respectivamente, 1014, 597, 169, 19, 83, 76, 622, 98, 62 residências por bairro, totalizando 2740 residências, sendo que o Centro possui 37% das residências levantadas. Para o levantamento do número de residências por bairros da área urbana do município foi desconsiderada a localidade de São Roque, localizada na figura 33, porque está afastada da área central urbana. A figura 33 delimita todos os bairros e localidades da zona urbana do município, cuja área, equivale a 20,4% da área total do município.

Tabela 3: Bairros e localidades da área urbana do município de Feliz e o número de residências, por bairro.

Bairros e Localidades	Número de Residências por bairro	% Resid. por bairro
Centro	1014	37,0
Vila Rica	597	21,8
Bom Fim	169	6,2
Morro das Batatas/Picão	19	0,7
Vale do Hermes	83	3,0
Bela Vista	76	2,8
Matiel	622	22,6
Picada Cará	98	3,6
Escadinhas (Urbana)	62	2,3
TOTAL	2740	100

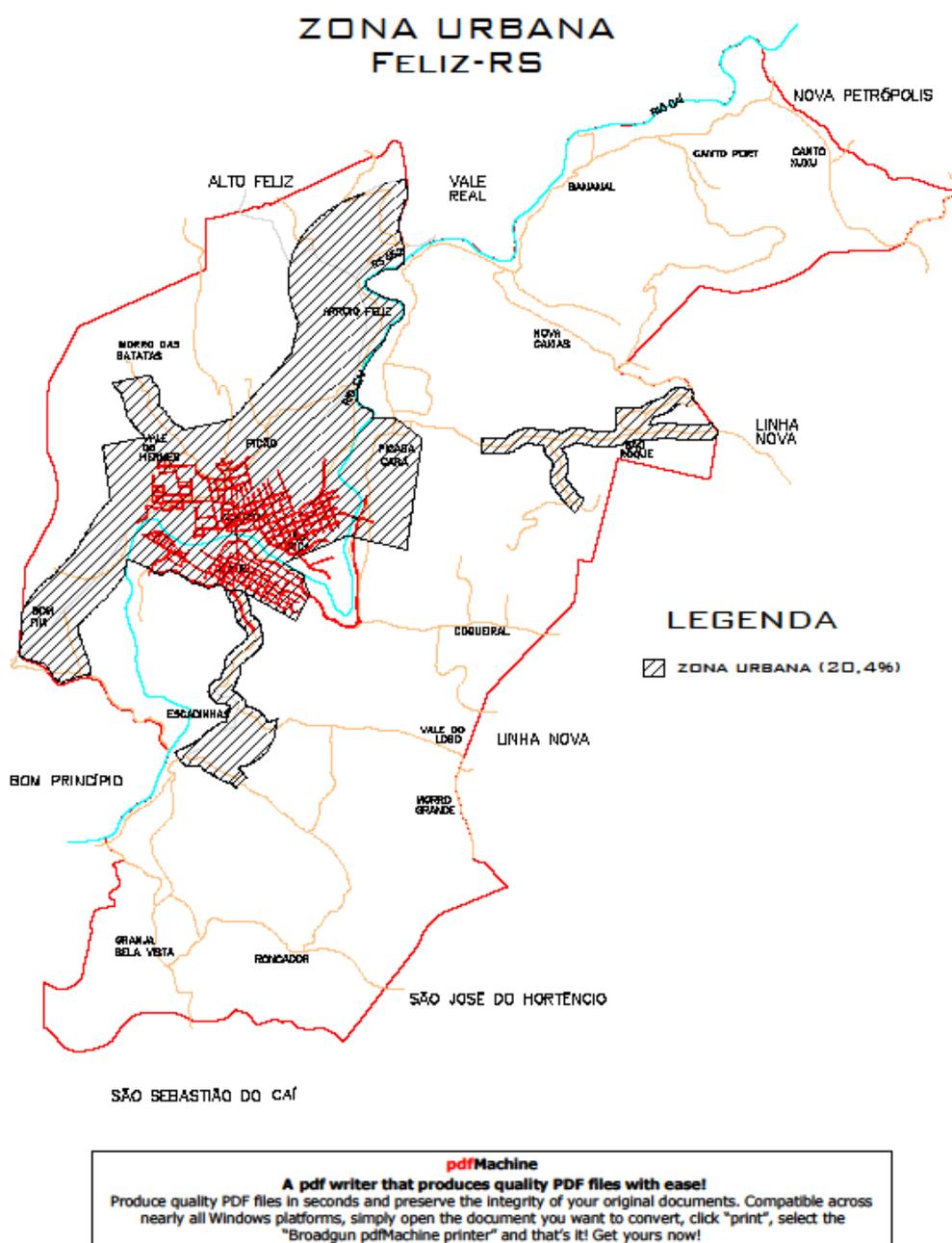


Figura 33: Mapa do município de Feliz com a delimitação da área urbana (Fonte: Prefeitura Municipal de Feliz)

A tabela 4 mostra os bairros e localidades do município de Feliz, o número de famílias, por bairro e localidade, e o destino dado aos esgotos sanitários. O município tem 19 bairros e localidades, totalizando 4051 famílias residentes, sendo que 63,2% destas famílias residem na zona urbana e 36,8% na área rural. Parte das famílias moradoras no município, 1063 famílias, destinam seus esgotos domésticos através da rede de drenagem das águas pluviais, 2945 destinam através do sistema de fossa individual e 43 famílias lançam seus efluentes a céu aberto.

Tabela 4: Bairros e localidades do município de Feliz, com o número de famílias por bairro e destino do esgoto sanitário no município.

Bairros e Localidades	Número de Famílias	% de Famílias por bairro	Rede Pluvial	Sistema de Fossa Individual	Céu aberto
Centro	478	11,8	388	90	0
Vila Rica	458	11,3	266	192	0
Bom Fim	183	4,5	28	155	0
Morro das Batatas/Picão	128	3,2	1	126	1
Vale do Hermes	233	5,8	4	228	1
Bela Vista	184	4,5	12	170	2
Matiel	210	5,2	65	145	0
Matiel (Colina)	261	6,4	11	246	4
Matiel (Canto do Rio)	235	5,8	18	216	1
Escadinhas (Urbana)	191	4,7	4	183	4
Escadinhas (Rural)	153	3,8	145	8	0
Vale do Lobo	135	3,3	106	23	6
Roncador	130	3,2	4	124	2
Arroio Feliz (Vila Britz)	85	2,1	0	85	0
Arroio Feliz	305	7,5	1	293	11
Picada Cará, Coqueiral	219	5,4	6	210	3
São Roque	271	6,7	1	267	3
Bananal	119	3,0	2	115	2
Nova Caxias	73	1,8	1	69	3
TOTAL	4051	100	1063	2945	43

A figura 34 apresenta o percentual do destino dos esgotos sanitários no município de Feliz, sendo que 73% dos esgotos são encaminhados para o sistema de fossa individual, 26% para as redes de drenagem das águas pluviais e 1% é lançado a céu aberto. Apesar de poucas residências lançarem os seus esgotos a céu aberto, este esgoto deve ser um motivo de preocupação, visto que, contribuí para a contaminação do solo e das águas, especialmente porque o município retira água subterrânea para o abastecimento da população.

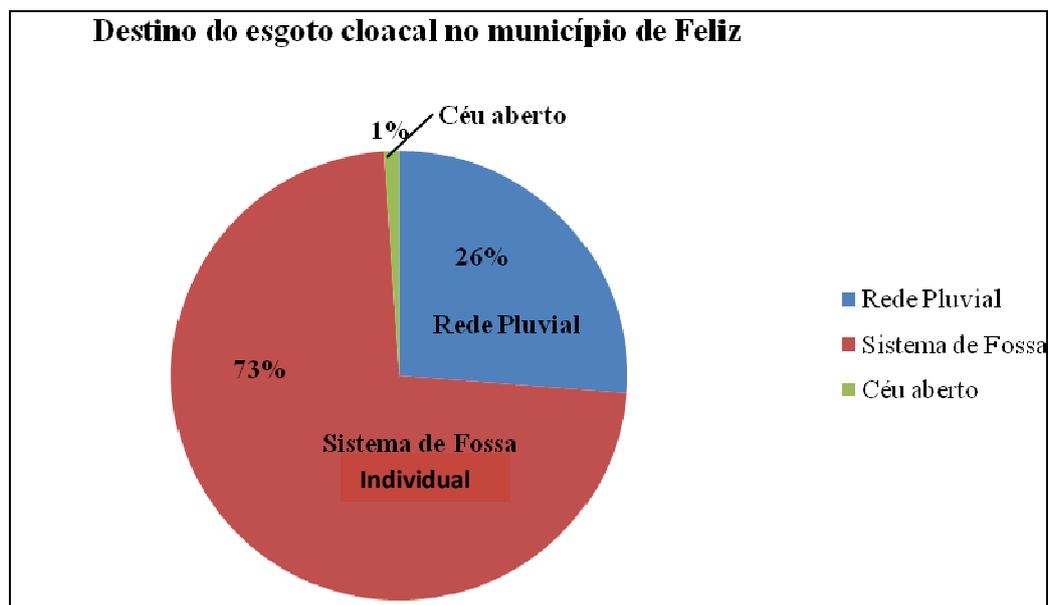


Figura 34: Destino do esgoto sanitário no município de Feliz

A tabela 5 mostra os bairros e localidades da zona urbana do município de Feliz, o número de famílias por bairro e localidade, e o destino dado aos esgotos sanitários, na zona urbana do município. A zona urbana do município tem 10 bairros e localidades, totalizando 2561 famílias residentes, sendo que o Centro, juntamente com os bairros Vila Rica e Matiel (Colina e Canto do Rio) abrigam 64,2 % destas famílias. Das famílias moradoras na zona urbana, 797 famílias destinam seus esgotos domésticos através das redes de drenagem das águas pluviais, 1751 destinam através do sistema de fossa individual e 13 famílias lançam seus efluentes a céu aberto.

Tabela 5: Bairros e Localidades da zona urbana do município de Feliz, com o número de famílias, por bairro e destino do esgoto sanitário na zona urbana.

Bairros e Localidades	Número de Famílias	% de Famílias por bairro	Rede Pluvial	Sistema de Fossa Individual	Céu aberto
Centro	478	18,7	388	90	0
Vila Rica	458	17,9	266	192	0
Bom Fim	183	7,1	28	155	0
Morro das Batatas/Picão	128	5,0	1	126	1
Vale do Hermes	233	9,1	4	228	1
Bela Vista	184	7,2	12	170	2
Matiel	210	8,2	65	145	0
Matiel (Colina)	261	10,2	11	246	4
Matiel (Canto do Rio)	235	9,2	18	216	1
Escadinhas (Urbana)	191	7,4	4	183	4
TOTAL	2561	100	797	1751	13

A figura 35 apresenta o percentual do destino dos esgotos sanitários, efetuado por cada família, da zona urbana do município de Feliz. O sistema de fossa individual recebe 68,4% dos esgotos sanitários, enquanto que as redes pluviais recebem 31,1% e 0,5% é lançado a céu aberto.

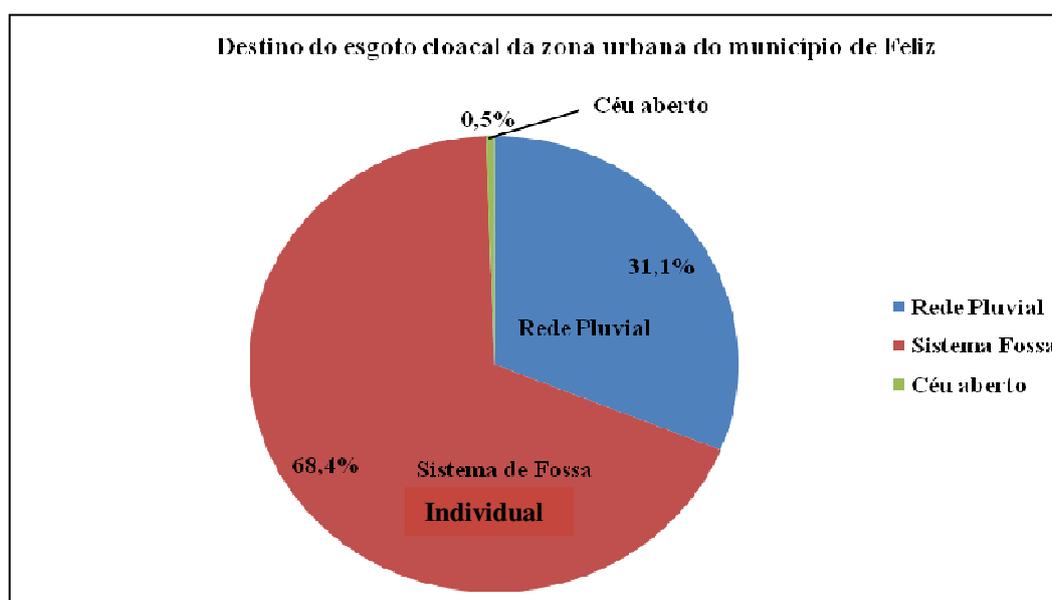


Figura 35: Destino do esgoto sanitário da zona urbana do município de Feliz

A figura 36 mostra a localização de duas ETEs, uma no bairro Vale do Hermes, com Coordenadas UTM do Fuso 22, 6742855 S e 469189 E e a outra no bairro Matiel, com Coordenadas UTM do Fuso 22, 6741290 S e 469497 E.

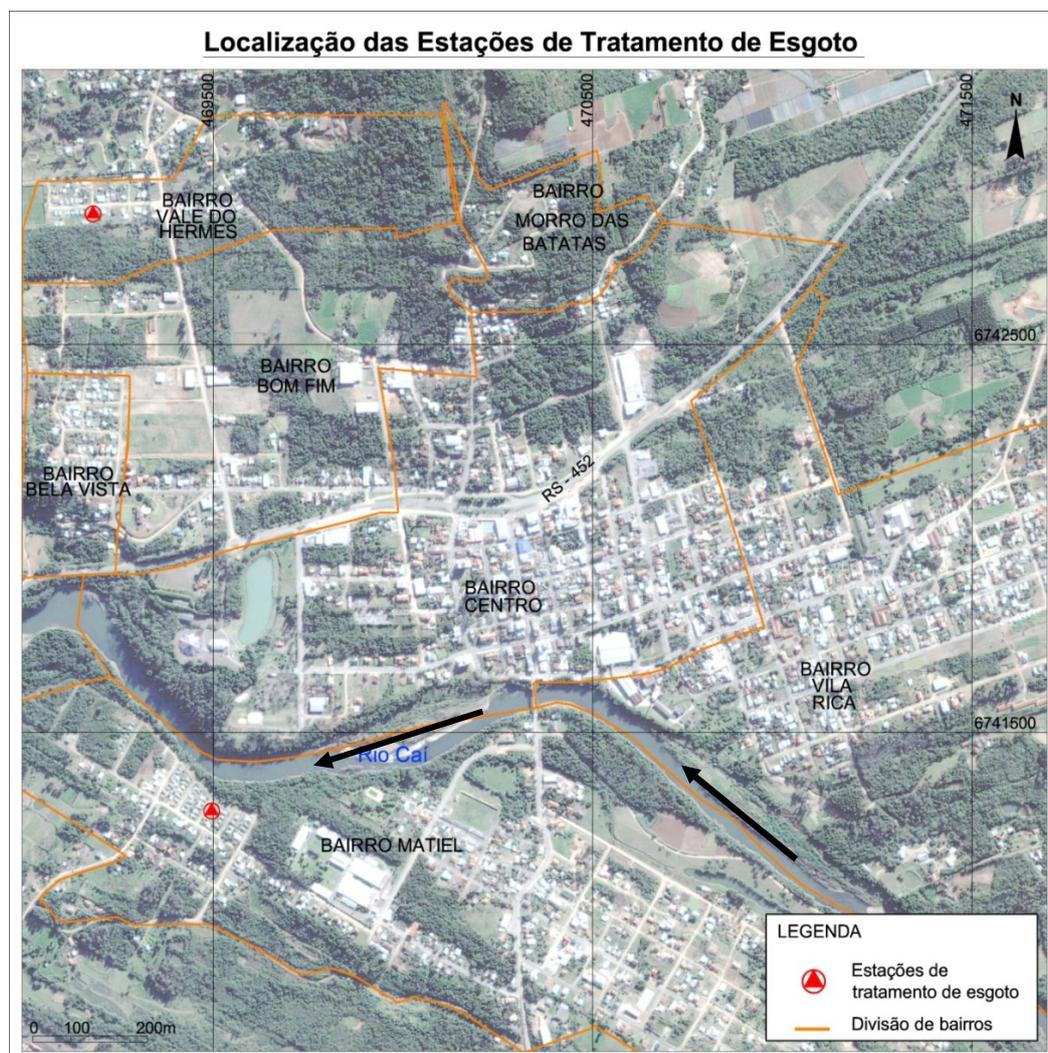


Figura 36: Localização das estações de tratamento de esgotos cloacais, na zona urbana do Município de Feliz

A figura 37 apresenta o mapa de localização da área onde se desenvolveu o projeto e implantou o sistema de esgotamento sanitário de 15 residências, na Rua Ermindo Mayrer.

A figura 38 mostra a chegada do material para o início da construção ETE, no bairro Vale do Hermes. As figuras 39 e 40 mostram a ETE construída. As figuras 41 e 42 mostram a ETE em operação e parte de seus efluentes lançados a céu aberto.

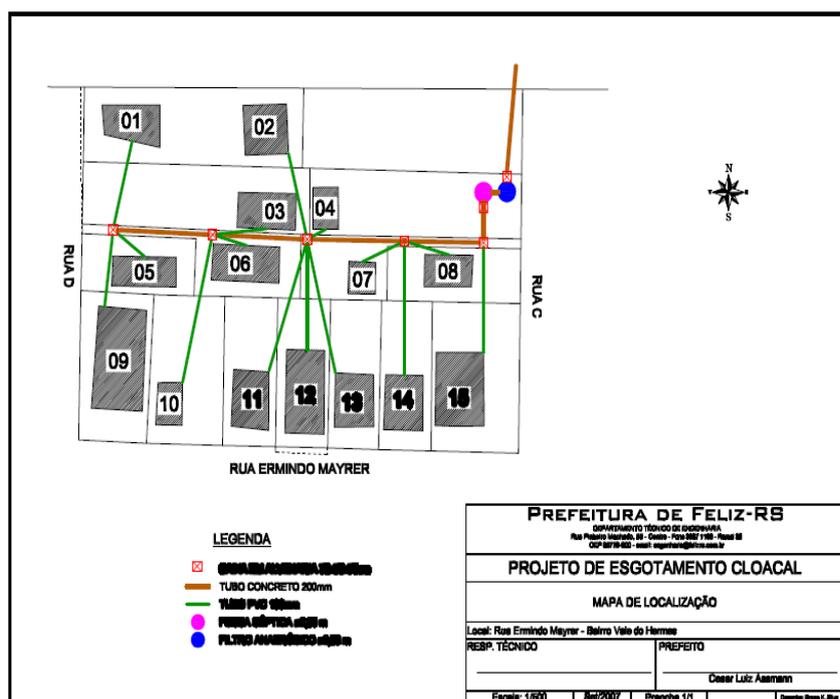


Figura 37: Projeto de Esgotamento Cloacal, mapa de localização (Fonte: Prefeitura Municipal de Feliz)



Figura 38: Chegada de material para construção da estação de tratamento de esgoto sanitário da Rua Ermindo Mayrer, em 19/08/2008. (Fonte: Prefeitura Municipal de Feliz)



Figura 39: Estação de tratamento de esgoto sanitário, tipo Ralf, da Rua Ermindo Mayrer, em 06/05/2009 (Fonte: Prefeitura Municipal de Feliz)



Figura 40: Estação de tratamento de esgoto sanitário da Rua Ermindo Mayrer, em 06/05/2009 (Fonte: Prefeitura Municipal de Feliz)



Figura 41: Estação de tratamento de esgoto sanitário da Rua Ermindo Mayrer, em 30/03/2011.



Figura 42: Saída do efluente tratado, da estação de tratamento, lançado a céu aberto, em 30/03/2011.

A figura 43 mostra a localização da ETE coletiva, do loteamento Popular, no bairro Matiel, que trata os esgotos cloacais de 11 residências, construída em 2007.



Figura 43: Localização da estação de tratamento de esgoto sanitário do Bairro Matiel, em 30/03/2011.

Analisando os dados obtidos na tabela 3 e figura 33, verificou-se que há 2.740 residências na área urbana do município, exceto a localidade de São Roque. Como a taxa de ocupação é de 2,95 habitantes por domicílio (IBGE, 2011), considera-se que há atualmente, 8.083 habitantes na zona urbana, correspondendo a 76,19% da população, ocupando 20,4% da área total do município. O grande percentual da população estabelecida na área central indica que há uma grande produção e concentração de esgotos sanitários na região urbana.

Este estudo, através da figura 34, apresenta o destino dos esgotos sanitários no município de Feliz, onde 73% dos esgotos são encaminhados para o sistema de fossas individuais, 26% para as redes de drenagem das águas pluvias e 1% é lançado a céu aberto. Na área urbana do município, conforme registrado na figura 35, 68,4% dos esgotos sanitários são destinados ao sistema de fossas, 31,1% para as redes pluvias e 0,5% são lançados a céu aberto.

Segundo estudos anteriores, o município de Feliz possui 5,0% dos domicílios ligados à rede geral de esgotos sanitário ou pluvial, 44% possuem fossa séptica, 48% são supridos por fossas rudimentares e 3% das residências lançam seus efluentes diretamente em arroios, córregos, rio e/ou outro escoadouro (FELIZ, 2007b). Souza (2009) registra que o município não tem o cadastro das residências que utilizam os diferentes sistemas de tratamento local, mas há uma

estimativa de que 70% do tratamento do esgotos seja através de fossa e sumidouro e 30%, pelo sistema de fossa e filtro anaeróbio e pela utilização da rede de esgoto pluvial.

De acordo com a pesquisa documental realizada neste trabalho, nos últimos 11 anos foram elaborados vários projetos, propondo redes e sistemas de tratamentos de esgotos sanitários, que não foram executados. Neste período, o município atendeu somente 26 residências, cerca de 1% das residências da zona urbana, com redes de esgotos sanitários e duas estações de tratamento de esgotos, através de tanques sépticos. Também verificou-se que, apesar dos baixos índices de tratamento dos esgotos sanitários no município, não há um programa para a manutenção das estações de tratamento dos esgotos sanitários existentes, resultando no lançamento dos efluentes, provenientes das estações de tratamento, a céu aberto.

Jordão e Pessôa (2005) recomendam que a parte sólida dos tanques sépticos deverá ser removida periodicamente, em intervalos de tempo estabelecido no cálculo de dimensionamento das unidades e Philippi (2007), afirma que o lodo deve permanecer no interior do tanque, no mínimo durante 2 anos, período em que ocorre a fermentação completa, com a estabilização da metanização, fase final da digestão anaeróbia.

4.2 AVALIAÇÃO DO IMPACTO GERADO PELOS ESGOTOS SANITÁRIOS DO MUNICÍPIO DE FELIZ NO RIO CAÍ

4.2.1 Qualidade da água, por ponto de amostragem

A tabela 6 mostra as medidas realizadas, a campo, de: pH, temperatura, condutividade e OD, as análises laboratoriais de DBO₅, Nitrogênio Orgânico, Nitrato, Fósforo Total, Coliformes Termotolerantes e Sólidos Totais, resultantes das quatro coletas de água nos pontos 1, 2, e 3, realizadas a cada 28 dias, no período de 06 de dezembro a 28 de fevereiro de 2011. Para cada ponto de coleta, foi realizada a comparação entre os parâmetros medidos e os parâmetros máximos estabelecidos, para cada classe de uso, pela resolução 357/2005 do CONAMA. O objetivo foi verificar se o trecho em estudo, entre os pontos 1 e 3, atende à classificação definida pelo enquadramento do rio Caí, classe 2, e quais são os parâmetros que impactam este trecho.

Tabela 6: Resultado das análises laboratoriais das coletas realizadas nos pontos 1,2 e 3.

Parâmetros de monitoramento												
Coleta	Ponto	Condut.	OD	DBO5	Nit. Org.	NH4	NO3	P total	Coliformes Termo.	pH	ST	Temp
		µS/cm	mg/L	mg/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	NMP/100mL	-	mg/L	°C
1	1	87,5	7,2	4	856	200	580	57	2	7,11	125	24,2
	2	86,1	4,2	4	875	200	1010	69	1700	7,13	123	24,6
	3	74,2	6,4	6	1200	200	930	163	490	7,2	106	24,8
2	1	128,8	6,5	6	5000	200	914	151	2	7,03	184	27
	2	104,3	6,7	12	5000	200	677	128	45	7,3	149	28,2
	3	78,4	6,5	4	5000	200	791	45	20	7,33	112	26,8
3	1	63	6,9	8	369	281	814	93	270	6,4	90	27,6
	2	72,1	6,1	6	20	200	1643	104	68	7,33	103	29,6
	3	98	6,8	5	20	200	1504	139	490	7,27	140	29,1
4	1	117,9	8,6	7	1641	200	811	163	170	8,36	164	22,7
	2	117,2	7,8	3	1694	200	748	80	700	8,01	152	22,7
	3	118,1	7,3	8	1612	200	703	375	490	7,93	120	23,5

A tabela 7 apresenta as vazões no ponto 1 (figura 32), calculadas pelo método proposto por Chaves *et al.* (2002).

Tabela 7: Vazões de entrada no ponto 1 nos períodos de coleta.

Posto de monitoramento	Vazão (m ³ /s)			
	06/12/2010	03/01/2011	31/01/2011	28/02/2011
1	12,31	6,89	16,17	61,89

Conforme a Estação Pluviométrica de Nova Palmira, localizada no município de Caxias do Sul, o volume de chuva medido no período de 28 dias anteriores aos dias de coleta, dias 06/12/2010, 03/01/2011, 31/01/2011 e 28/02/2011, foi respectivamente, de 110,10 mm, 43,5 mm, 202,70 mm e 161,80 mm (AGÊNCIA NACIONAL DE AGUAS, 2011).

Tabela 8: Classificação dos parâmetros, no ponto de coleta 1, de acordo com a Resolução 357/2005 do CONAMA, no período amostrado.

Ponto 1				
Parâmetros	06/12/2010	03/01/2011	31/01/2011	28/02/2011
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	< 2	< 2	270	170
DBO ₅ (mg DBO ₅ /L)	4	6	8	7
Fósforo Total (mg P/L)	0,057	1,151	0,093	0,163
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ -N/L)	< 0,200	< 0,200	0,281	< 0,200
Nitratos (mg NO ₃ /L)	0,58	0,914	0,814	0,811
Oxigênio Dissolvido (OD) (mg OD/L)	7,2	6,5	6,9	8,6
pH	7,11	7,03	6,4	8,36
Turbidez (NTU)	10,2	6,26	10,61	21,4

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Analisando os dados apresentados na tabela 8, verificou-se que a qualidade das águas, no ponto 1, para uma vazão de 12,31 m³/s, na coleta de 06 de dezembro de 2010, foi enquadrada na classe 2, para o parâmetro DBO, e para os demais parâmetros, foi enquadrada na classe 1. O ponto 1 está dentro da classificação estabelecida pelo enquadramento definido pelo Comitê de Bacia, como classe 2.

Na coleta 2, em 03 de janeiro de 2011, com uma vazão de 6,89 m³/s, o ponto 1 foi classificado em classe 4, para o parâmetro fósforo total; classe 3, para o parâmetro DBO₅ e classe 1, para os outros parâmetros. Neste período a qualidade da água não se enquadra na proposta do Comitê, que é classe 2.

Na coleta 3, em 31 de janeiro de 2011, com uma vazão de 16,17 m³/s, o ponto 1 foi classificado em classe 3, para o parâmetro DBO₅; classe 2, para os parâmetros coliformes termotolerantes e fósforo total e classe 1, para os demais parâmetros. Neste período a qualidade da água não se enquadra na proposta do Comitê, que é classe 2.

A coleta 4, realizada em 28 de fevereiro de 2011, com vazão de 61,89 m³/s, o ponto 1 foi classificado em classe 4, para o parâmetro fósforo total; classe 3, para o parâmetro DBO₅ e classe 1, para os outros parâmetros. Neste período a qualidade da água não se enquadra na proposta do Comitê, que é classe 2.

Tabela 9: Classificação dos parâmetros, no ponto de coleta 2, de acordo com a Resolução 357/2005 do CONAMA, no período amostrado.

Ponto 2				
Parâmetros	06/12/2010	03/01/2011	31/01/2011	28/02/2011
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	1700	45	68	700
DBO ₅ (mg DBO ₅ /L)	4	12	6	3
Fósforo Total (mg P/L)	0,069	0,128	0,104	0,08
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ -N/L)	< 0,200	< 0,200	< 0,200	< 0,200
Nitratos (mg NO ₃ /L)	1,01	0,677	1,643	0,748
Oxigênio Dissolvido (OD) (mg OD/L)	4,2	6,7	6,1	7,8
pH	7,13	7,3	7,33	8,01
Turbidez (NTU)	10,5	2,46	10,39	21,8

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Conforme os resultados dos parâmetros apresentados na tabela 9, no ponto 2, para uma vazão de 12,31 m³/s, na coleta de 06 de dezembro de 2010, verificou-se que a qualidade das águas corresponde à classe 3, para os parâmetros coliformes termotolerantes e OD; classe 2, para o parâmetro DBO₅, sendo que para os demais parâmetros, foi enquadrada na classe 1. Neste período, a qualidade da água não se enquadra na proposta do Comitê, que é classe 2.

Na coleta 2, 03 de janeiro de 2011, com vazão de 6,89 m³/s, o ponto 2 foi classificado na classe 4, para o parâmetro DBO₅; classe 3, para o parâmetro fósforo total e classe 1, para os outros parâmetros. Neste período a qualidade da água não se enquadra na proposta do Comitê, que é classe 2.

Na coleta 3, em 31 de janeiro de 2011, com vazão de 16,17 m³/s, o ponto 2 foi classificado como em classe 3, para o parâmetro DBO₅ e fósforo total e classe 1, para os demais parâmetros. Neste período a qualidade da água não atende à classificação proposta pelo enquadramento do Comitê, classe 2.

Na coleta 4, em 28 de fevereiro de 2011, com vazão de 61,89 m³/s, o ponto 2 foi classificado em classe 2, para o parâmetro coliforme termotolerantes e classe 1, para os demais. O ponto 2 está dentro da classificação estabelecida pelo enquadramento definido pelo Comitê de Bacia como classe 2.

Tabela 10: Classificação dos parâmetros, no ponto de coleta 3, de acordo com a Resolução 357/2005 do CONAMA, no período amostrado.

Ponto 3				
Parâmetros	06/12/2010	03/01/2011	31/01/2011	28/02/2011
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	490	20	490	490
DBO ₅ (mg DBO ₅ /L)	6	4	5	8
Fósforo Total (mg P/L)	0,163	0,045	0,139	0,375
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ -N/L)	< 0,200	< 0,200	< 0,200	< 0,200
Nitratos (mg NO ₃ /L)	0,93	0,791	1,504	0,703
Oxigênio Dissolvido (OD) (mg OD/L)	6,4	6,5	6,8	7,3
pH	7,2	7,33	7,27	7,93
Turbidez (NTU)	11,61	2,37	11,17	22,2

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Analisando os dados obtidos na tabela 10, verificou-se que a qualidade das águas no ponto 3, para uma vazão de 12,31 m³/s, na coleta de 06 de dezembro de 2010, foi de classe 4, para o parâmetro fósforo total e classe 3, para o parâmetro DBO₅. Os coliformes termotolerantes foram enquadrados como em classe 2. Os demais parâmetros foram enquadrados na classe 1. Neste período, a qualidade da água não atende à classificação proposta pelo Comitê, que é classe 2.

Na coleta 2, em 03 de janeiro de 2011, com vazão de 6,89 m³/s, o ponto 3 foi classificado em classe 2, para o parâmetro DBO₅ e classe 1, para os outros parâmetros. O ponto 3 atende à classificação estabelecida pelo Comitê de Bacia, classe 2.

Na coleta 3, em 31 de janeiro de 2011, com vazão de 16,17 m³/s, o ponto 3 foi classificado em classe 3, para o parâmetro fósforo total, e classe 2, para os parâmetros coliformes termotolerantes e DBO₅ e classe 1, para os demais parâmetros. Neste período a qualidade da água não atende à classificação proposta pelo Comitê, que é classe 2.

Na coleta 4, em 28 de fevereiro de 2011, com vazão de 61,89 m³/s, o ponto 3 foi classificado em classe 4, para o parâmetro fósforo total e em classe 3, para o parâmetro DBO₅. O parâmetro coliformes termotolerantes, foi enquadrado em classe 2, enquanto que os demais parâmetros, em classe 1. Neste período a qualidade da água não se enquadra na classificação proposta pelo Comitê, classe 2.

No período de coleta considerado observou-se que ocorre flutuação na qualidade da água, para um mesmo ponto amostrado. Isto pode ser explicado pela vazão (Tabela 7), considerando-se que as precipitações provocam a lavagem das superfícies e carregam contaminantes aos mananciais, através do escoamento das águas superficiais. Com baixas vazões, há concentração dos esgotos domésticos não tratados, dificultando a diluição destes, no corpo hídrico.

No ponto de coleta 1, 2 parâmetros apresentaram valores acima dos limites estabelecidos para a classe 2. Para o parâmetro DBO₅, 75% das amostras estão enquadradas em classe 3 enquanto que para o fósforo total, 50% das amostras de estão classificadas em classe 4. Neste caso, verifica-se a importância das vazões no manancial hídrico, tendo em vista que com as vazões diferenciadas nos períodos de coleta, classificou-se o ponto 1 em classe 2, para a vazão de 12,31 m³/s, classe 3, para a vazão de 16,17 m³/s e classe 4, para as vazões de 6,89 m³/s e 61,89 m³/s, vazões mínima e máxima do período analisado.

Considerando que a DBO₅ é um indicador da presença de matéria orgânica no ambiente aquático, a presença de DBO elevada, desde o início do trecho do rio da área em estudo, pode ser explicada pelo somatório da contribuição dos esgotos sanitários da área urbana de Caxias do Sul e comunidades à montante do ponto 1. Estes dados estão em conformidade com os estudos realizados por Navarro, Piranha e Pacheco (2006), sobre os altos níveis de DBO, como consequência do descarte de efluentes domésticos nas imediações.

No ponto 2, 4 parâmetros (coliformes termotolerantes, DBO₅, fósforo total e OD) apresentam valores acima dos limites para a classe 2. Conforme os limites estabelecidos, 50% das coletas estão enquadradas em classe 3 e 25%, em classe 4. As coletas classificadas em classe 2, 25% do total neste ponto, foram realizadas com uma vazão de 61,89 m³/s. Os elevados teores destes parâmetros são consequência do descarte de esgotos domésticos e aporte de nutrientes no manancial.

No ponto 3, tanto DBO₅, como fósforo total, estão acima dos limites estabelecidos pelo enquadramento, sendo que 50% das coletas se referem ao parâmetro DBO₅ e 75%, ao fósforo total. Altos valores destes parâmetros estão relacionados com altas vazões e são consequências do escoamento superficial das águas pluviais. A massa poluente permanece depositada sobre a superfície da bacia no período de estiagem, sendo transportada para o corpo d'água, durante o escoamento superficial (BRITES; GASTALDINI; SARTORI, 2005).

Quanto à classificação do corpo hídrico, relativa aos limites estabelecidos na Resolução 357/05 do CONAMA, pode-se constatar que, a partir dos resultados obtidos nas 4 campanhas, 75% das amostras coletadas estão fora da classificação estabelecida pelo Comitê de Bacia, Classe 2, para o trecho do rio estudado, conforme Resolução 50/2008 do CRH.

Conforme a lei 10.230/94 do RS, o dever da gestão das águas no RS é atribuição do Comitê de Bacia. A cobrança aos usuários da água para atingir o enquadramento, oficializado pela resolução 50/2008 do CRH, nos diferentes trechos do rio Caí, é de responsabilidade do Comitê de Bacia. O prazo para atingir o enquadramento, através de metas definidas no Plano da Bacia, é de 15 anos, Resolução 53/2009 do CRH, sendo o Comitê de Bacia, o ente político responsável por promover uma ampla negociação entre setores de usuários da água e a comunidade da bacia.

4.2.2 Simulação da qualidade da água no trecho rio que banha o município de Feliz

Conforme a simulação, através do modelo QUAL2K, as figuras 46 a 51 apresentam o comportamento da qualidade das águas no rio, no trecho em estudo (figura 44), comparando-os com os limites máximos estabelecidos para cada classe de uso, pela resolução 357/2005 do CONAMA. O objetivo foi verificar se o trecho em estudo, entre os pontos 1 e 3, se comporta dentro da classificação definida pelo enquadramento do rio Caí, classe 2, ao receber as cargas

provenientes dos esgotamentos superficiais e quais são os parâmetros que impactam este trecho.

A figura 44 mostra o trecho em estudo, de 10.500 metros, os pontos de monitoramento, 1, 2 e 3, os 42 segmentos de 250m, e os bairros da zona urbana.

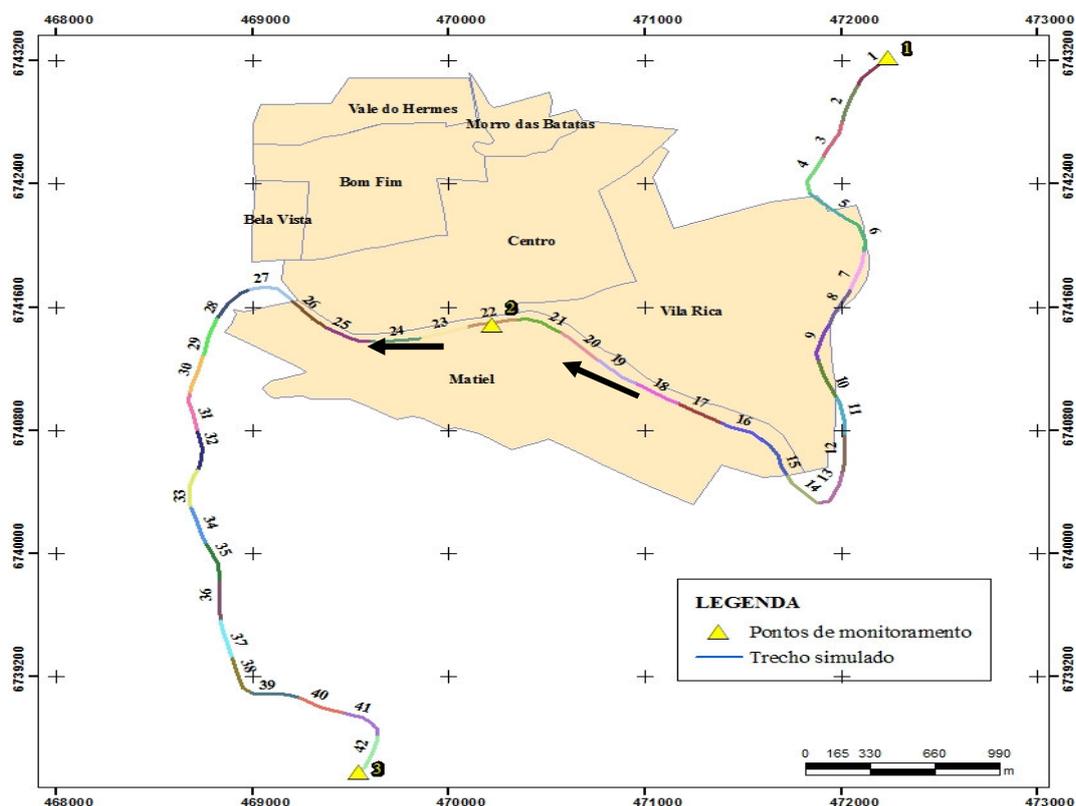


Figura 44: Pontos de monitoramento no rio Caí, no trecho que banha o município de Feliz.

A figura 45 apresenta a localização de 7 pontos de lançamento das águas superficiais, no rio Caí e o ponto de lançamento, no Arroio Hermes, córrego que atravessa os bairros Vila Hermes, Bom Fim, Bela Vista e Centro e deságua no Caí.

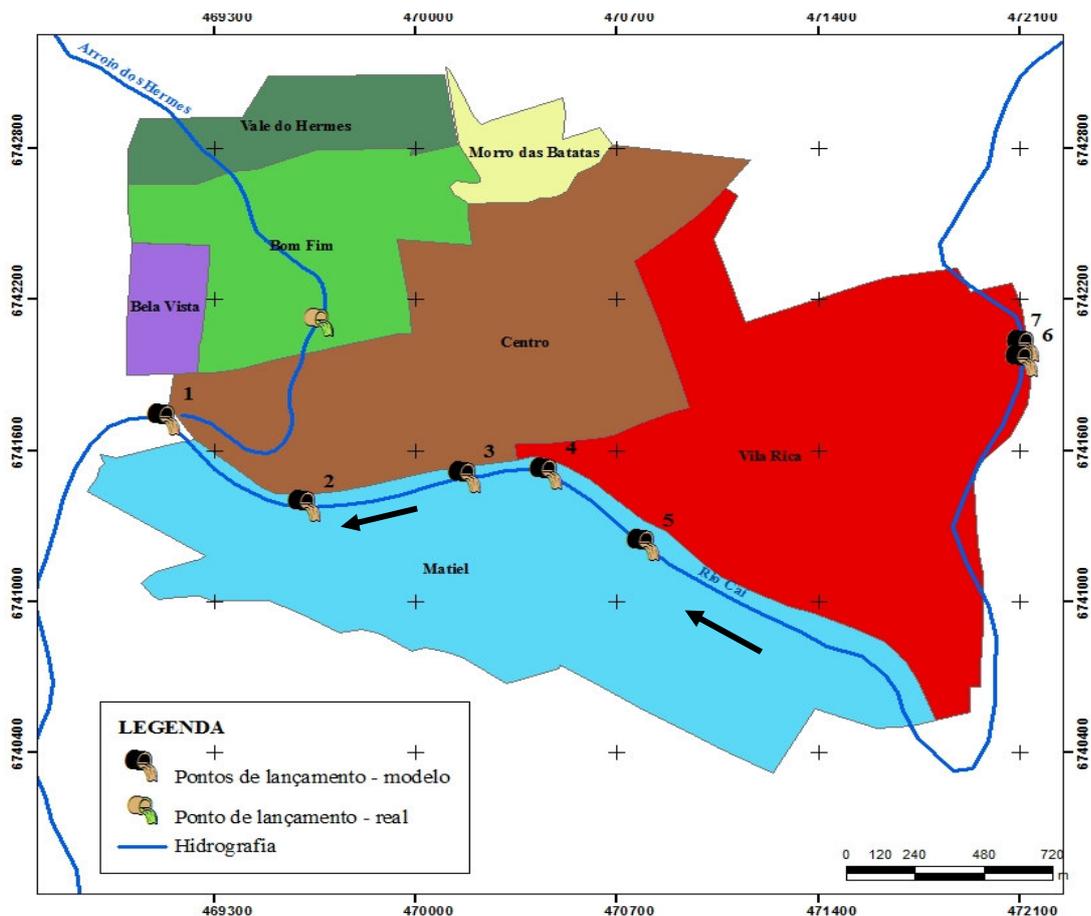


Figura 45: Pontos de lançamento das redes pluviais no rio Caí, no trecho que banha o município de Feliz.

As figuras de 46 a 51 apresentam a simulação do comportamento da qualidade das águas no rio Caí, no trecho em estudo, para os parâmetros DBO, OD, coliformes fecais, nitrogênio amoniacal, nitrato e fósforo total.

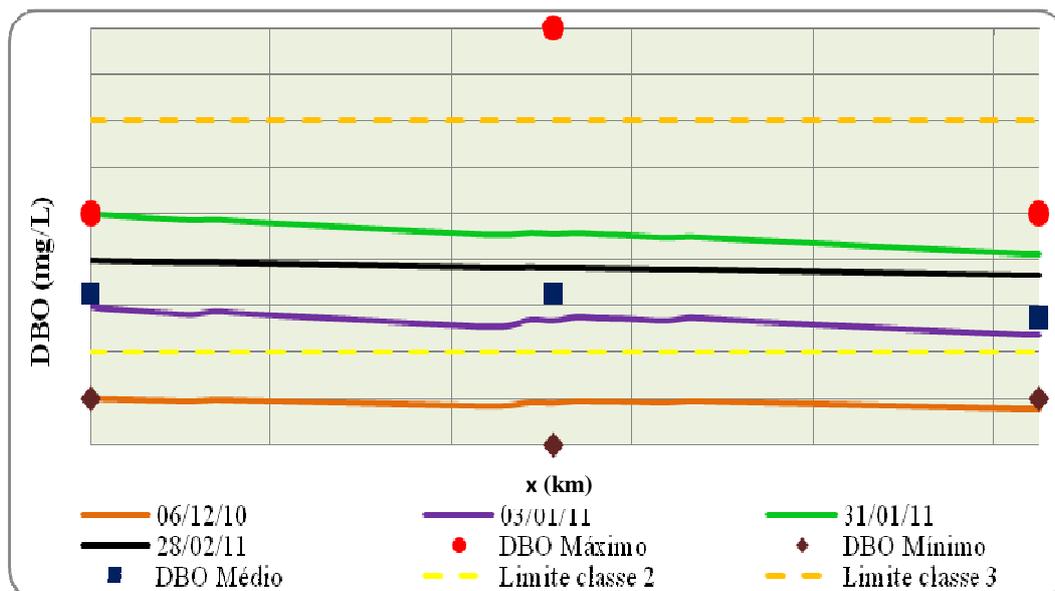


Figura 46: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro DBO.

No ponto zero da figura 46, ponto de coleta 1, no dia 06/12/10, a vazão era de 12,31 m³/s e o nível de DBO, igual a 4 mg/L. Entre os km 4,5 a 7, os níveis de DBO tiveram um pequeno acréscimo, devido aos lançamentos dos pontos de drenagem 3, 4 e 5 (figura 45). A partir do km 7 há um pequeno decréscimo, até o km 10,5.

As simulações para os dias 03/01/11 e 31/01/11, cujas vazões eram 6,89 m³/s e 16,17 m³/s, para o parâmetro DBO, tiveram o mesmo comportamento, um pequeno acréscimo entre os km 4,5 e 7, onde está situada a região urbana do município, e, a partir deste, um decaimento dos valores deste parâmetro.

A simulação referente ao dia 28/02/11, cuja vazão era de 61,89 m³/s, tem um pequeno decréscimo, passando de 7 mg/L para, aproximadamente 6,7 mg/L nos 10,5 quilômetros analisados.

A simulação referente ao dia 06/12/10 enquadra-se na classe 2, nos 10,5 km, enquanto que as simulações referentes aos dias 03/01/11, 31/01/11 e 28/02/11 se enquadraram na classe 3. A DBO máxima, 12 mg/L ocorreu no dia 03/01/11, no km 5,5, junto aos pontos de lançamento das águas pluviais da zona urbana de Feliz.

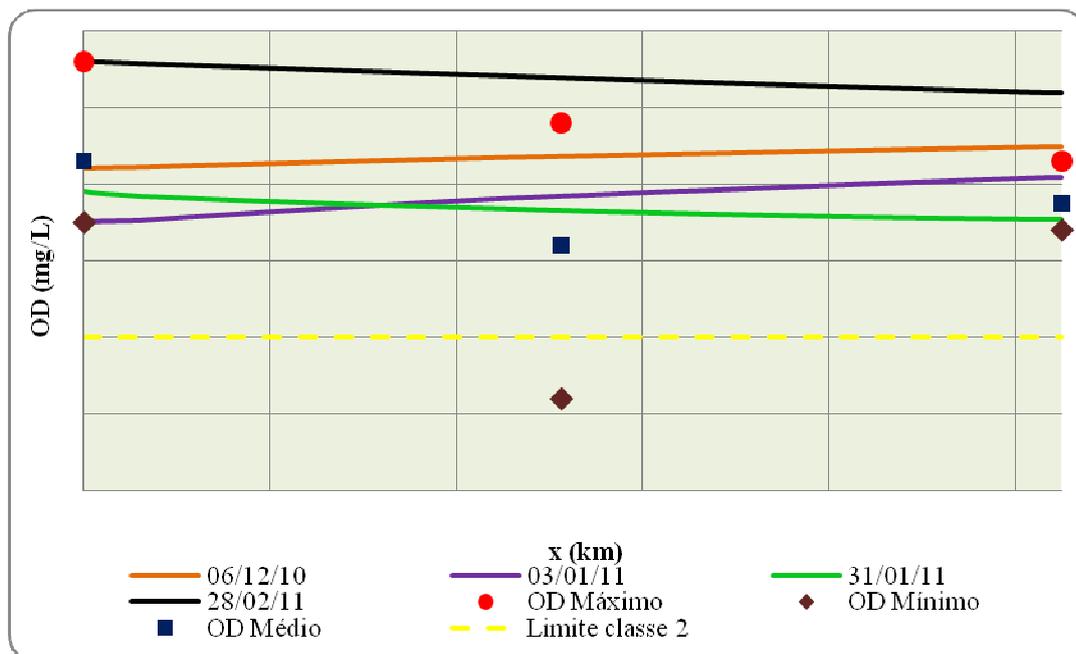


Figura 47: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro OD.

Os parâmetros de OD, apresentados na figura 47, mostram que, para as simulações realizadas nos dias 06/12/10 e 03/01/11, há um pequeno acréscimo. Para as simulações realizadas nos dias 31/01/11 e 28/02/11 há um decréscimo no OD.

Todas as simulações referentes ao parâmetro OD enquadram-se na classe 2, atendendo a classificação estabelecida pelo enquadramento definido pelo Comitê de Bacia. O OD mínimo ocorreu no km 5,5, com o valor de 4,2 mg/L, no dia 06/12/10, junto aos pontos de lançamento das águas pluviais da zona urbana de Feliz.

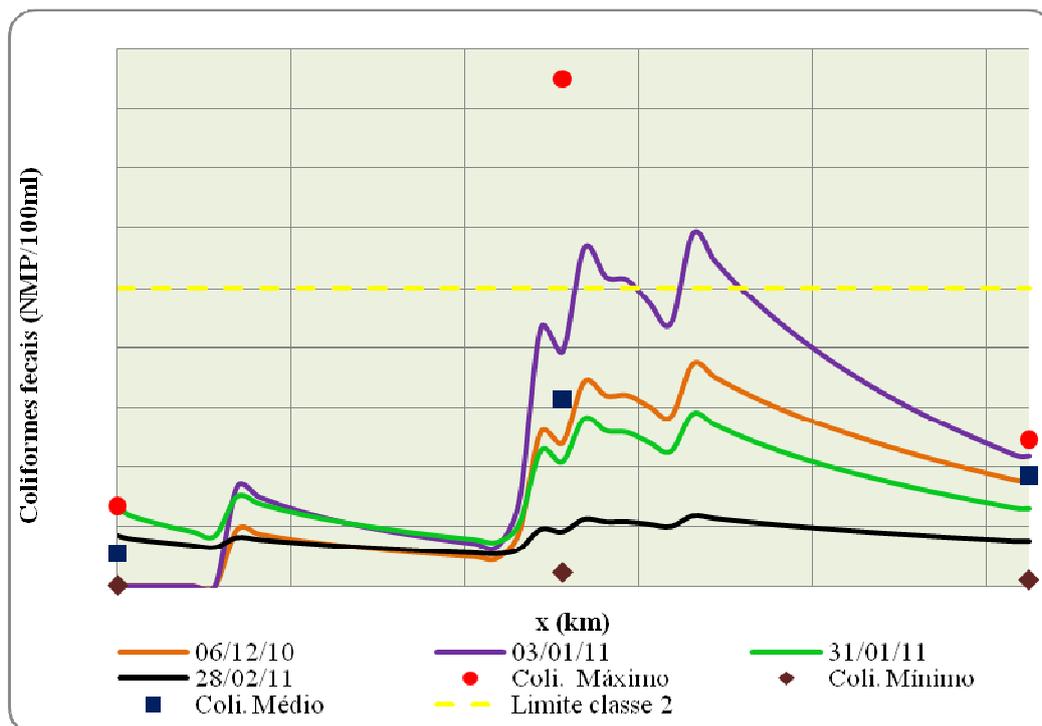


Figura 48: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro Coliforme fecais.

As simulações referentes ao parâmetro Coliformes fecais (figura 48) possuem o mesmo comportamento, um pequeno decréscimo até o km 1,5. Neste ponto há acréscimo nos parâmetros de coliformes fecais, devido aos pontos de lançamento de águas pluviais do bairro Vila Rica e da localidade de Picada Cará, decaindo até o km 5. No trecho a seguir há um significativo acréscimo de coliformes fecais, provenientes dos diversos pontos de lançamentos das águas pluviais localizados junto à zona central urbana. Entre os km 6 e 7 há um novo ponto de lançamento de águas pluviais, provenientes dos bairros Bom Fim, Bela Vista, Vale do Hermes, Morro das Batatas e parte do Centro, com a elevação dos níveis de coliformes, que decaem até o km 10,5. O maior nível de coliformes foi encontrado no km 5,5, com o valor de 1700 NMP/100 mL, em 06/12/10.

Todas as simulações se enquadram na classe 2, com exceção da simulação referente ao dia 03/01/11, que se enquadra na classe 3, devido aos pontos de lançamento situados entre os km 5 a 7 e a vazão no período, que foi de 6,89 m³/s, menor vazão registrada entre as quatro campanhas realizadas.

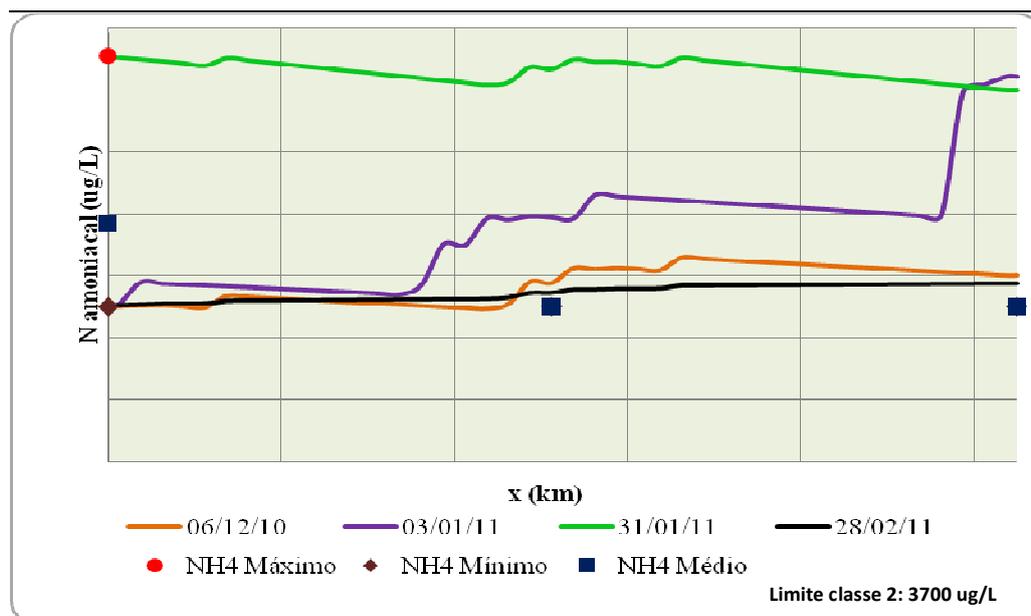


Figura 49: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro nitrogênio amoniacal.

Conforme mostra a figura 49, todas as simulações, referentes ao parâmetro nitrogênio amoniacal, estão abaixo do parâmetro limite, para o enquadramento referente à classe 2, que é de 3700 µg/L. As simulações referentes ao parâmetro nitrogênio amoniacal enquadram-se na classe 2, atendendo à classificação estabelecida pelo enquadramento definido pelo Comitê de Bacia.

Pode-se observar que, apesar de o parâmetro estar abaixo do limite, nas simulações dos dias 06/12/10 e 31/01/11, com vazões de 12,31 m³/s e 16,17 m³/s, respectivamente, há uma elevação nos níveis de nitrogênio amoniacal no km 5, possivelmente, devido aos pontos de lançamento, dos esgotos sem tratamento, da região central urbana. Posteriormente, há um decaimento nos níveis deste parâmetro.

A simulação referente ao dia 03/01/2011, com a vazão de 6,89 m³/s, menor vazão registrada entre as quatro coletas, apresenta uma elevação nos níveis de nitrogênio amoniacal entre os km 3,5 a 5, onde estão os pontos de lançamento das redes pluviais da região urbana, e, após, há um decaimento nos níveis deste parâmetro. No km 9,5 há um grande acréscimo no nível de nitrogênio amoniacal, devido a um pequeno córrego, que banha a localidade de Escadinhas/rural e deságua no rio Caí. Quanto à simulação do dia 28/02/11, cuja vazão é de 61,89 m³/s, os níveis de nitrogênio amoniacal apresentam pequena variação.

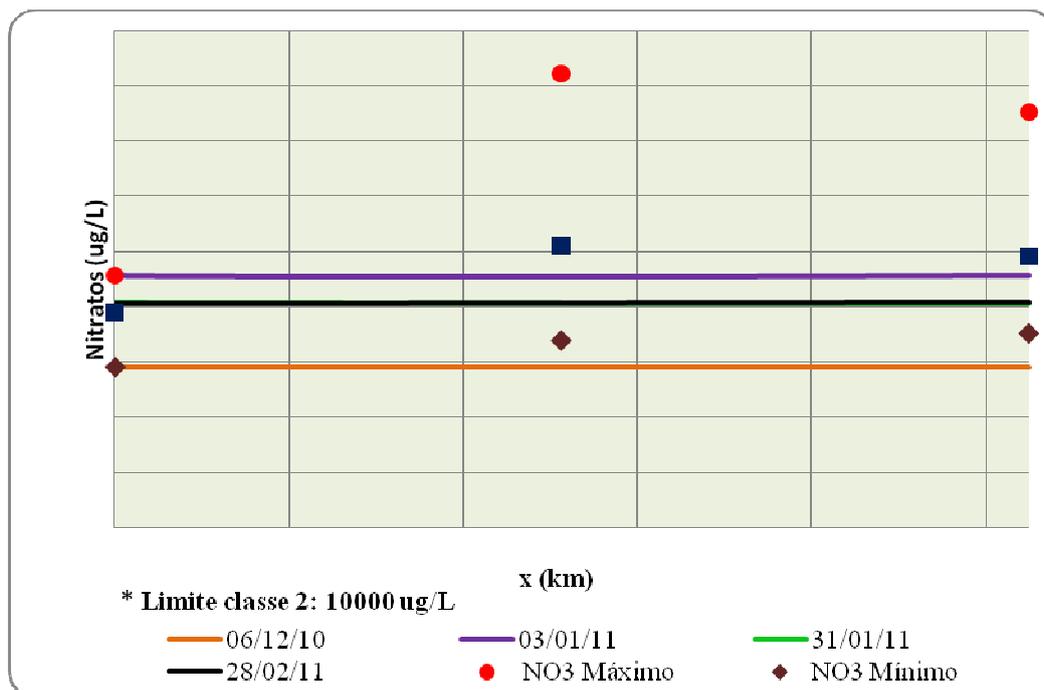


Figura 50: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro nitrato.

As simulações referentes ao parâmetro nitrato, mostradas na figura 50, apresentam um mesmo comportamento, mantendo-se constante em todo o trecho do rio. Os parâmetros de maiores valores referem-se à simulação do dia 03/01/11, com vazão de 6,89 m³/s.

Todas as simulações referentes ao parâmetro nitrato estão abaixo do limite de 10.000 µg/L; portanto, enquadram-se na classe 2, atendendo à classificação estabelecida pelo enquadramento definido pelo Comitê de Bacia. O valor máximo encontrado de nitrato foi 1.643 µg/L, no dia 31/01/11, no km 5,5.

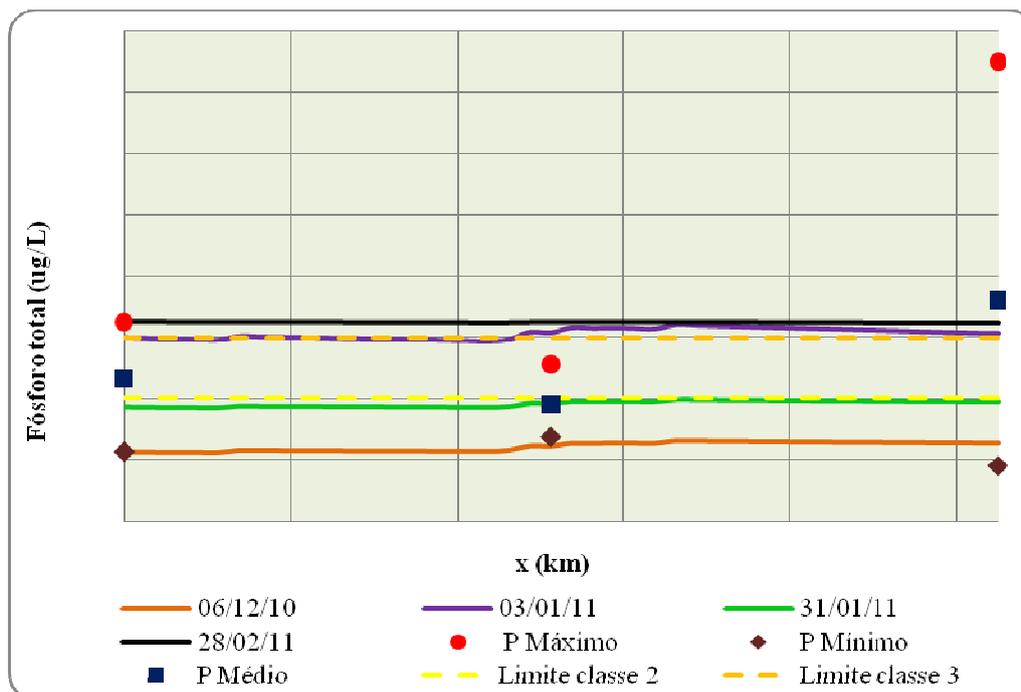


Figura 51: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro fósforo total.

As simulações dos dias 06/12/10, 03/01/11 e 31/01/11 (figura 51), referente ao parâmetro fósforo total, possuem o mesmo comportamento: um pequeno acréscimo a partir do km 4,5. Neste ponto há acréscimo nos parâmetros de fósforo total, devido aos pontos de lançamento de águas pluviais, localizados na área central. A simulação referente ao dia 28/02/11, com vazão de 61,89 m³/s, é constante nos 10,5 quilômetros analisados.

As simulações referentes aos dias 06/12/10 e 31/01/11 enquadram-se na classe 2, nos 10,5 km do rio, sendo que, a partir do km 5,5, os valores da simulação de 31/01 tangenciam os limites da classe 2. As simulações referentes aos dias 03/01/11 e 28/02/11, com vazões mínimas e máximas, respectivamente, se enquadraram na classe 4. O máximo teor de fósforo, 375 µg/L, ocorreu no dia 28/02/11, no ponto de monitoramento 3, km 10,5.

Analisando os resultados referentes às simulações é possível inferir que as áreas que contribuem para os pontos de lançamento das redes pluviais são as principais responsáveis pelo impacto provocado pelos esgotos sanitários, sem tratamento, lançados no rio Caí, entre os km 4,5 e 7. Estes lançamentos provocam acréscimo nas concentrações de DBO, nos níveis de nitrogênio amoniacal e fósforo total e um aumento maior do que 6 vezes, nos níveis de coliformes fecais (de 180 NMP/100 ml para 1200 NMP/100 ml), na referida região, que corresponde à área urbana central.

4.3 PROPOSTAS DE IMPLANTAÇÃO DAS ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS.

No intuito de atender à legislação e alguns requisitos de sustentabilidade, como: área superficial para implantação do sistema, grau de mecanização, custos unitários de implantação e operação, mecanização do sistema e melhor qualidade do efluente tratado, simulou-se, através do modelo QUAL2K, a redução do impacto dos esgotos sanitários no manancial. Para tanto, considera-se a eficiência de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, de forma descentralizada, para o município de Feliz.

Conforme a simulação, através do modelo QUAL2K, as figuras de 55 a 66 apresentam o comportamento da qualidade das águas no rio, com e sem tratamento dos esgotos, no trecho em estudo (figura 44), comparando-os com os limites máximos estabelecidos, para cada classe de uso, pela Resolução 357/2005, do CONAMA. O objetivo foi verificar se o trecho entre os pontos 1 e 3, atende à classificação estabelecida pelo enquadramento do rio Caí, classe 2, após o tratamento dos esgotos de forma descentralizada, de 53% a 100% da população da área urbana do município de Feliz, e quais são os parâmetros que continuam impactando este trecho.

As vazões aplicadas nas simulações foram às vazões mínimas e máximas do período de coleta, de 06/12/10 a 28/02/11, 6,89 m³/s e 61,89 m³/s, respectivamente (Tabela 7).

A tabela 11 apresenta os sistemas de tratamento de esgotos domésticos mais sustentáveis e suas eficiências para a remoção dos parâmetros DBO, fósforo, nitrogênio e coliformes fecais, propostos para o município de Feliz, de acordo com a literatura (JORDÃO; VOLSCHAN JÚNIOR, 2009; VON SPERLING, 2005). Os sistemas de tratamento de esgotos domésticos, com diferentes níveis de eficiência para remoção dos parâmetros citados foram adotados, considerando sua eficiência e os conceitos de sustentabilidade, para os diferentes bairros e localidades do município.

Tabela 11: Eficiência de remoção dos parâmetros simulados, de acordo com os sistemas de tratamento de esgoto sanitário propostos para os bairros e localidades municipais.

Sistemas de tratamento	DBO (%)	Fósforo (%)	Nitrogênio (%)	Coliformes fecais (%)
Terras úmidas construídas (wetlands)	90	30	50	99
UASB e filtro anaeróbio	87	30	40	99
Tanque séptico e infiltração	95	60	70	99

(Fonte: Adaptado de JORDÃO; VOLSCHAN JÚNIOR, 2009; VON SPERLING, 2005)

A figura 52 apresenta as alternativas mais sustentáveis de sistemas de tratamento de esgotos descentralizados, propostos para o município de Feliz, atendendo aos bairros e localidades da zona urbana. O Centro e o bairro Vila Rica seriam atendidos, individualmente, pelo sistema Wetlands, pois nestes bairros há disponibilidade de áreas para o sistema ser implantado, além da topografia e do baixo grau de mecanização necessário. Os bairros, Vale do Hermes, Bela Vista, Bom Fim, parte do Centro, Morro das Batatas/Picão seriam atendidos pelo sistema UASB e Filtro Anaeróbio. O bairro Matiel e a localidade de Escadinhas/urbana seriam atendidos pelo sistema UASB e Filtro Anaeróbio. Os sistemas propostos para os referidos bairros foram escolhidos em função da pequena área disponível no local, pelo baixo grau de mecanização necessário, e pela não utilização de energia elétrica. A alternativa proposta para a localidade de Picada Cará é o tratamento através do sistema de Tanque Séptico e Infiltração, em função da baixa vazão de esgotos produzidos pela comunidade, pela topografia e simplicidade de operação e baixa manutenção requerida pelo sistema.

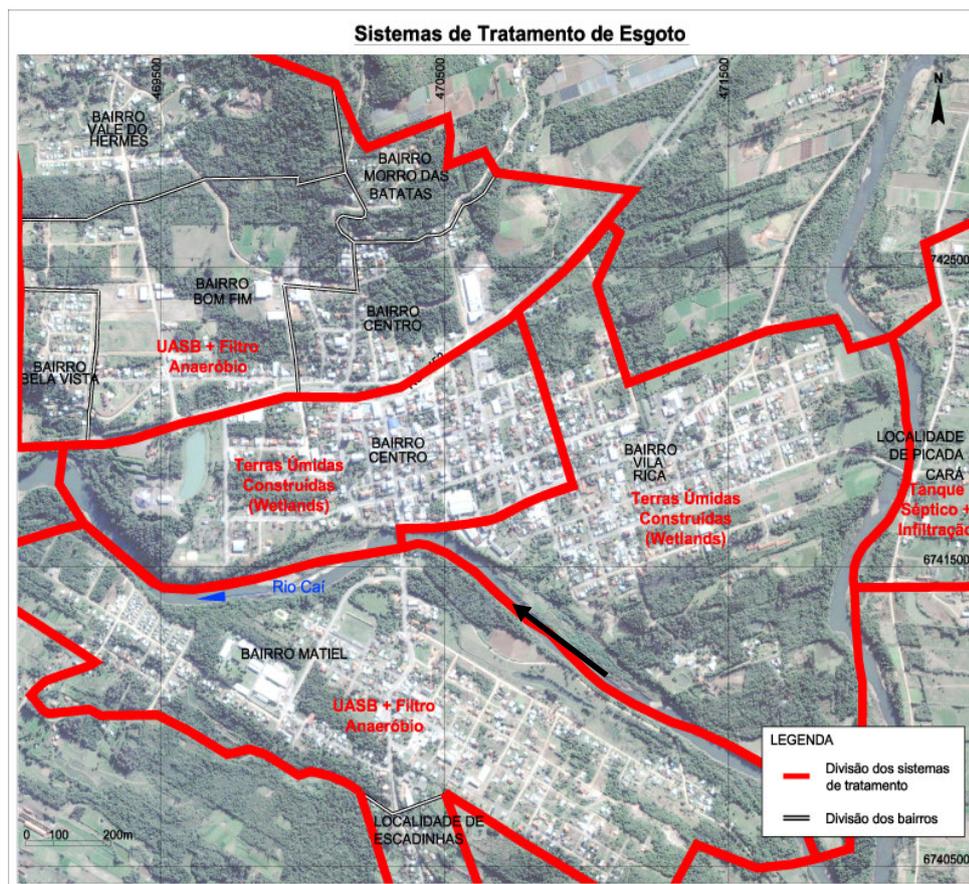


Figura 52: Sistemas de tratamento de esgotos propostos nos bairros e localidades, na área urbana do município de Feliz.

4.3.1 Simulação da qualidade da água no trecho do rio Caí, após a implantação das alternativas sustentáveis de tratamento de esgoto sanitário.

4.3.1.1 Simulações com base na vazão mínima, $6,89 \text{ m}^3/\text{s}$: sem tratamento de esgoto, com 53% e 100% dos esgotos sanitários tratados.

A figura 53 apresenta a localização de 2 pontos, pontos 01 e 06, onde estão sendo lançados os esgotos tratados, individualmente, do Centro e bairro Vila Rica, com o emprego do sistema de tratamento terras úmidas construídas (Wetlands), pontos que representam 53% do esgoto da área urbana do município de Feliz, e os pontos de lançamento das águas pluviais no rio Caí, no trecho em estudo.

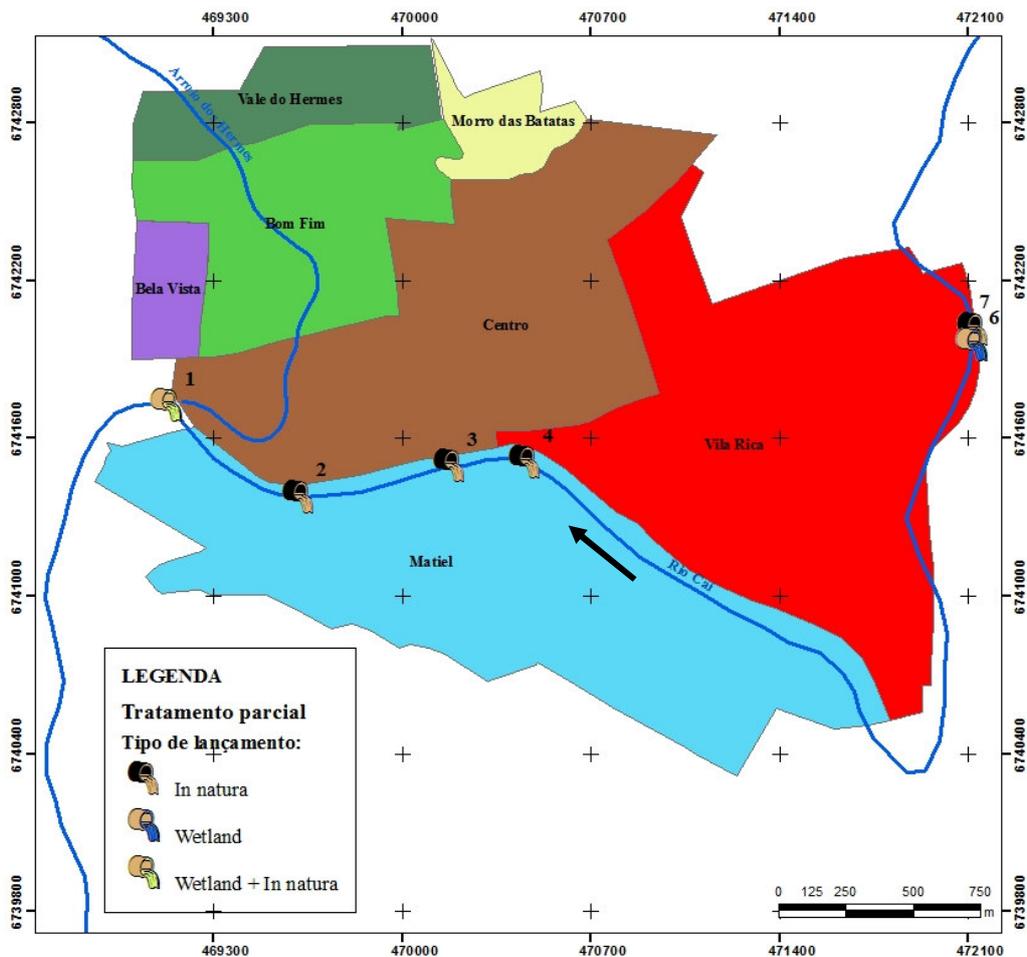


Figura 53: Pontos de lançamento das redes pluviais e dos efluentes tratados no rio Caí.

A figura 54 apresenta os locais dos 04 pontos, onde estão sendo lançados os efluentes tratados do município de Feliz. O ponto 01 recebe os efluentes tratados do Centro, pelo sistema Wetlands, e dos bairros Vale do Hermes, Bela Vista, Bom Fim, parte do Centro, Morro das Batatas/Picão, pelo sistema UASB e Filtro Anaeróbio.

O ponto 2 recebe os efluentes tratados do bairro Matiel e da localidade de Escadinha (urbana), através do sistema UASB e Filtro Anaeróbio. Os pontos 6 e 7 recebem, respectivamente, os efluentes do bairro Vila Rica, cujo tratamento é através do sistema Wetlands e da localidade de Picada Cará, através de Tanque Séptico e Infiltração.

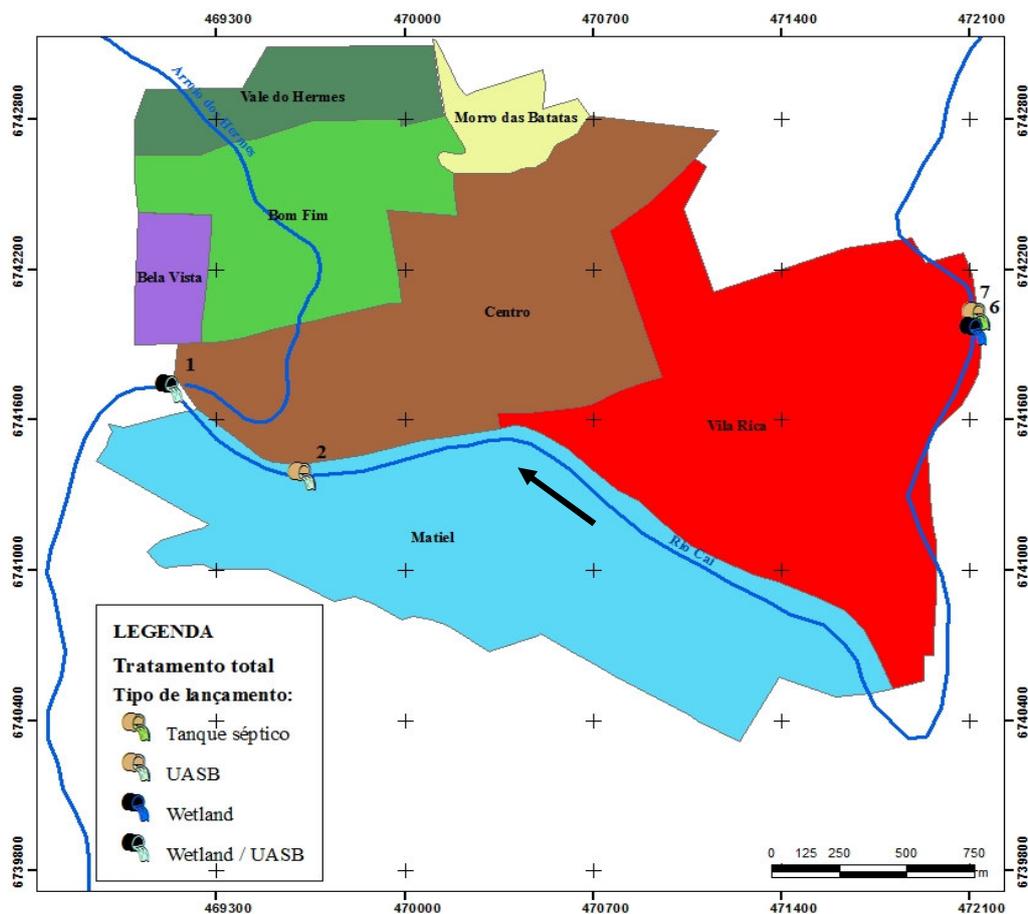


Figura 54: Pontos de lançamento dos esgotos tratados do município de Feliz, no rio Caí.

As figuras 55 a 60 apresentam as simulações do comportamento da qualidade das águas no rio Caí, com vazão de $6,89 \text{ m}^3/\text{s}$, sem tratamento dos esgotos domésticos, com 53% e 100% de tratamento dos esgotos domésticos da área urbana do município, para os parâmetros DBO, OD, coliformes fecais, nitrogênio amoniacal, nitrato e fósforo total.

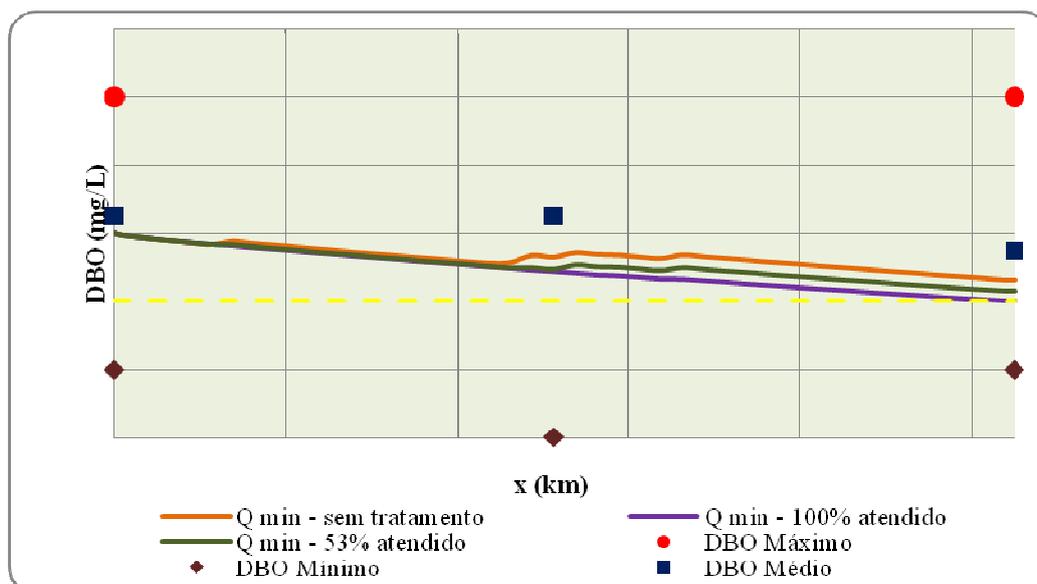


Figura 55: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites para cada classe de uso, para o parâmetro DBO. O valor máximo de DBO no ponto 2 é 12 mg/L.

No ponto de entrada do trecho estudado, ponto zero da figura 55, ponto de coleta 1, as condições de simulação são: vazão de 6,89 m³/s e nível de DBO igual a 6 mg/L.

Para a situação em que não há tratamento de esgotos domésticos, pode-se observar, na figura 55, entre os km 1,5 a 2, que os níveis de DBO tiveram um pequeno acréscimo, devido aos lançamentos dos pontos de drenagem 6 e 7, da figura 45, decaindo até o quilômetro 5.

No trecho seguinte há variações nos níveis de DBO, até o km 7, devido aos diversos pontos de lançamentos das águas pluviais, localizados junto à zona central urbana (figura 45). A partir do km 7, até o km 10,5, há o decaimento dos níveis de DBO.

Após a implantação do sistema descentralizado de tratamento de esgotos domésticos, sistema Wetlands, que atende individualmente a parte do Centro e o bairro Vila Rica, com tratamento de esgotos de 53% da população da zona urbana do município, verifica-se, através da figura 55, que houve um decaimento dos níveis de DBO, desde o ponto zero, até o km 5,5.

No próximo trecho, há acréscimo dos níveis de DBO, até o km 7 (figura 53), devido ao lançamento das águas pluviais provenientes do Bairro Matiel, pontos 2 e 3 e de parte do Centro, ponto 4. Os efluentes do ponto 1 são oriundos dos bairros Vale do Hermes, Bela Vista, Bom Fim, Morro das Batatas/Picão. A partir do km 7 há o decaimento dos níveis de DBO, chegando a 5,2 mg/L, no ponto km 10,5 .

Já, o tratamento de 100% dos esgotos domésticos da região urbana do município reduziu sensivelmente os níveis de DBO nos 10,5 km estudados, passando de 6 mg/L para 5 mg/L, limite entre as classes 2 e 3.

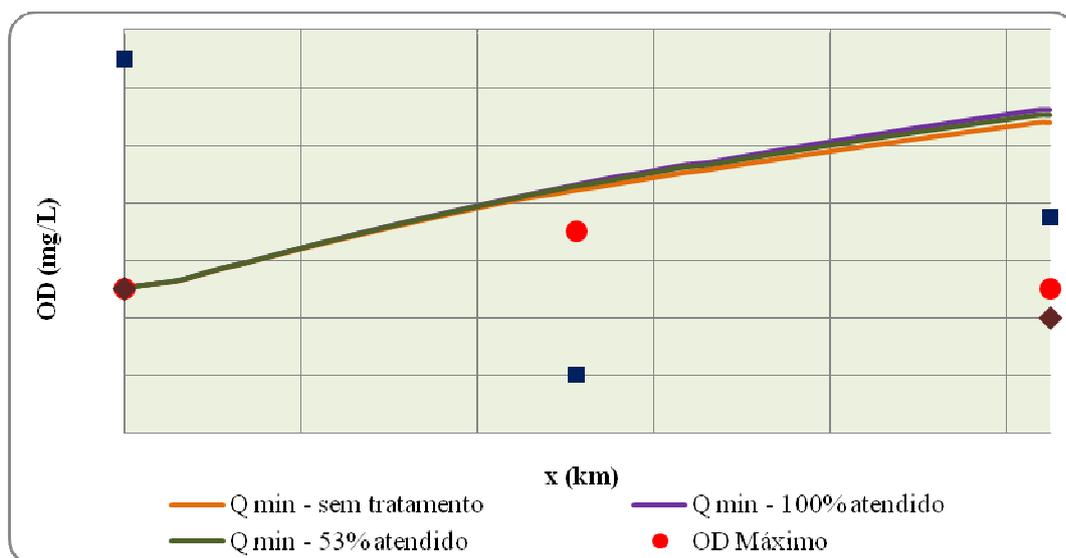


Figura 56: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites para cada classe de uso, para o parâmetro OD. O valor máximo de OD no ponto 1 é 8,6 mg/L.

No ponto zero da figura 56, ponto de coleta 1, as condições de simulação são: vazão de 6,89 m³/s e nível de OD igual a 6,5 mg/L, parâmetro classificado em classe 1.

Para a simulação em que não há tratamento de esgotos domésticos, observa-se, na figura 56, que, próximo ao km 1,0, houve uma pequena oscilação nos níveis de OD, sendo que, após este ponto, até o km 10,5 os níveis de OD cresceram de, aproximadamente, 6,52 mg/L, para 7,08 mg/L.

Após a implantação dos sistemas descentralizados de tratamento de esgotos sanitários, que atendem individualmente parte do Centro e o bairro Vila Rica, através do sistema Wetlands, totalizando 53% da população e os sistemas de tratamento que atendem 100% da população da região urbana do município, observa-se que há um pequeno acréscimo nos níveis de OD, desde o ponto de entrada, até o km 10,5.

Quando comparadas as três simulações, entre si, observa-se que o tratamento dos esgotos teve uma pequena influência no acréscimo de OD. No km 10,5, o parâmetro OD mede aproximadamente 7,08 mg/L, para a simulação sem tratamento, 7,1 mg/L para a simulação com 53% de tratamento, e 7,12 mg/L, para a simulação com 100% de tratamento.

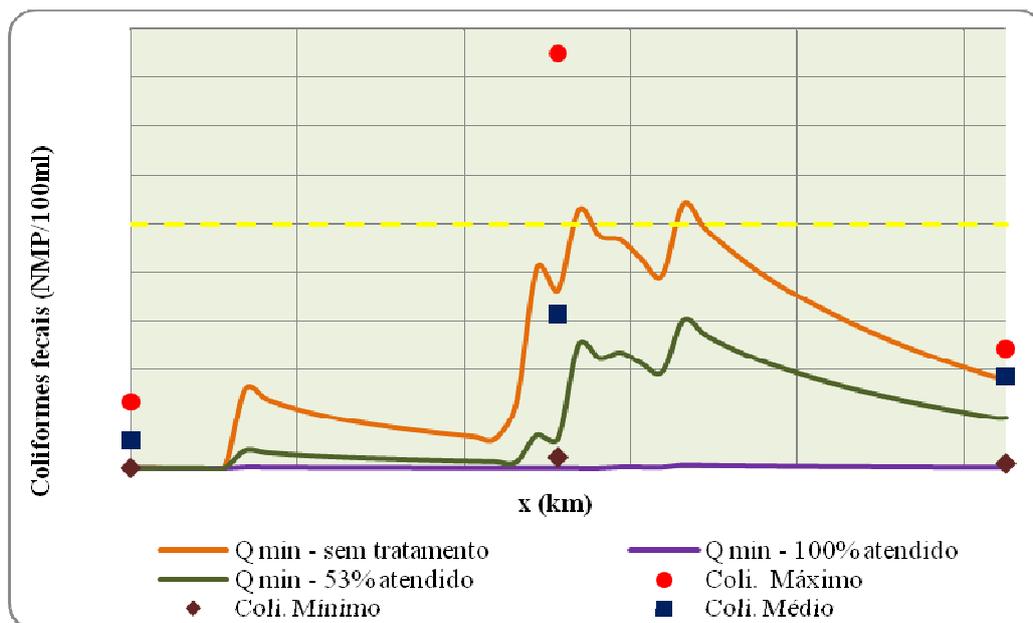


Figura 57: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites para cada classe de uso, para o parâmetro Coliforme fecais.

As condições de simulação no ponto zero da figura 57 são: vazão de $6,89 \text{ m}^3/\text{s}$ e nível de Coliformes fecais igual a $2 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$.

Para a condição em que não há tratamento de esgotos domésticos, pode-se observar, na figura 57, entre os km 1,5 a 2, que houve um aumento nos níveis de coliformes fecais, devido aos lançamentos dos pontos de drenagem 6 e 7 (figura 45), decaindo até o km 5. No trecho entre os km 5 e 7, observa-se que há um aumento nos níveis de coliformes, com oscilações, cujos picos máximos estão localizados nos pontos de lançamento das cargas poluentes, junto à área central urbana (figura 45). A partir do km 7, até o km 10,5, há o decaimento dos níveis de coliformes fecais.

Após a implantação do sistema descentralizado de tratamento de esgotos domésticos, que atende 53% da população da zona urbana, verifica-se, através da figura 57, que houve um decaimento dos níveis coliformes entre os km 1,5 e 5. No trecho entre os km 5 e 7, observa-se oscilações nos níveis de coliformes, cujos picos máximos estão localizados nos pontos de lançamento de drenagem pluvial, junto à área central urbana (figura 45). A partir do km 7, até o km 10,5, há o decaimento dos níveis de coliformes fecais. O parâmetro coliforme fecais, após o tratamento de 53% dos esgotos da região urbana, enquadra-se em classe 2, nos 10,5 km do rio Caí, que banha o município de Feliz, atendendo ao enquadramento estabelecido pelo Comitê de Bacia.

O tratamento de 100% dos esgotos sanitários da região urbana do município reduziu sensivelmente os níveis de coliformes fecais, enquadrando-se em classe 1, nos 10,5 km estudados, pois os níveis de coliformes estão abaixo de 200 NMP/100 mL, limite máximo para classe 1.

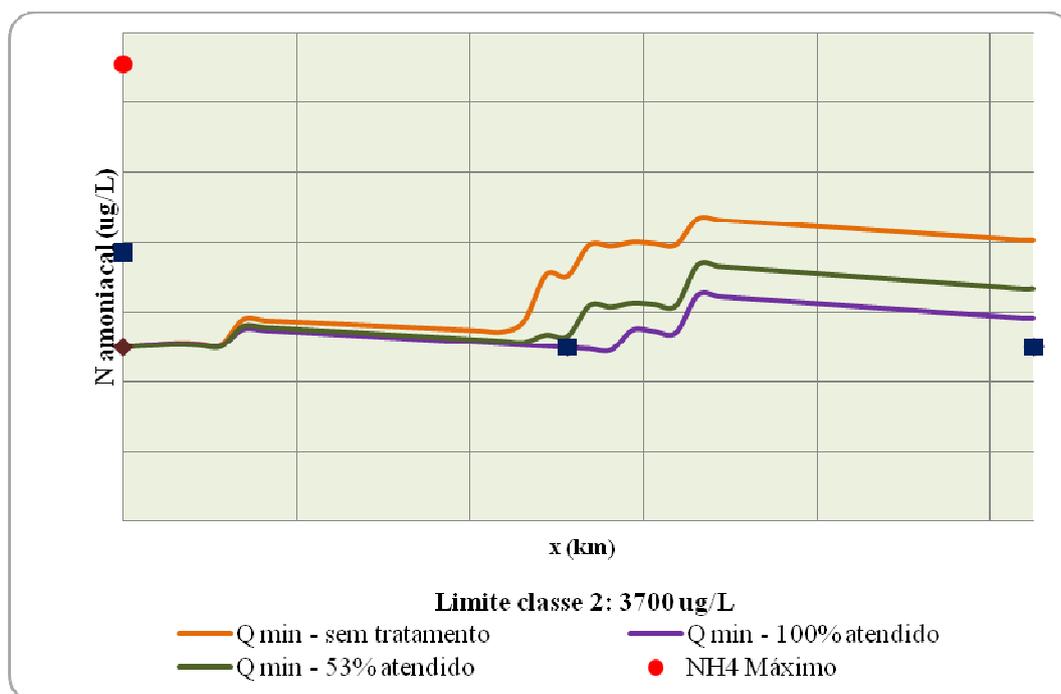


Figura 58: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites para cada classe de uso, para o parâmetro nitrogênio amoniacal. Os valores máximos, nos pontos 2 e 3, são 200 µg/L.

Para o parâmetro nitrogênio amoniacal, o ponto de entrada do trecho estudado, ponto zero da figura 58, ponto de coleta 1, tem, como condições de simulação, a vazão de 6,89 m³/s e nível nitrogênio amoniacal de 200 µg/L.

Segundo a figura 58, todas as simulações, referente ao parâmetro nitrogênio amoniacal, estão abaixo do parâmetro limite estabelecido pelo enquadramento neste trecho, classe 2, cujo valor máximo é 3700 µg/L. As simulações referentes ao parâmetro nitrogênio amoniacal enquadram-se na Classe 2, atendendo à classificação estabelecida pelo Comitê de Bacia.

Pode-se observar que, apesar de o parâmetro estar abaixo do limite máximo para a classe 2, há uma elevação nos níveis de nitrogênio amoniacal, no km 1,5. Entre os km 5 a 7, há acréscimo nos níveis de nitrogênio amoniacal, devido aos pontos de lançamento, dos esgotos sem tratamento (figura 45), dos efluentes dos sistemas de tratamento de esgoto da região central

urbana (figuras 53 e 54). Posteriormente, há um decaimento nos níveis deste parâmetro, para as três simulações.

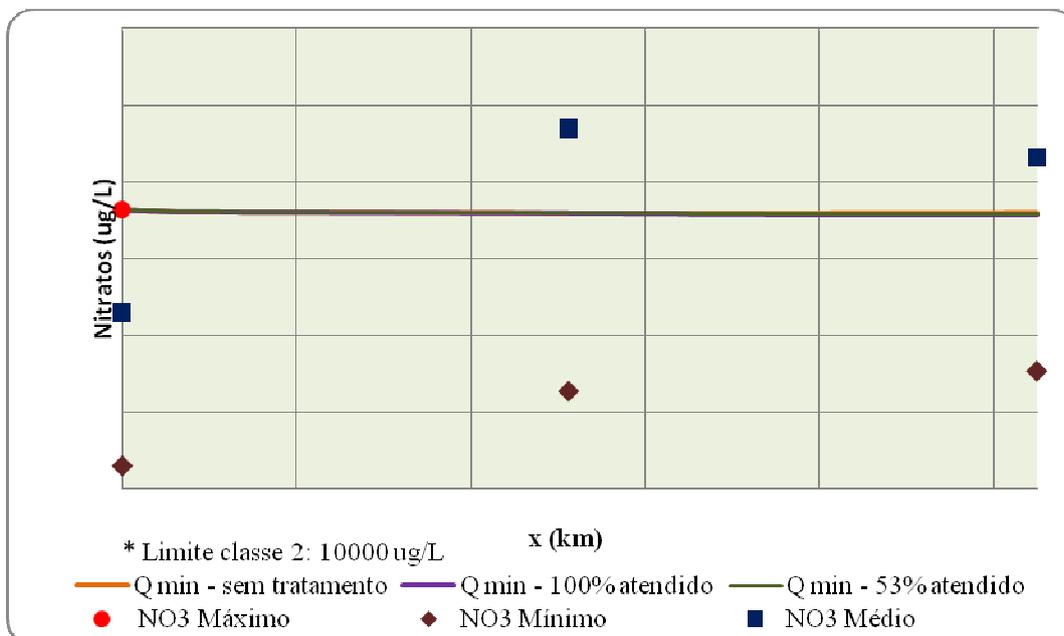


Figura 59: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro nitrato. Os valores máximos, nos pontos 2 e 3, são 1643 ug/L e 1504 ug/L, respectivamente.

Para o parâmetro Nitrato, figura 59, as condições de simulação no ponto zero são: vazão de 6,89 m³/s e o nível de nitrato igual a 914 ug/L.

As diversas simulações referentes ao parâmetro Nitrato, mostradas na figura 59, apresentam um mesmo comportamento, em todo o trecho da área de estudo, mantendo-se o nível de Nitrato constante, em todo o trecho do rio.

Todas as simulações referentes ao parâmetro nitrato estão abaixo do limite de 10.000 ug/L; portanto, enquadram-se na classe 2, atendendo à classificação estabelecida pelo enquadramento definido pelo Comitê de Bacia.

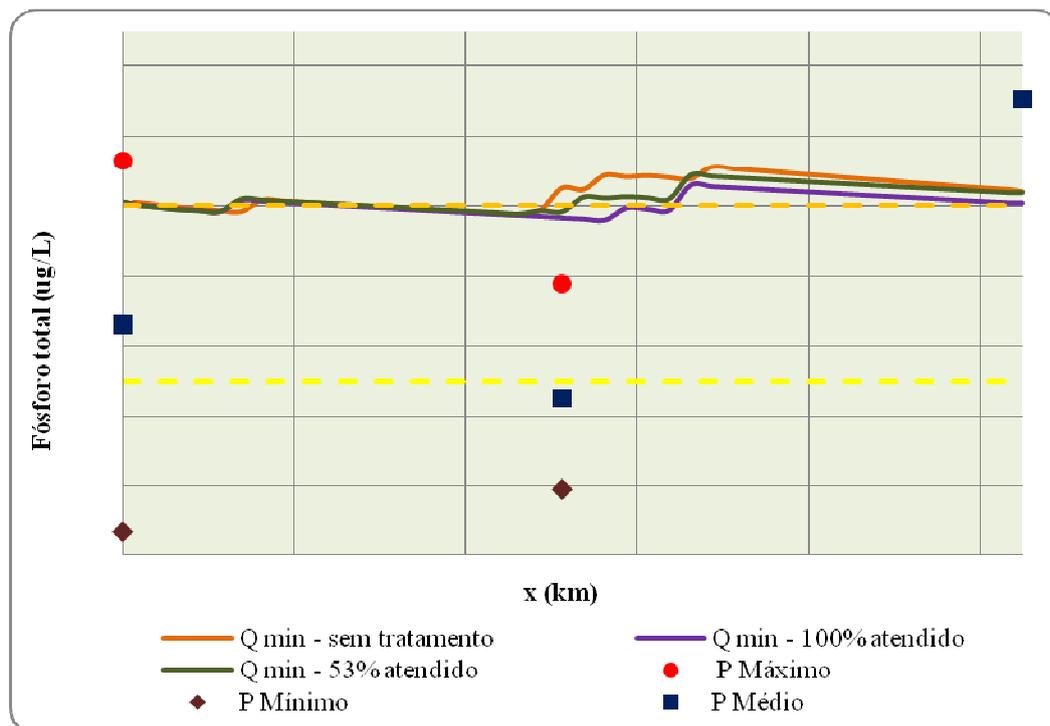


Figura 60: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro fósforo total. O valor máximo, no ponto 3 é 375 µg/L.

No ponto de entrada do trecho estudado, ponto zero da figura 60, ponto de coleta 1, as condições de simulação são: vazão de 6,89 m³/s e nível de fósforo total igual a 150 µg/L.

As simulações referentes ao parâmetro, fósforo total, mostram que, após o ponto de lançamento dos efluentes há um aumento dos níveis de fósforo, para as três condições analisadas. O acréscimo dos níveis de fósforo total acontece de forma gradual, entre os km 5 e 7, sendo maior na condição sem tratamento, decaindo para as condições em que 53% e 100% dos esgotos recebem tratamento.

Nas três simulações, o parâmetro em estudo tangencia os limites da classe 3, até o km 5. Pode-se observar que, a partir do ponto 5, os lançamentos das cargas poluentes causam impacto no manancial e a qualidade das águas começa a mudar de classe de uso, à medida que recebem as cargas dos efluentes dos esgotos da região central; portanto, o parâmetro fósforo não atende o enquadramento.

4.3.1.2 Simulações com base na vazão máxima, 61,89 m³/s: sem tratamento de esgoto, com 53% e 100% dos esgotos domésticos tratados.

As figuras 61 a 66 apresentam as simulações do comportamento da qualidade das águas no rio Caí, com vazão de 61,89 m³/s, sem tratamento dos esgotos domésticos, com 53% e 100% de

tratamento dos esgotos domésticos da área urbana do município, para os parâmetros DBO, OD, coliformes fecais, nitrogênio amoniacal, nitrato e fósforo total.

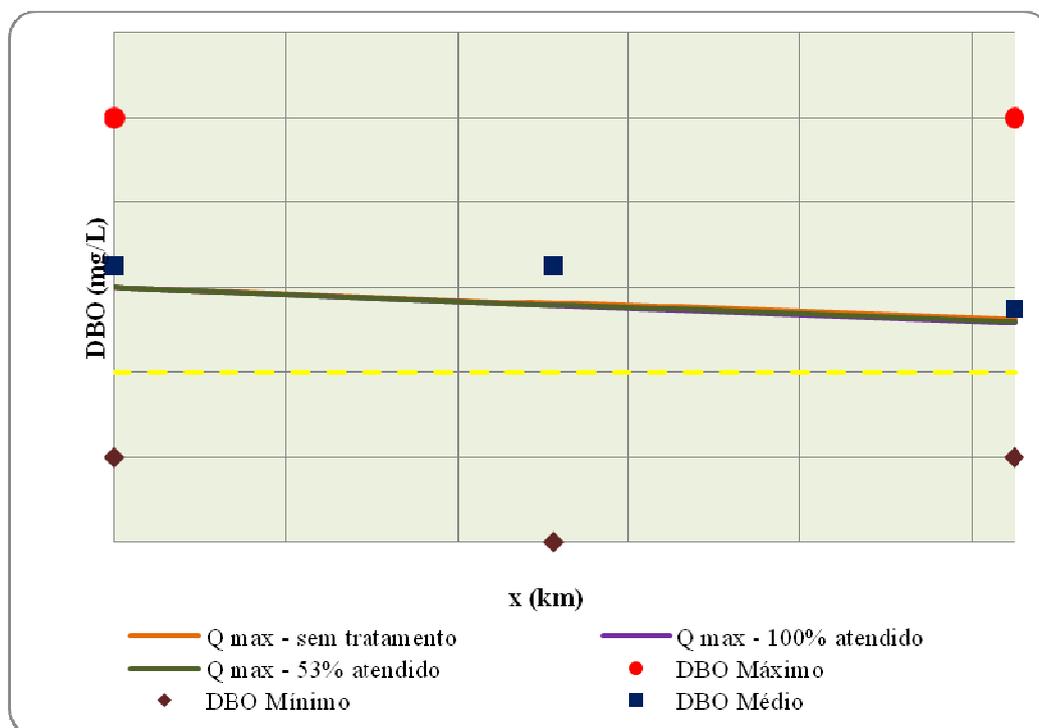


Figura 61: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro DBO. O valor máximo de DBO, no ponto 2, é 12 mg/L, medido no dia 03/01/11.

No ponto de entrada do trecho estudado, ponto zero da figura 61, ponto de coleta 1, as condições de simulação são: vazão de 61,89 m³/s e nível de DBO igual a 6 mg/L.

Pode-se observar que a qualidade das águas possui um mesmo comportamento, para as três simulações realizadas, sem tratamento de esgotos, com tratamento de 53% dos esgotos e com 100% dos esgotos tratados, mostrando uma redução dos níveis de DBO de 6 mg/L para 5,6 mg/L, mas ultrapassando a classe 2, do CONAMA 357/2005; portanto, não atende ao enquadramento proposto pelo Comitê.

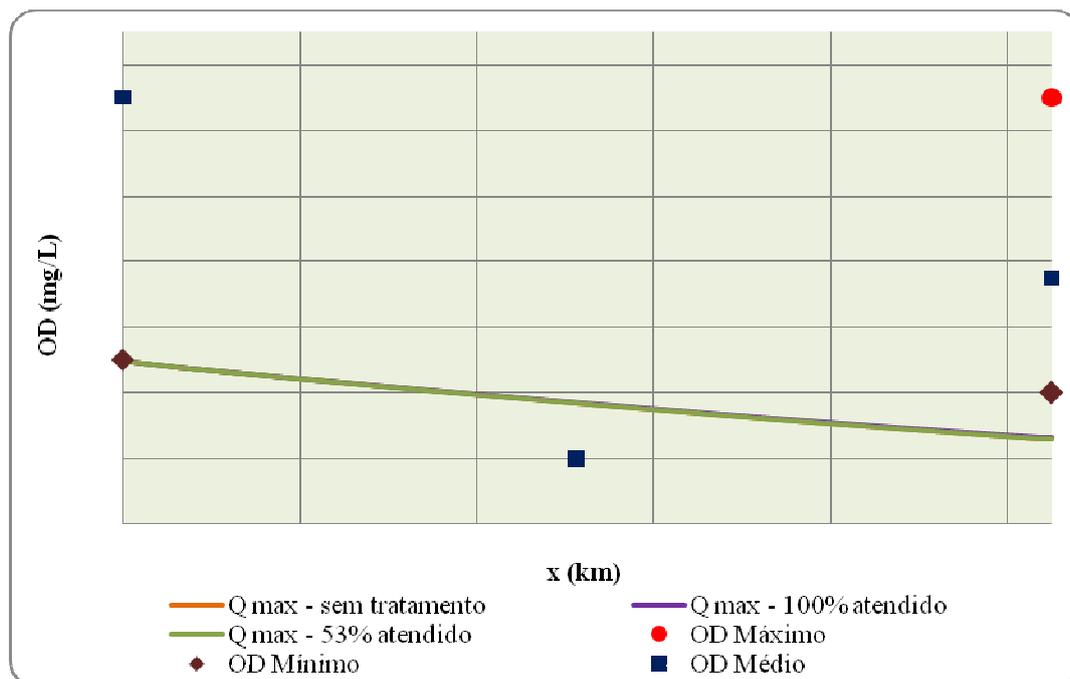


Figura 62: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro OD. Os valores máximos de OD, no ponto 1 e 2, são 8,6 mg/L e 7,8 mg/L, respectivamente.

No ponto zero da figura 62, ponto de coleta 1, as condições de simulação são: vazão de 61,89 m³/s e nível de OD igual a 6,5 mg/L, parâmetro classificado em classe 1.

Pode-se observar que a qualidade das águas simuladas possui um mesmo comportamento para as três condições, sem tratamento de esgotos, com tratamento de 53% dos esgotos e com 100% dos esgotos tratados, reduzindo os níveis de OD de 6,5 mg/L, para 6,25 mg/L.

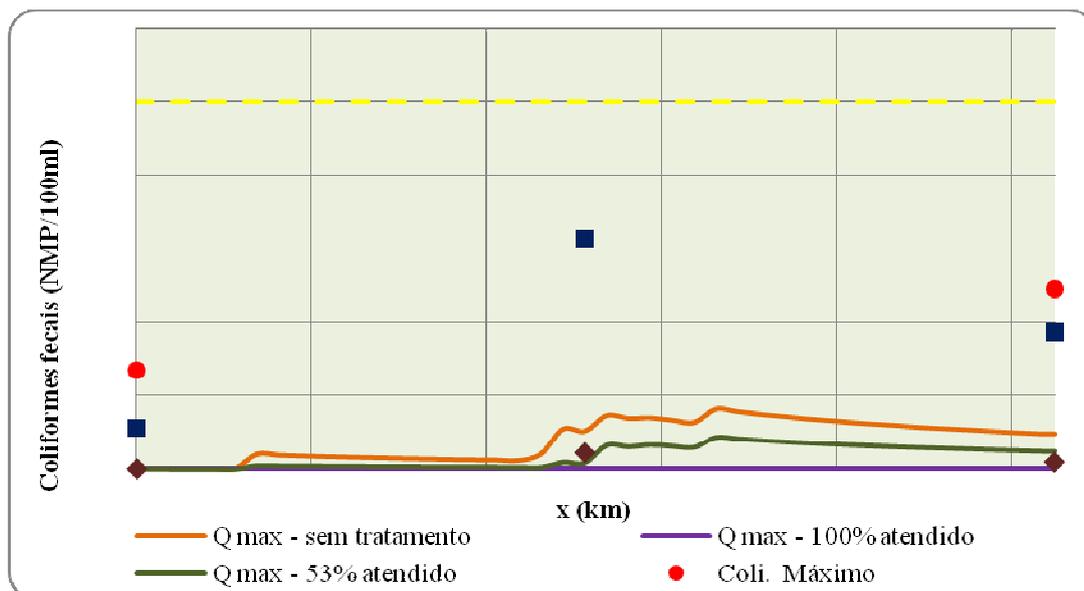


Figura 63: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro coliforme fecais. O valor máximo de coliformes fecais, no ponto 2, é 1700 NMP/100mL.

As condições de simulação no ponto zero da figura 63, são: vazão de 61,89 m³/s e nível de coliformes fecais igual a 2 NMP/100 mL.

Para a condição em que não há tratamento de esgotos domésticos, pode-se observar, na figura 63, a partir do km 1,5, um aumento nos níveis de coliformes fecais, devido aos lançamentos dos pontos de drenagem 6 e 7 (figura 45), tendo um pequeno decaimento até o km 5. No trecho entre os km 5 e 7, observa-se que há um aumento nos níveis de coliformes, com oscilações, cujos picos máximos estão localizados nos pontos de lançamento das cargas poluentes, junto à área central urbana, figura 45. A partir do km 7, até o km 10,5, há um decaimento dos níveis de coliformes fecais.

Após a implantação do sistema descentralizado de tratamento de esgotos domésticos, que atende 53% da população da zona urbana, verifica-se, através da figura 63, que os níveis de coliformes mantiveram-se baixos até o km 5. No trecho entre os km 5 e 7, observa-se oscilações nos níveis de coliformes, cujos picos máximos estão localizados nos pontos de lançamento de drenagem pluvial, junto à área central urbana (figura 45). A partir do km 7, até o km 10,5, há o decaimento dos níveis de coliformes fecais. O parâmetro coliforme fecais, após o tratamento de 53% dos esgotos da região urbana, nos 10,5 km do rio Caí que banha o município de Feliz, atende o enquadramento estabelecido pelo Comitê de Bacia, classe 2.

O tratamento de 100% dos esgotos domésticos da região urbana do município reduziu sensivelmente os níveis de coliformes fecais, enquadrando-se em classe 1, nos 10,5 km estudados, pois os níveis de coliformes estão abaixo de 200 NMP/100 mL, limite máximo para classe 1.

Para a vazão de 61,89 m³/s, os níveis de coliformes fecais, para as três condições simuladas estão abaixo de 200 NMP/100 mL, limite máximo para classe 1.

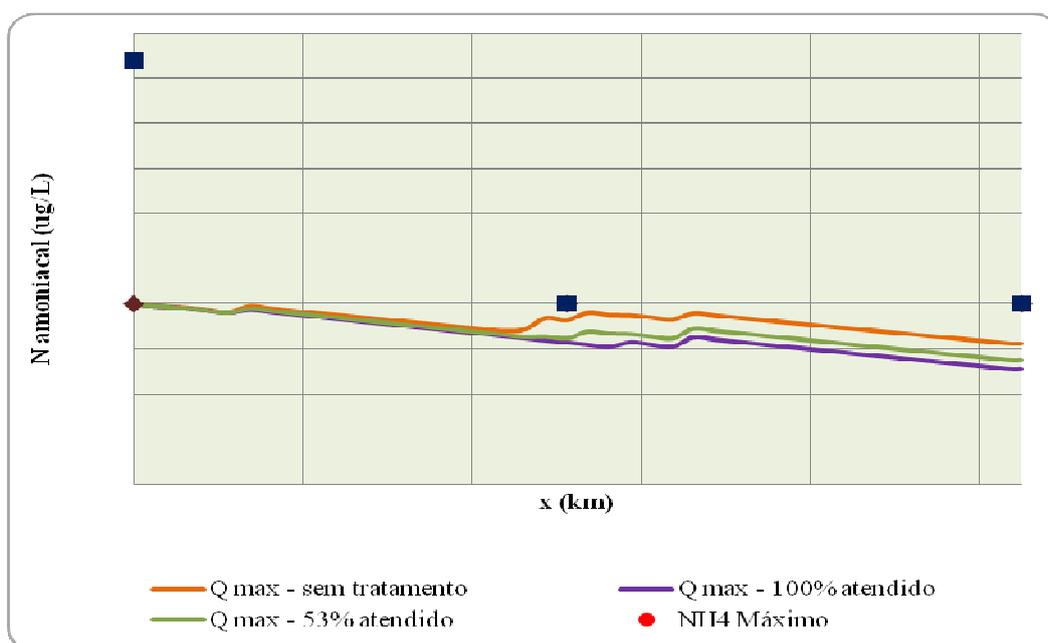


Figura 64: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro nitrogênio amoniacal. Os valores máximos, nos pontos 2 e 3, são 200 ug/L.

Para o parâmetro nitrogênio amoniacal, o ponto de entrada do trecho estudado, ponto zero da figura 64, ponto de coleta 1, possui como condições de simulação a vazão de 61,89 m³/s e nível N amoniacal de 200 ug/L.

Conforme a figura 64, todas as simulações, referente ao parâmetro nitrogênio amoniacal, estão abaixo do parâmetro limite estabelecido pelo enquadramento neste trecho, classe 2, cujo valor máximo é 3700 ug/L. As simulações referentes ao parâmetro N amoniacal enquadram-se na classe 2, atendendo à classificação estabelecida pelo enquadramento definido pelo Comitê de Bacia.

Pode-se observar que, apesar do parâmetro estar abaixo do limite máximo para a classe 2 há uma elevação nos níveis de nitrogênio amoniacal no km 1,5. Entre os km 5 a 7, há acréscimo

nos níveis de N amoniacal, devido aos pontos de lançamento dos esgotos sem tratamento (figura 45), dos efluentes dos sistemas de tratamento de esgoto da região central urbana (figuras 53 e 54). Posteriormente, há um decaimento nos níveis deste parâmetro, para as três simulações.

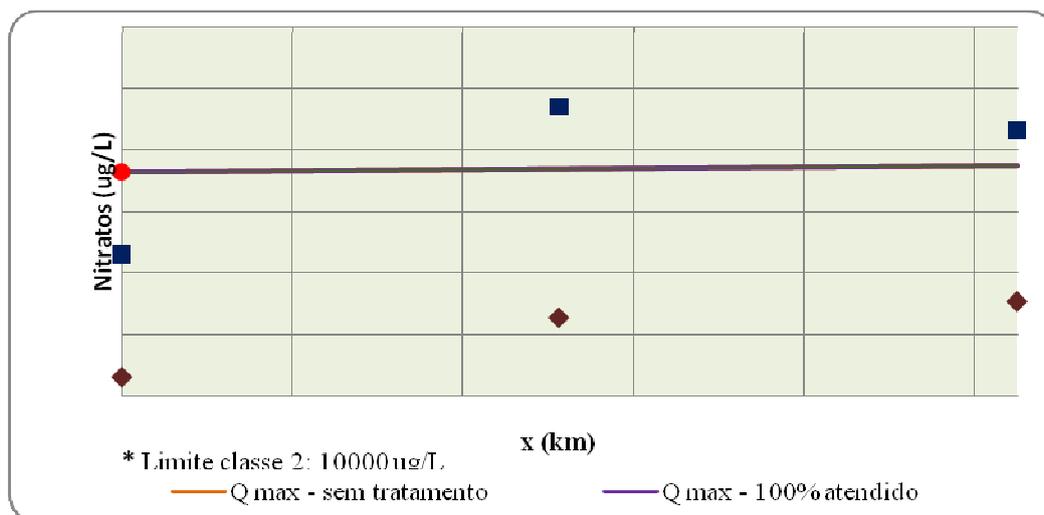


Figura 65: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro nitrato. Os valores máximos, nos pontos 2 e 3, são 1643 ug/L e 1504 ug/L, respectivamente.

Para o parâmetro nitrato (figura 65), as condições de simulação, no ponto zero, são: vazão de 61,89 m³/s e o nível de nitrato igual a 914 ug/L.

As três simulações referentes ao parâmetro nitrato, mostradas na figura 65, apresentam um mesmo comportamento, um pequeno acréscimo nos níveis de nitrato, ao longo dos 10,5 Km do rio que banha o município de Feliz.

Todas as simulações referentes ao parâmetro nitrato estão abaixo do limite de 10.000 ug/L; portanto, enquadram-se na classe 2, atendendo à classificação estabelecida pelo enquadramento definido pelo Comitê de Bacia.

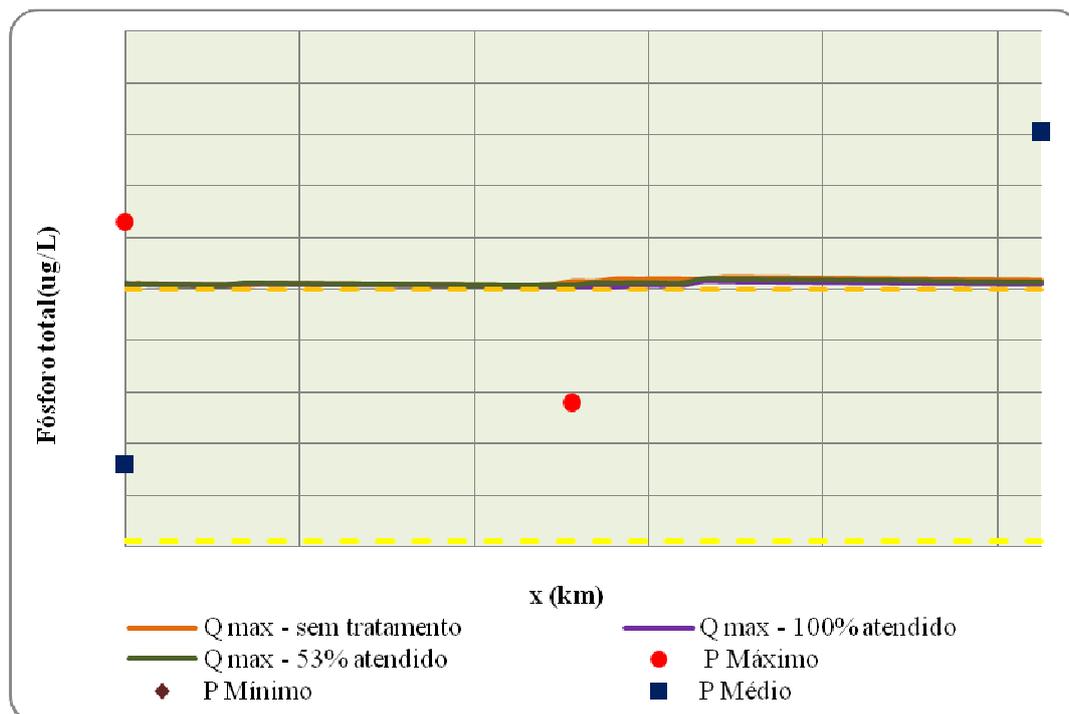


Figura 66: Comparação entre os dados simulados, os observados e os limites, para cada classe de uso, para o parâmetro fósforo total. O valor máximo no ponto 3 é 375 ug/L.

No ponto de entrada do trecho estudado, ponto zero da figura 66, ponto de coleta 1, as condições de simulação são: vazão de 61,89 m³/s e nível de fósforo total igual a 150 ug/L.

Nas três simulações, o parâmetro em estudo tangencia os limites da classe 3, até o km 5. Observa-se que, a partir do km 5, os lançamentos dos efluentes, mesmo tratados, impactam o manancial, pois há um aumento dos níveis de fósforo, para as três condições. Este acréscimo nos níveis de fósforo faz com que a classe de uso da água se altere, a partir do km 5, não atendendo ao enquadramento proposto.

É premente observar que o tratamento dos esgotos sanitário da região urbana do município de Feliz melhora sensivelmente as condições do manancial hídrico que banha o município. Os sistemas de tratamento de esgotos sanitários propostos atingem plenamente aos seus objetivos, que é tratar os esgotos sanitários urbanos de forma mais sustentável e reduzir os níveis dos parâmetros analisados: DBO, OD, coliformes fecais, nitrato, nitrogênio amoniacal e fósforo total, aos níveis aceitáveis pelas legislações ambientais e de recursos hídricos. A exceção foram os parâmetros DBO e fósforo total, que apesar de haver um decaimento nestes, os mesmos não atingiram os limites estabelecidos para o enquadramento do trecho estudado, classe 2.

O parâmetro DBO, para a condição de simulação com vazão de 6,89 m³/s e tratamento de 53% dos esgotos, tem uma redução 13,3%, enquanto que os esgotos com 100% de tratamento têm uma redução, nos seus índices, de 16,7%. O parâmetro fósforo total, para as condições de 53% e 100% de tratamento, não reduz os seus níveis, pois recebe cargas poluentes e de efluentes tratados no trecho em estudo.

Para a condição de simulação com vazão de 61,89 m³/s e 53% e 100% de tratamento de esgoto, o parâmetro DBO reduz seus níveis em 6,7%, enquanto que o nível de fósforo total é igual a 150 ug/L, nos 10,5 km do rio.

Apesar de os níveis de DBO reduzirem, estes não conseguiram atingir a legislação, Classe 2. A presença de DBO elevada no início da área estudada, pode ser explicada pelo recebimento de cargas poluentes de montante, provenientes dos esgotos sanitários da área urbana de Caxias do Sul. Estes dados estão em conformidade com os estudos realizados por Rio Grande do Sul (2008a), bem como sobre os lançamentos da carga de esgotos a montante, publicado por Navarro, Piranha e Pacheco (2006), sobre os altos níveis de DBO, como consequência do descarte de efluentes domésticos nas imediações.

O parâmetro fósforo, não conseguiu atingir a Classe 2, proposto no enquadramento do rio para o trecho estudado. Pode-se explicar tal fato pelos altos índices de fósforo que entram na área de estudo, proveniente das cargas poluentes a montante (RIO GRANDE DO SUL, 2008a), pelo escoamento das águas superficiais, provocado pelas precipitações, e pela baixa eficiência (tabela 11) dos sistemas propostos para este parâmetro (JORDÃO; VOLSCHAN JÚNIOR, 2009; VON SPERLING, 2005).

5 CONCLUSÕES

Este capítulo busca responder como o estudo atendeu aos objetivos propostos, considerando os resultados obtidos e as limitações da metodologia aplicada.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para responder ao objetivo geral, buscou-se responder aos objetivos específicos.

Em resposta ao objetivo específico: **efetuar um levantamento de dados em busca do diagnóstico do sistema de tratamento esgotos domésticos presente na área urbana do município de Feliz** observou-se que:

A região urbana central do município de Feliz, que concentra 76% da população total do município, apresenta inexpressivos índices de cobertura do sistema de tratamento de esgotos domésticos. Embora haja o afastamento dos esgotos domésticos na zona urbana, a carência no tratamento provoca o lançamento dos esgotos *in natura* diretamente no rio Caí, através das redes de drenagem das águas pluviais.

Nos últimos 11 anos, apesar de o poder público realizar esforços para investir em esgotamento sanitário no município, não conseguiu atingir seus objetivos, visto que neste período atendeu a menos de 1% das residências da área urbana com coleta e tratamento de esgotos. Estes índices mostram que o município não atende ao artigo 23 da Constituição Federal, que estabelece como competência da União, Estados, Distrito Federal e Municípios a responsabilidade por proteger o meio ambiente, combater a poluição e promover a melhoria das condições de saneamento básico. O artigo 247, inciso 2º da Constituição Estadual do RS, que estabelece como dever do Estado e do Município o atendimento à população urbana e rural com saneamento básico, como condição de qualidade de vida, da proteção ambiental e do desenvolvimento social, também não é atendido pelo município de Feliz.

A seguir, para responder ao segundo objetivo específico: **avaliar o impacto gerado pelos esgotos sanitários urbanos no manancial hídrico do município**, constatou-se:

Uma flutuação na qualidade da água, para um mesmo ponto amostral, em função da variação das vazões. Os altos índices de DBO₅ e fósforo, constatados no ponto 1, mostram que há contribuição dos esgotos sanitários de comunidades à montante. As águas que entram no

município de Feliz estão com níveis de poluição acima do limite estabelecido pelo enquadramento do rio, Classe 2, para o Médio Caí – Trecho Alto.

No ponto 2, 75% das coletas realizadas não atendem ao enquadramento do rio, Classe 2. Observa-se que estas condições aconteceram quando as vazões foram inferiores à vazão máxima avaliada, já que esta é responsável pela diluição dos esgotos domésticos não tratados, provenientes da área central do município.

No ponto 3, 75% das coletas realizadas não atendem ao enquadramento do rio, Classe 2. Observa-se que estas condições aconteceram quando as vazões foram superiores à vazão mínima avaliada, mostrando que há interferência da massa poluente depositada na superfície da bacia e dos esgotos não tratados, que são carreados, pelas precipitações, para o rio.

De acordo com a simulação realizada, observa-se que os esgotos domésticos sem tratamento, provenientes dos pontos de lançamento das redes de águas pluviais localizadas na zona central urbana, são os principais poluentes do rio, no trecho que banha a região urbana do município de Feliz.

No que se refere ao terceiro objetivo específico: **Propor sistemas de tratamento de esgotos sanitários sustentáveis e que atendam os padrões de emissões de efluentes líquidos, permitidos pela legislação, em águas superficiais:**

Os tratamentos propostos foram *Wetlands*, UASB e Filtro Anaeróbio, e Tanque Séptico e Infiltração. Cumpre ressaltar que as peculiaridades geográficas e populacionais foram respeitadas e determinantes para a indicação do tratamento proposto, para cada localidade ou bairro. A simulação mostrou que os sistemas de tratamento propostos são efetivos, no sentido de tratar os esgotos domésticos urbanos, de forma mais sustentável e reduzir os níveis dos parâmetros analisados: DBO, OD, coliformes fecais, nitrato, nitrogênio amoniacal e fósforo total, aos níveis aceitáveis pelas legislações ambientais e de recursos hídricos.

Para os níveis de DBO e fósforo total, que entram na área de estudo com elevados valores, provenientes de cargas poluentes a montante do município, houve um decaimento de seus níveis após o tratamento de 53% e 100% dos esgotos, porém não aos níveis estabelecidos pelo enquadramento do trecho estudado, classe 2.

Para atender ao objetivo geral deste trabalho: **Propor alternativas sustentáveis de sistemas de tratamento de esgotos sanitários urbanos para municípios de pequeno porte, visando**

à **melhoria da qualidade dos recursos hídricos**, é indispensável considerar, entre outros aspectos, a população atendida, as peculiaridades geográficas e o diagnóstico do sistema de esgotamento sanitário do município em questão. Além disso, é imperioso avaliar a viabilidade dos sistemas propostos, especialmente no que se refere à sua eficácia e aos custos de implantação. Neste sentido, a busca pela sustentabilidade foi baseada no fato de que as alternativas propostas levaram em consideração os baixos requisitos de área, baixo grau de mecanização, simplicidade operacional e de manutenção, adequados ao atendimento das legislações, e a eficácia, por sua vez, foi mostrada na simulação. Sendo assim, a resposta à pergunta “É possível reduzir a níveis requeridos pela legislação, e de forma sustentável, a contaminação dos esgotos sanitários urbanos no(s) manancial(is) hídrico(s), em municípios de pequeno porte?”, é sim. É possível! Exemplo disso é o resultado deste estudo, no qual os sistemas de tratamento de esgotos sanitários propostos para implantação no município de Feliz são sustentáveis e, implantados de forma gradual, permitem otimizar os escassos recursos financeiros para o setor, garantindo o acesso aos serviços de saneamento, promovendo a saúde e a melhoria das condições ambientais a todos.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

O desenvolvimento desta pesquisa respondeu alguns questionamentos, mas limitou-se à área urbana do município de Feliz, havendo assim, a necessidade de continuidade de pesquisas deste tema em trabalhos futuros. Como sugestões são propostos:

- a) realizar o diagnóstico do sistema de esgoto sanitário rural do município de Feliz-RS;
- b) avaliar o impacto dos esgotos sanitários da área rural nos mananciais hídricos e nas águas subterrâneas do município de Feliz-RS;
- c) considerar o crescimento populacional nas propostas de alternativas sustentáveis de tratamento de esgotos sanitários, para municípios de pequeno porte.

As pesquisas com esta temática deverão promover práticas mais sustentáveis, na busca de uma visão integrada entre saúde pública, saneamento, recursos hídricos e meio ambiente.

REFERÊNCIAS¹⁶

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2003. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/topicos/879580/agencia-nacional-de-aguas>>. Acesso em: 12 maio 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2011. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 16 out. 2011.
- ÁGUA VIVA. Disponível em: <<http://www.ate.com.br/agua/noticias1.php>>. Acesso em: 07 abr. 2011.
- ANDRADE, D.F. Implementação da Educação Ambiental em Escolas: Uma Reflexão. **R. Eletr. Mestr. Educ. Ambiental**, Rio Grande, v. 4, out./dez. 2000.
- ANDREOLI, C.V. **Resíduos Sólidos do Saneamento**: Processamento, Reciclagem e Disposição Final. Curitiba: PROSAB 2, 2001.
- APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19 th ed. Washington, 1995.
- ASSMANN, B. E. S. (Org.) **Feliz**: Ontem e Hoje. 2.ed. Feliz: Gráfica Tigrapel, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.209: **Projeto de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro, 1992.
- BALBINOT, R. et al. O Papel da Floresta no Ciclo Hidrológico em Bacias Hidrográficas. **R. Setor Cienc. Agr. Amb.**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 131-149, jan./abr. 2008.
- BALKEMA, A. J. et al. Developing a Model Based Decision Support Tool for the Identification of Sustainable Treatment for Domestic Wastewater. **Water Sci. Technol.**, Oxford, v. 43, no. 7, p. 265-269, 2001.
- BASSANI, F. **Diagnóstico da Situação Atual do Sistema de Esgotos no Campus 1 da Universidade de Passo Fundo – RS**: Parâmetros Iniciais para o Projeto de uma Estação de Tratamento Compacta. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.
- BARRETO NETO, A. A.; SOUZA FILHO, C. R. Modelagem Dinâmica de Escoamento Superficial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003. Minas Gerais. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. P. 2427-2434. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.18.12/doc/18_149.pdf>. Acesso em: 25abril 2011.

¹⁶ Trabalho elaborado de acordo com as normas da PPGEC/UFRGS e ABNT (NBR 14724/2011).

BERLATO, M. A.; MOLINA, L. C. B. **Evaporação e Evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. (Boletim Técnico, 7).

BEVILACQUA, P. D. et al. Avaliação da Qualidade Sanitária de Bovinos Alimentados com Forrageira Irrigada com Esgotos Sanitários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, CD-ROM.

BONACELLA, P. A. **A Poluição das Águas**. São Paulo: Moderna, 1990.

BONATTO, A. Uma Alternativa para o Esgotamento Sanitário em Áreas Periféricas no Município de Curitiba-Paraná. **R. Espaço Saúde**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 164-195, jun. 2000.

BORJA, A. G.; NEGREIROS, I. Sistema de Tratamento Bio-Ecológico de Esgoto Sanitário Doméstico: Condomínio Residencial Ephygênio Salles em Manaus- AM. In: ENCONTRO NACIONAL, 5., ENCONTRO LATINO-AMERICANO, 3., SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS. **Anais...**, Recife, ELECS, 2009.

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

BRASIL. Câmara dos Deputados. **I Conferência Nacional de Saneamento Ambiental**. Brasília, 2000.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Guia para a Elaboração de Planos Municipais de Saneamento**. Brasília: Ministério das Cidades, 2006a.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS**. Brasília: SNSS, 2004.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento

(PMSS). A Implementação da Lei 11.445/2007: Construindo um Novo Ciclo com Base na Ação Integrada do Governo Federal. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. In: _____. **Lei Nacional de Saneamento Básico: Perspectivas para as Políticas e Gestão dos Serviços Públicos**. Brasília: Editora, 2009. v. 3. Prestação dos Serviços Públicos de Saneamento Básico. P. 699-711.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Lei Federal nº 11.445**, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico; Altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá Outras Providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em: 10 maio 2011.

BRASIL. Ministério das Cidades. Organização Panamericana da Saúde. **Política e Plano Municipal de Saneamento Ambiental**: Experiências e Recomendações. Brasília: OPAS, 2005a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 357**, de 17 de março de 2005b. Dispõe sobre a Classificação dos Corpos de Água e Diretrizes Ambientais para o seu Enquadramento Bem Como Estabelece as Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, e Dá Outras Providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 377**, de 09 de outubro de 2006b. Dispõe Sobre Licenciamento Ambiental Simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=507>>. Acesso em: 13 maio 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe Sobre as Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, Complementa e Altera a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, no Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. Disponível em: <http://www.saude.mg.gov./publicacoes/estatistica-e-informacao-em-saude/residuos-de-servicos-de-saude/RE_CONAMA403-2011_Lançamento/de/Efluentes.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria dos Recursos Hídricos. Plano Nacional de Recursos Hídricos. **Panorama e Estado dos Recursos Hídricos do Brasil**. Brasília: MMA, 2006c. V. 1.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília: Centro Gráfico do Senado Federal, 1988.

BRITES, A. P. Z.; GASTALDINI, M. C. C.; SARTORI, A. Utilização de Amostradores Instantâneos de Água para Avaliação da Carga Poluente na Drenagem Pluvial. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL, 1.; SIMPÓSIO DE ÁGUAS DA AUGM, 1. , Santa Maria, 2005. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/iurh/Trabalhospublicados/96.pdf>>. Acesso em: 05 julho 2011.

BRIX, H. Functions of Macrophytes in Constructed Wetlands. **Water Sci. Tech.**, Oxford, v. 29, no. 4, p. 71-78, 1994.

BROSTEL, R. C.; HARANDA, A. L. Análise da Descentralização de Sistemas de Tratamento de Esgotos: Uma Aplicação para as Condições do Distrito Federal. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Trabalhos Técnicos**. Rio de Janeiro: ABES, 1997. p. 12.

BURGER, D. **Tópicos de Manejo Florestal Ordenamento Florestal: A Produção Florestal**. Curitiba: UFPR, 1976.

CAMPANILI, M. No Brasil há Déficit em Meio à Abundância. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 16. Mar. 2003. Disponível em: <<http://www.estadão.com.br/ext/ciencia/agua/aguano planeta>>. Acesso em: 26 abr. 2011.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processos Anaeróbios e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CÁNEPA, M. E.; GRASSI, L. A. T. A Lei das Águas no Rio Grande do Sul: No Caminho do Desenvolvimento Sustentável? **R. Cienc. Amb.**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 135-152, jul./dez. 2000.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2011.

CASSINI, S. T. **Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás**. Rio de Janeiro: PROSAB3, 2003.

CHAMBERS, N.; SIMMONS, C.; WACKERNAGEL, M. **Sharing Nature's Interest. Ecological Footprint as an Indicator of Sustainability**. London: Earthscan, 2000.

CHAPRA, S. C.; PELLETIER, G. J.; TAO, H. **QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, version 2.04: Documentation and Users Manual**. Medford: Civil and Environmental Engineering Department, Tufts University, 2006.

CHAVES, H. M. L. et al. Regionalização de Vazões Mínimas em Bacias Através de Interpolação em Sistemas de Informações Geográficas. **R. Bras. Recursos Hídricos**, Bento Gonçalves, v. 7, n. 3, p. 43-51, 2002.

CICLO da Água (ou ciclo hidrológico). In: INFOPÉDIA. Porto Alegre: Porto, 2003-2011. Disponível em: <[http://www.infopedia.pt/\\$ciclo-da-agua-\(ou-ciclo-hidrologico\)](http://www.infopedia.pt/$ciclo-da-agua-(ou-ciclo-hidrologico))>. Acesso em: 3 abr. 2011.

COELHO NETO, A. L. **Surface Hifology and Soil Erosion in a a Tropical Moutainous Rainforest Drainage Basin, Rio de Janeiro**. 1985. 181 f. Tese (Doutorado) – Katholike Universiteit Leuven, Belgium.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo a Hidrologia**. Porto Alegre: IPH, UFRGS, 2010.

COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. Unidade de Saneamento Básico. **Extrato de Banco de Dados**. Feliz: Prefeitura Municipal de Feliz, 2011. CD-ROM.

CORAUCCI FILHO, B. et al. Bases Conceituais da Disposição Controlada de Águas Residuais no Solo. In: _____. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CORSON, W. H. **Manual Global de Ecologia: O Que Você Pode Fazer a Respeito da Crise do Meio Ambiente**. São Paulo: Augustus, 1993. P. 34.

DE SWAAN, A. **In Care of the State**. Health Case, Educational and Welfare in Europe and USA in the Modern Era. Oxford: University Press, 1990.

ERCOLE, L. A. S. **Sistema Modular de Gestão de Águas Residuárias Domiciliares: Uma Opção mais Sustentável para a Gestão de Resíduos Líquidos**. 2003. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ESREY, S. A et al. **Ecological Sanitation**. Stockolm: SIDA, 1998.

FARIA, C. **Ciclo Hidrológico (Ciclo da Água)**. 2007. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/geografia/ciclo-hidrologico-ciclo-da-agua/>>. Acesso em: 02 abr. 2011.

FELIZ. Prefeitura Municipal de Feliz. Departamento de Engenharia Civil. **Extrato de Banco de Dados**. Feliz, 2007a. CD-Rom.

FELIZ. Prefeitura Municipal de Feliz. **Plano Ambiental do Município de Feliz**. Feliz, 2007b.

FELIZ. Prefeitura Municipal de Feliz. Departamento de Engenharia Civil. **Extrato de Banco de Dados**. Feliz, 2011a. CD-ROM.

FELIZ. Prefeitura Municipal de Feliz. Secretaria do Meio Ambiente. **Lei nº 618** de 29 de dezembro de 1987. Código de Obras do Município. Feliz, 1987.

FELIZ. Prefeitura Municipal de Feliz. Secretaria do Meio Ambiente. **Lei nº 1586 de 31 de dezembro de 2002**. Código de Posturas do Município. Feliz, 2002.

FELIZ. Prefeitura Municipal de Feliz. Secretaria do Meio Ambiente. **Lei nº 2514** de 10 de fevereiro de 2011. Política do Meio Ambiente do Município. Feliz, 2011b.

FELIZ. Prefeitura Municipal de Feliz. **Ser Feliz é o Nosso Destino**. Disponível em: <<http://www.feliz.rs.gov.br>>. Acesso em: 15 dez. 2010.

FELIZ. Prefeitura Municipal de Feliz. **Ser Feliz é o Nosso Destino**. Disponível em: <<http://www.feliz.rs.gov.br>>. Acesso em: 17 out. 2011c.

FIUZA JÚNIOR, A. P. **Avaliação de um Sistema Descentralizado de Tratamento de Esgoto Sanitário, Compreendido de Tanque Séptico mais Filtro Anaeróbio, no Município de Blumenau/SC**, 2004. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/assemar/esgotos/blumenau.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2011.

FORTUNATO NETO, J. **Dicionário Ambiental Básico: Iniciação à Linguagem Ambiental**. 2010.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. **Conceito de Índices de Desenvolvimento**. Disponível em: <<http://www.fee.tchê.br>>. Acesso em: 07 jul. 2011.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE. Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit – GTZ. **Levantamento dos Principais Usos do Solo e da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Caí**. Porto Alegre, 1997. v. 1.

GESELLCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT – GTZ. **Capacity Building for Ecological Sanitation: Ecosan Resource Material**. Eschborn, 2006. CD-ROM.

GIBBERD, J. **Integrating Sustainable Development into Briefing and Design Processes of Buildings in Developing Countries: An Assessment Tool**. 2003. 168 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Faculdade de Engenharia, Ambiente Construído e Tecnologia da Informação, Pretoria, África do Sul, 2003.

GOOGLE EARTH. **Aplicativo**. Disponível em: <<http://www.earth.google.com/>>. Acesso em: 08 jul. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2000**. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 06 jan. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 01 jun. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 08 jan. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Lagoa Mirim: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso Potencial da Terra**. Rio de Janeiro, 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Acesso a Domicílios**. 2009. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 08 jan. 2011.

JABAREEN, Y. A New Conceptual Framework for Sustainable Development. **Environ. Dev. Sustain.**, Dordrecht, v. 10, p. 179-192, 2006. Disponível em: <<http://www.eqb.state.mn.us/documents/EnvDevSust10p179ANewConceptualFrameworkforSustainableDevelopment.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2010.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

JORDÃO, E. P.; VOLSCHAN Junior, I. **Tratamento de Esgotos Sanitários em Empreendimentos Habitacionais**. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2009.

LANNA, E. L. **Gerenciamento de Bacias Hidrográficas: Aspectos Conceituais e Metodológicos**. Brasília: IBAMA, 1995.

LAWS, J. O. Measurements of the Fall-velocity of Water-drops and Raindrops. **Trans. Am. Geophys. Union**, Washington, v. 22, p. 709-721, 1941.

LANZER, M. L.; WOLFF, D. B. Saneamento Básico em Nova Petrópolis/RS: Implantação de Sistemas Descentralizados para o Tratamento de Esgotos Sanitários. **Ciênc. Nat. Tecnol.**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 23-40, 2005.

LETINGA, G.; ZEEMAN, G.; LENS, P. (Ed.) **Decentralised Sanitation and Reuse: Concepts, Systems and Implementation**. London: IWA, 2001.

LYLE, J. T. Garden Communities in Gaia's Garden. In: _____. **Regenerative Design for Sustainable Development**. New York: John Wiley & Sons, 1994. Cap. 10, p. 281-305.

MARTINELLI, T. H. **Análise das Estratégias, Condições e Obstáculos para Implantação de Técnicas mais Sustentáveis para Tratamento Local de Fluente Sanitário Residenciais**. Caso: Assentamento Rural Sepé Tiaraju, Serra Azul – SP. 2009. 228 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

MELLO, E. J. R. **Tratamento de Esgoto Sanitário** : Avaliação da Estação de Tratamento de Esgoto do Bairro Novo Horizonte na Cidade de Araguari-MG. 2007. 99 f. Monografia (Latu Sensu em Engenharia Sanitária) – UNIMINAS, Uberlândia. 2007.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da Água em Bacias Hidrográficas Rurais: Um Desafio Atual para a Sobrevivência Futura. **Agro. Des. Rural Sustentável**, Porto Alegre, ano 3, n. 4, out./dez. 2002.

MEZOMO, A. M. A Qualidade das Águas como Subsídio para gestão Ambiental. Porto Alegre: EMATER, ASCAR, 2010.

MORAES, L. R. S. Política e Plano Municipal de Saneamento Básico: Aportes Conceituais e Metodológicos. In: BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS). **Lei Nacional de Saneamento Básico: Perspectivas para as Políticas e Gestão dos Serviços Públicos**. Brasília: Editora, 2009. v. 1. Instrumentos das Políticas e da Gestão dos Serviços Públicos de Saneamento Básico. p. 33-53.

MORELLI, L. Aumenta a Poluição da Água. **R. Eco** 21, Rio de Janeiro, ano 15, n. 98, p. 67, jan. 2005.

NAVARRO, A. L. S.; PIRANHA, J. M.; PACHECO, A. Estudo de Indicadores da Qualidade da Água em Manancial Superficial de Abastecimento Público. **R. Cienc. Extensão**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 81-97, dez. 2006.

NESS, B. et al. Categorising Tools for Sustainability Assessment. **Ecol. Economics**, Hanover, v. 60, n. 3, p. 498-508, 2007.

NEWMAN, P.; KENWOTHY, J. Greening the Automobile-dependent City. In: _____. **Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence**. Washington: Island Press, 1999a. Cap. 5, p. 264-284.

NEWMAN, P.; KENWOTHY, J. Promoting Sustainable Urban Change. In: _____. **Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence**. Washington: Island Press, 1999b. Cap. 6, p. 285-305.

O CICLO da Água. São Paulo: Ecol News, c2011. Disponível em: <<http://www.ecolnews.com.br/agua/ciclo.htm>>. Acesso: 03 abr. 2011.

OLIC, N. B. A Questão da Água no Brasil e no Mundo. **R. Pangea Mundo**, 2011. Disponível em: <http://www.revistapangea.com.br/show_news.asp?n=71&ed=4>. Acesso em: 09 abr. 2011.

OLIVEIRA, G. G. **Modelos para Previsão, Especialização e Análise das Áreas Inundáveis na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, RS**. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ORGANIZAÇÃO das NAÇÕES UNIDAS. **Rádio das Nações Unidas**. 2008. Disponível em: <<http://www.un.org/av/radio/portuguese/detail/2785.html>>. Acesso em: 08 jan. 2010.

PALENZUELA, S. R. **Modelos e Indicadores para Ciudades más Sostenibles: Taller sobre Indicadores de Huella y Calidad Ambiental Urbana**. Barcelona: Fundación Forum Ambiental, 1999.

PALSULE, S. S. O Desenvolvimento Sustentável e a Cidade. In: MENEGAT, R.; ALMEIDA, G. (Org.). **Desenvolvimento Sustentável e Gestão Ambiental nas Cidades: Estratégias a Partir de Porto Alegre**. Porto Alegre: UFRGS, 2004. Cap. 1, p. 33-57.

PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997.

PHILIPPI, L. S. (Coord.). **Eficácia dos Sistemas de Tratamento de Esgoto sanitário e de Água para Consumo Humano Utilizando Wetlands Considerando Períodos Diferentes**

de Instalação e Diferentes Substratos e Plantas Utilizados. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007. Relatório Final de Projeto.

PIMENTA, C. **Estudo da Evaporação de uma Superfície Livre com Convecção Forçada.** In: SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, 20, 2007. Disponível em: <<http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/posmec/20/PDF/Aristeu-ICPOSMEC20CristianoPIMENTA.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2011.

RASANEN, K.; MANTYLA, H. Preserving Academic Diversity: Promises and Uncertainties of Par as a Survival Strategy. **Organization**, v. 8, n. 2, p. 299-318, May 2001.

REICHARDT, K. **A Água em Sistemas Agrícolas.** São Paulo: Manole, 1990.

REBOUÇAS, A. C. Estratégias para se Beber Água Limpa. In: _____. **O Município no Século XXI: Cenários e Perspectivas.** São Paulo: FEPAM, 1999. P. 199-215.

REZENDE, S. C.; HELLER, L. **O Saneamento no Brasil: Políticas e Interfaces.** 2. ed. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2008.

RIBEIRO, C.; LAIGNEAU, P. A. Gestão de Recursos Hídricos e Desenvolvimento Territorial do Rio Grande do Sul: Cooperação entre o Comitê Caí e o Conselho Regional de Desenvolvimento do Vale do Caí. In: SIMPÓSIO EXPERIÊNCIAS EM GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS POR BACIA HIDROGRÁFICAS, 2., Atibaia, 2010. **Anais...** Atibaia: Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2010.

RIO GRANDE DO SUL. Assembléia Legislativa. **Constituição.** Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/prop/legislacao/constituicao/constituicao.htm>>. Acesso em: 14 maio 2011.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente. Porto Alegre: Portal do Meio ambiente; 2010. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em: 12 maio 2010.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento. **Avaliação Quali-Quantitativa das Disponibilidades e Demandas de Água na Bacia Hidrográfica do Sistema Taquari-Antas.** Relatório Final. Porto Alegre: Magna Engenharia, 1997.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Departamento de Recursos Hídricos. **Plano da Bacia do Rio Caí.** Porto Alegre: SEMA, 2008a.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Departamento de Recursos Hídricos. **Relatório Anual sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: SEMA, 2008b.

ROQUE, O. C. C. **Sistemas Alternativos de Esgotos Aplicáveis às Condições Brasileiras**. 1997. 153 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1997.

RUBINGER, S. D. **Desvendando o Conceito de Saneamento no Brasil: Uma Análise da Percepção e do Discurso Técnico Contemporâneo**. 2008. 213 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SADER, E. De Olho na Crise. **R. Eco** 21, Rio de Janeiro, ano 14, n. 101, mar. 2005.

SAMUEL, P. R. S. **Município e Esgotamento Sanitário**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL, 4., FÓRUM REGIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1. **Anais...** Ijuí, Ed. da Unijuí, 2004.

SANEAMENTO Básico. Rio Grande: FURB, [200-]. Disponível em: http://www.inf.furb.br/sias/saude/Textos/Saneamento_basico.html>. Acesso em: 08 abr. 2011.

SANTOS, F. J. O Saneamento como Instrumento de Promoção da Saúde. In: BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS). **Lei Nacional de Saneamento Básico: Perspectivas para as Políticas e Gestão dos Serviços Públicos**. Brasília: Editora, 2009. v. 2. Conceitos, Características, e Interfaces dos Serviços Públicos de Saneamento Básico. p. 357-366.

SANTOS, R. F. **Hidrologia**. Porto Alegre: CEUE, 1975.

SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ. Site Oficial. **Geografia e Arquitetura**. São Sebastião do Caí, 2011. Disponível em: <<http://www.ssc.ai.famurs.com.br/geografia.htm>>. Acesso em: 14 maio 2011.

SILVA, G. H. **Sistema de Alta Eficiência para Tratamento de Esgoto Residencial: Estudo de Caso na Lagoa da Conceição**. 2004. 88 f. Monografia (Graduação em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2001. Cap. 2, p. 35-51.

SOUZA, C. H. C. de. **Proposta de Método para Avaliação da Sustentabilidade Ambiental de Pequenos Municípios**. 2009. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

STUDART, T. M. C. Saneamento Superficial. In: _____. **Hidrologia: Notas de Aula**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, 2006. Cap. 8. Disponível em: <http://www.deha.ufc.br/ticiane/Arquivos/Graduacao/Apostila_Hidrologia_grad/Cap_8_Escoamento_Superficial.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2011.

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIR- Population Division. **World Urbanization Prospects: The 2007 Revision**. 2008. Disponível em: <<http://www.un.org/esa/population/Meetings/EGM PopDist/Heiling.pdf>>. Acesso em 09 jan. 2010.

VALLEJO, L. R. A Influência do “litter” Florestal na Distribuição das Águas Pluviais. 1982. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1982.

VARGAS, V. M. F. **Atlas Ambiental Estratégias Ecotoxicológicas para Avaliação de Riscos Aplicadas à Bacia do Rio Caí**: Atlas Ambiental. Porto Alegre: FEPAM, 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

WAGNER, A. G.; BELLOTTO, V. R. Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário: Análise Econômica de Alternativas para Municípios Litorâneos – Estudo de Caso- Balneário Camboriú e Itajaí (SC), Brasil. **R. Gestão Costeira Integ.**, v. 8, n. 1, p. 93-108, 2008. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/revista8fl1_6.pdf>. Acesso em: 25 maio 2011.

WARTCHOW, D. Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário: Compromisso com a Universalização e a Qualidade. In: BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS). **Lei Nacional de Saneamento Básico**: Perspectivas para as Políticas e Gestão dos Serviços Públicos. Brasília: Editora, 2009. V. 2. Conceitos, Características e Interfaces dos Serviços Públicos de Saneamento Básico. p. 273-283.

ZHANG, J.; XIONG, B. Y. Towards a Healthy Water Cycle in China. **Water Sci. Tech.**, Oxford, v. 53, no. 9, p. 8-15, 2006.