

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**MODELO CONCEITUAL DE CONTAMINAÇÃO POR
EMIÇÃO DE EFLUENTE NO SOLO – BACIA
ESCOLA CAMPUS/UFSM**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Tatiana Reckziegel

Santa Maria, RS, Brasil

2012

**MODELO CONCEITUAL DE CONTAMINAÇÃO POR
EMIÇÃO DE EFLUENTE NO SOLO – BACIA ESCOLA
CAMPUS/UFSM**

Tatiana Reckziegel

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Jussara Cabral Cruz

Santa Maria, RS, Brasil

2012

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Reckziegel, Tatiana
MODELO CONCEITUAL DE CONTAMINAÇÃO POR EMISSÃO DE
EFLUENTE NO SOLO - BACIA ESCOLA CAMPUS/UFSM / Tatiana
Reckziegel.-2012.
167 p.; 30cm

Orientadora: Jussara Cabral Cruz
Coorientadora: Delmira Beatriz Wolff
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2012

1. Sítio degradado 2. Investigação Ambiental 3. Água
Subterrânea I. Cabral Cruz, Jussara II. Beatriz Wolff,
Delmira III. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**MODELO CONCEITUAL DE CONTAMINAÇÃO POR EMISSÃO DE
EFLUENTE NO SOLO – BACIA ESCOLA CAMPUS/UFSM**

elaborada por
Tatiana Reckziegel

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Jussara Cabral Cruz, Dr.^a
(Presidente/Orientadora)

Delmira Beatriz Wolff, Dr.^a (UFSM)
(Coorientadora)

Rejane Helena Ribeiro da Costa, Dr.^a (UFSC)

Jean Paolo Gomes Minella, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 27 de agosto de 2012.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos muitos brasileiros esquecidos pelo sistema, que ainda vivem às margens de seus próprios dejetos, privados do progresso, sem infraestrutura e sob as mínimas condições sanitárias, que são lembrados apenas em ano eleitoral.

AGRADECIMENTOS

Prof.^a Dr.^a Jussara Cabral Cruz, orientadora – pela iniciativa, oportunidade e confiança depositada no desenvolvimento deste trabalho, com uma abordagem inovadora dentro das linhas de pesquisa do grupo e, especialmente, pelo apoio nos momentos de dúvida e de dificuldades apresentadas no transcorrer do mesmo demonstrando-se sempre muito paciente e otimista.

Prof.^a Dr.^a Delmira Beatriz Wolff, coorientadora – muito dedicada e atenciosa nas correções, no desenvolvimento de todas as etapas e ensaios realizados.

Avenir e Geni, meus pais – pela dedicação e por seu infinito amor sempre presentes apoiando e incentivando-me nesta caminhada.

Marcelo e Alexandre, meus irmãos – por acreditarem no meu trabalho e estarem sempre ao meu lado demonstrando carinho e apoio tão necessários neste momento.

Francisco, meu namorado – pelo amparo, paciência, bom humor e pelas palavras de consolo e motivação quando eu mais precisei.

Professor José Luiz Silvério – a quem sou imensamente grata, pois sempre se prontificou em ajudar com seu conhecimento técnico, disponibilizando livros, apostilas e demais materiais necessários. Mostrando-se bem humorado, otimista e com novas ideias para contribuir com a pesquisa.

Professores: Jean Minella, Luiz Felipe Carvalho, Eduardo Rizzatti e Gelson Dal Forno – pelo apoio técnico, financeiro e intelectual.

Colegas do Grupo GERHI e demais grupos de pesquisa do PPGEC, especialmente, aos colegas Ronaldo, Marciano, Carine, Mirian, Pamina, César, Pedro, Vinícius, Fábio, Thamara, Catarine e Marília – por prontificaram-se, muitas vezes, a ajudar em trabalhos de campo e laboratório.

Deise, Marielle e Gabriela – pelo amparo teórico e apoio nas horas mais difíceis; mais que colegas, vocês tornaram-se minhas amigas e, em muitos momentos, minha segunda família.

Departamento de Solos da UFSM – especialmente ao Laboratório de Física do Solo, que disponibilizou o espaço e os equipamentos necessários para a realização dos ensaios sob a coordenação da aluna Alessandra Pichini.

Departamento de Paisagismo e Manutenção da Prefeitura do *Campus* da UFSM, especialmente, aos funcionários Ivo e Francisco – pela disponibilidade e apoio ao acesso à área de estudo e pela manutenção do local.

Departamento de Arquivologia – pelas informações disponibilizadas e ao acesso a arquivos do acervo histórico da UFSM.

Inducal Indústria de Calcários – pela doação de material para experimentos práticos e à CAPES – pelo apoio financeiro.

EPÍGRAFE

Pois será como a árvore plantada junto a ribeiros de águas, a qual dá o seu fruto no seu tempo, as suas folhas não cairão, e tudo quanto fizer prosperará.

Salmos 1:3

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

MODELO CONCEITUAL DE CONTAMINAÇÃO POR EMISSÃO DE EFLUENTE NO SOLO – BACIA ESCOLA CAMPUS/UFSM

AUTORA: TATIANA RECKZIEGEL

ORIENTADOR: JUSSARA CABRAL CRUZ

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de agosto de 2012.

A qualidade dos solos tem sido tema de grande interesse e estimulado pela recente conscientização de que o solo é um recurso vital tanto para a produção de alimentos e fibras, quanto para o equilíbrio global dos ecossistemas. Todavia, é na atualidade que os processos de degradação têm chamado à atenção do homem em níveis globais. Em meio a essa realidade, a degradação de recursos naturais no *Campus* da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), provenientes de ações antrópicas e do gerenciamento inadequado dos resíduos gerados, tem tornado-se tema de estudo de pesquisadores e motivo de preocupação para os gestores da Instituição. O estudo proposto é uma continuidade dos trabalhos efetuados anteriormente sobre qualidade das matrizes ambientais dentro do *Campus* da UFSM a partir de um modelo conceitual de contaminação, com o detalhamento de métodos de avaliação da qualidade ambiental de áreas urbanas degradadas pela disposição de efluentes em solo. A metodologia envolve variáveis físicas, químicas e biológicas de qualidade ambiental dos recursos hídricos superficial, subterrâneo, bem como das fontes de lançamento de efluente líquido. Também abrange a investigação do solo e do subsolo, com a instalação de uma rede de monitoramento em três seções hidroestratigráficas e teste comportamental com bioindicador (*Eisenia andrei*). A partir do levantamento histórico foi possível definir os critérios de avaliação e monitoramento da área. Esses critérios permitiram de maneira ampla diagnosticar a área e definir as zonas sob influência da emissão de efluente, assegurando uma avaliação holística, integradora e seletiva. As variáveis indicadoras de contaminação foram definidas conforme o local ou seção investigada: fontes pontuais - DBO e coliformes termotolerantes; poços rasos – sem padrão de referência; aquífero intermediário - DBO e coliformes totais; aquífero profundo – coliformes totais e coliformes termotolerantes. O solo apresentou função de habitat limitado para os pontos mais próximos as fontes. A integração das variáveis indicadoras, a análise das componentes principais e as investigações do subsolo possibilitaram a construção do modelo conceitual de contaminação por emissão de efluente no solo, o qual confirmou a conexão entre as entidades fonte-trajeto-alvo e a existência de risco à população e ao meio ambiente. A avaliação dos perigos de contaminação do aquífero foi necessária para definir, a partir dos resultados, as ações futuras para proteger a qualidade da água subterrânea de possíveis danos irreversíveis, decorrentes dos vários anos de generalizada negligência por parte das políticas públicas.

Palavras-chave: Sítio degradado. Investigação ambiental. Água subterrânea.

ABSTRACT

Master Course Dissertation
Professional Graduation Program in Civil Engineering
Universidade Federal de Santa Maria

CONCEPTUAL MODEL OF CONTAMINATION BY WASTEWATER EMISSION ON THE SOIL – ESCOLA CAMPUS/UFSM BASIN

AUTHOR: TATIANA RECKZIEGEL

ADVISER: JUSSARA CABRAL CRUZ

Defense Place and Date: Santa Maria, August 27, 2012.

The quality of the soils has been theme of great interest and stimulated by the recent awareness that the soil is a vital resource such to fiber and aliment production, as to the ecosystems global balance. However, it's in nowadays that the degradation process has been calling human attention in global levels. In this reality, the natural resources degradation in the Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) *Campus*, from the anthropic actions and the inappropriate management of the generated waste, calls attention to researchers and managers of the Institution. The proposed study is continuity of the previously done works about environmental matrices quality inside of the UFSM *Campus* from of the conception of a contamination model with details of evaluation methods of the environmental quality of degraded urban areas by wastewater deposition on soil. The methodology involves physical, chemical and biological variables of environmental quality in superficial and underground water resources, as well as in wastewater launch sources. Also covers the soil and subsoil investigation, with the installation of a monitoring net in three hydrostratigraphics sections and behavior test with bioindicator (*Eisenia andrei*). From the historical survey was possible define the evaluation and monitoring standards of the area. These standards allow in broad way to diagnose the area and to define the zones under influence of wastewater emission, ensuring a holistic, integrated and selective evaluation. The contamination indicators variables were defined according to the place or investigated section: punctual sources – BOD and thermotolerant coliforms; shallow wells – without a reference standard; intermediary aquifer – BOD and total coliforms; deep aquifer – thermotolerant and total coliforms. The soil presented limited habitat function for the closest points of the sources. The integration of the indicator variables, analysis of main components and subsurface allowed the construction of the conceptual model of contamination by wastewater emission on the soil, which confirmed the connection between source, way and target, and therefore the risk existence to the population and to the environment. The evaluation of the aquifer contamination dangers was necessary to define, clearly, the required actions to protect the underground water quality and possible irreversible damages, caused by the several years of negligence generalized of the public politics.

Key words: Degraded site. Environmental investigation. Underground water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da vulnerabilidade à poluição da água subterrânea da Bacia Escola do <i>Campus</i> da UFSM.	34
Figura 2 - Sistema de tanque séptico – esquema geral.....	40
Figura 3 - Ilustração do modelo conceitual de contaminação.....	46
Figura 4 - Mapa de localização da bacia do <i>Campus</i> da UFSM - Santa Maria- RS.	49
Figura 5 - Imagem das três microbacias.....	49
Figura 6 - Mapa de delimitação da bacia hidrográfica do <i>Campus</i> e localização da área de estudo.	50
Figura 7 - Mapa de Localização da área de estudo e dos pontos de amostragem: solo, fontes pontuais de efluente, água superficial, subsuperficial e subterrânea.	53
Figura 8 - Sondagem investigativa a partir de perfuração manual com trado tipo holandês de 2" de diâmetro, amostra de solo entre 1,00 a 1,50 metros de profundidade.	54
Figura 9 - Sondagem investigativa a partir de perfuração manual, amostra do solo encontrado na profundidade de 3 metros aproximadamente.	54
Figura 10 - Perfuração dos poços rasos por trado holandês 4" de diâmetro.	56
Figura 11 - Colocação do pré-filtro no poço raso.....	56
Figura 12 - Preenchimento com bentonita para fixação do poço.....	57
Figura 13 - Poço PMR-01 instalado.....	57
Figura 14 - Perfuração do poço PM-02 por meio de percussão com jato de água...58	
Figura 15 - Vidraria para análise de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) no laboratório LASAM.	61
Figura 16 - Análise de sólidos totais para amostras dos poços rasos no laboratório LASAM.	61
Figura 17 - Medição de vazão com calha <i>Parshall</i> no ponto FP-31A, vista lateral. ..	63
Figura 18 - Medição de vazão com calha <i>Parshall</i> no ponto FP 31A, vista superior.	64
Figura 19 - Medição direta de vazão ou medição volumétrica na fonte FP-31.	66
Figura 20 - Utilização de micromolinetete para medição de vazão na Sanga Lagoão do Ouro no ponto CM (córrego montante).	66
Figura 21 - Fonte pontual de efluente líquido FP-31.	67
Figura 22 - Fonte pontual de efluente líquido FP-32.	68
Figura 23 - Fonte pontual de efluente líquido FP-31A, vista inferior.....	68
Figura 24 - Fonte pontual de efluente líquido FP-31A, vista superior.....	68
Figura 25 - Procedimento de amostragem, coleta de água no poço de monitoramento raso PMR-01.	71
Figura 26 - Procedimento de amostragem, coleta de água no poço de monitoramento raso - PMR 04.	71
Figura 27 - Medição de nível de água subterrânea no poço PM-01.....	72
Figura 28 - Coleta de amostra de água subterrânea PM-02.....	72
Figura 29 - Coleta de amostra de água subterrânea no poço de bombeamento PB-15.	73
Figura 30 - Coleta de amostra de água subterrânea no poço PB-17 utilizando-se amostrador tipo <i>bailer</i>	74
Figura 31 - Abertura da Trincheira para a caracterização do solo e coleta de amostras.....	76

Figura 32 - Abertura da Trincheira 2 para a caracterização do solo e coleta de amostras.....	76
Figura 33 - Vista do córrego (sanga Lagoão do Ouro) no local de encontro com o canal que drena da área alagada.....	80
Figura 34 - Estacas utilizadas para marcar pontos de interesse (seção média do canal que drena da área alagada até a Sanga).	80
Figura 35 - Foto aérea do Campus de abril de 1969. Em destaque, em cor amarela, escavações para extração de argila.	82
Figura 36 - Foto aérea do Campus na década de 1970. Regeneração da vegetação na área anteriormente explorada para extração de argila.	82
Figura 37 - Planta de localização dos poços e corte AA'.....	85
Figura 38 - Descrição litológica e perfil construtivo do poço PM-01.	86
Figura 39 - Descrição litológica e perfil construtivo do poço PM-02.	87
Figura 40 - Corte AA' - Perfil hidroestratigráfico e nível médio de água subsuperficial (PMR-04) e subterrânea (PM-01 e PM-02).	87
Figura 41 - Mapa potenciométrico e indicação da tendência de fluxo subterrâneo.	90
Figura 42 - Macrófita <i>Typha domingenses</i> , característica de sistemas secundários de tratamento de esgoto - <i>wetlands</i>	91
Figura 43 - Vegetação Ribeirinha, próxima às margens da sanga Lagoão do Ouro.	92
Figura 44 - Vista do canal que drena a área alagada para o córrego.....	92
Figura 45 - Vazão de descarga das fontes pontuais de efluente líquido FP-31, FP-32 e FP-31A.	95
Figura 46 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) das fontes pontuais de efluente líquido para cada campanha de amostragem.	100
Figura 47 - Carga Orgânica das fontes pontuais de efluente líquido para cada campanha de amostragem.....	102
Figura 48 - Decaimento do pH nos poços rasos em relação ao distanciamento das fontes pontuais de emissão de efluente líquido.....	115
Figura 49 - Comparação entre os resultados de DBO para os poços rasos em todas as campanhas de amostragem.	115
Figura 50 - Descrição do solo por camada na trincheira 1.	123
Figura 51 - Descrição do solo por camada na trincheira 2.	123
Figura 52 - Valores comparativos de vazão medidos nas campanhas de amostragem para as fontes pontuais e para o ponto superficial CDB..	128
Figura 53 - Carga orgânica entre as fontes pontuais de efluente líquido (entrada) e o ponto superficial CDB (saída).....	129
Figura 54 - Modelo conceitual de contaminação do sítio degradado por emissão de efluente no solo no <i>Campus</i> da UFSM.....	136

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Águas brasileiras: Classificação das águas de acordo com os usos.	28
Quadro 2 - Etapas do plano de investigação de áreas potencialmente contaminadas.....	46
Quadro 3 - Estações fluviométricas do <i>Campus</i> da UFSM.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas superficiais, subterrâneas e fontes pontuais de lançamento de efluente.	62
Tabela 2 - Valores de n – K (para vazão em m ³ /h).....	64
Tabela 3 - Valores das análises físico químicas e biológicas para a fonte pontual FP31 nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no <i>Campus</i> da UFSM.	96
Tabela 4 - Valores das análises físico químicas e biológicas para a fonte pontual FP-32 nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no <i>Campus</i> da UFSM.....	97
Tabela 5 - Valores das análises físico químicas e biológicas para a fonte pontual FP-31A nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no <i>Campus</i> da UFSM.....	98
Tabela 6 - Carga orgânica para as fontes pontuais de efluente líquido nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no <i>Campus</i> da UFSM.	99
Tabela 7 - Comparação entre os limites estabelecidos pela Resolução CONSEMA 128/06 e as concentrações médias encontradas nas fontes pontuais para verificação de conformidade.	101
Tabela 8 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o ponto superficial CDB nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no <i>Campus</i> da UFSM.	105
Tabela 9 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o ponto superficial CM nas campanhas de amostragem realizadas no período de 16/03/12 a 30/04/12 em área impactada no <i>Campus</i> da UFSM.	106
Tabela 10 - Comparação entre os limites estabelecidos pela Resolução CONSEMA 128/06 e as concentrações médias encontradas nos pontos superficiais para verificação de conformidade dos valores estabelecidos pela mesma Resolução.	107
Tabela 11 - Comparação entre os limites estabelecidos pela Resolução CONSEMA nº 128/06 e as concentrações médias de mistura dos pontos CDB e CM para verificação de conformidade dos valores estabelecidos pela mesma Resolução.	108
Tabela 12 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento raso PMR-01 nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no <i>Campus</i> da UFSM.	110
Tabela 13 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento raso PMR-02 nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no <i>Campus</i> da UFSM.	111
Tabela 14 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento raso PMR-03 nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no <i>Campus</i> da UFSM.	112

Tabela 15 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento raso PMR-04 nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no <i>Campus</i> da UFSM.	113
Tabela 16 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento intermediário PM-01 nas quatro campanhas de amostragem realizadas no período de 29/02/12 a 30/04/12 em área impactada no <i>Campus</i> da UFSM.	117
Tabela 17 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento intermediário PM-02 nas quatro campanhas de amostragem realizadas no período de 29/02/12 a 30/04/12 em área impactada no <i>Campus</i> da UFSM.	117
Tabela 18 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento profundo PMB-15 nas duas campanhas de amostragem realizadas no período de 29/02/12 a 30/04/12 em área impactada no <i>Campus</i> da UFSM.	118
Tabela 19 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento profundo PMB-17 nas duas campanhas de amostragem realizadas no período de 29/02/12 a 30/04/12 em área impactada no <i>Campus</i> da UFSM.	118
Tabela 20 - Classificação conforme a textura, valores encontrados de condutividade hidráulica (K_{sat} ; mm/h) e a densidade absoluta (ρ ; g/m ³) e a profundidade para cada horizonte amostral da trincheira 1.	124
Tabela 21 - Classificação conforme a textura, valores encontrados de condutividade hidráulica (K_{sat} ; mm/h) e a densidade absoluta (ρ ; g/m ³) e a profundidade para cada horizonte amostral da trincheira 2.	124
Tabela 22 - Composição do solo: fração areia, silte e argila encontrado em cada horizonte da trincheira 1.	125
Tabela 23 - Composição do solo: fração areia, silte e argila encontrado em cada horizonte da trincheira 2.	125
Tabela 24 - Medidas de vazão para as seções de monitoramento - fontes pontuais de efluente líquido (entrada) e ponto superficial CDB (saída).	127
Tabela 25 - Valores da carga orgânica respectivo as três fontes pontuai de efluente líquido e do ponto CDB para todas as campanhas de monitoramento.	129
Tabela 26 - Redução de Coliformes Termotolerantes no sistema Fonte - Saída, representados pela fontes pontuais e o ponto superficial CDB.	130

LISTA DE REDUÇÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCR	Centro de Ciências Rurais
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
COT	Carbono Orgânico Total
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
GERHI	Gestão de Recursos Hídricos
GPS	<i>Global Position System</i>
ISSS	<i>International Society of Soil Science</i>
LASAM	Laboratório de Saneamento Ambiental
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
PPGEC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SBCS	Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
UE	União Européia
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
USDA	United States Department of Agriculture

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Amostra branco de equipamento realizadas para controle de qualidade dos equipamentos e da água deionizada para os procedimentos de campo e laboratório.....	161
Apêndice B - Matriz de correlação das variáveis para os valores médios entre as fontes pontuais - FP's.....	162
Apêndice C - Componentes principais da matriz rotacionada para as fontes pontuais	163
Apêndice D - Matriz de correlação das variáveis para os valores médios entre os poços rasos - PMR's	164
Apêndice E - Componentes principais da matriz não rotacional para os poços rasos	165
Apêndice F - Matriz de correlação das variáveis no ponto CDB.....	166
Apêndice G - Componentes principais da matriz de rotação para o ponto CDB.....	167

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	18
2	OBJETIVOS	21
2.1	Objetivo geral	21
2.2	Objetivos específicos	21
3	REVISÃO DE LITERATURA	22
3.1	Recursos naturais	22
3.1.1	Sistema solo	22
3.1.2	Águas superficiais e subterrâneas	26
3.2	Poluição e contaminação	30
3.3	Degradação ambiental e áreas contaminadas	32
3.4	Fontes de contaminação	34
3.4.1	Efluente sanitário	36
3.4.2	Sistemas de tratamento	38
3.5	Gerenciamento de áreas contaminadas	41
4	MATERIAL E MÉTODOS	47
4.1	Área de estudo	47
4.2	Investigação preliminar	51
4.2.1	Levantamento histórico da área	51
4.2.2	Avaliação das características naturais do terreno	52
4.3	Investigação exploratória	59
4.3.1	Análises de qualidade da água	59
4.3.2	Medições de vazão	63
4.3.3	Avaliação das fontes pontuais de efluente líquido	67
4.3.4	Avaliação da água superficial	69
4.3.5	Avaliação da água subsuperficial e subterrânea	69
4.3.6	Análises do solo	74
4.3.7	Análise multivariada para seleção dos indicadores do processo de degradação ambiental no sítio monitorado	77
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
5.1	Investigação preliminar	79
5.1.1	Levantamento histórico da área	81
5.1.2	Avaliação das características naturais do terreno	84
5.2	Fase de investigação exploratória	92
5.2.1	Fontes pontuais de efluente líquido	93
5.2.2	Análise da água superficial	103
5.2.3	Análise da água subsuperficial e subterrânea	109
5.2.4	Análises de solo	122
5.2.5	Alterações da qualidade da água	127
5.2.6	Análise multivariada para seleção dos indicadores do processo de degradação ambiental no sítio monitorado	131
5.3	Modelo conceitual de contaminação	135
6	ARTIGO – BIOENSAIO COMPORTAMENTAL COMO FERRAMENTA INTEGRANTE PARA AVALIAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA	139
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	146
8	RECOMENDAÇÕES	148
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O processo de degradação do solo causado por atividades antrópicas não é recente. Um estudo realizado por Bunney (1990) aborda evidências da degradação do solo já no início da humanidade. Entretanto, os danos causados por práticas incorretas de uso e disposição de resíduos só tiveram relevância social após a ocorrência de alguns desastres.

O acidente ambiental em *Love Canal*, na fronteira EUA - Canadá, na década de 1970, pela contaminação de solos com produtos tóxicos e cancerígenos foi o primeiro dano ambiental reconhecido pelas autoridades públicas. As consequências à saúde humana local eram advindas diretamente da contaminação do solo de uma área utilizada durante anos pela indústria química como local de armazenamento de resíduos e de despejo de efluentes (EPA, 1979).

Segundo Fiuza (2009), na China existem 100.000km² de solos contaminados, a que se adiciona cerca de 32,5 milhões de km² que são irrigados com água contaminada, conduzindo a uma produção anual de cerca de 12 milhões de toneladas de cereais contaminados, especialmente por metais pesados.

Não distante dessa realidade, no Brasil, o problema da poluição do solo tem se tornado gradualmente conhecido, com inúmeros casos de áreas contaminadas já catalogadas por órgãos ambientais, especialmente pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Contudo, ainda não se conhece a real dimensão do problema e são poucos os exemplos de estudo e tratamento de sítios contaminados reabilitados.

A qualidade dos solos tem sido tema de grande interesse e estimulado pela recente conscientização de que o solo é um recurso vital tanto para a produção de alimentos e fibras, quanto para o equilíbrio global dos ecossistemas. Todavia, é na atualidade que os processos de degradação têm chamado à atenção do homem em níveis globais, sendo este já considerado como quarto maior dano ecológico, perdendo apenas para mudanças climáticas, depleção da camada de ozônio e declínio da biodiversidade (DORAN, 1997).

Conforme o relatório “O Estado Real da Contaminação das Águas no Brasil – 2003/2004”, a contaminação dos recursos hídricos aumentou em cinco vezes nos

últimos anos, apontando 20 mil áreas contaminadas no Brasil com populações expostas a riscos de saúde (ONG DEFENSORIA DA ÁGUA, 2004).

Em meio a essa realidade, a degradação de recursos naturais no *Campus* da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), provenientes de ações antrópicas e do gerenciamento inadequado dos resíduos gerados, chama a atenção de pesquisadores e gestores da Instituição.

Com respeito ao sistema de saneamento básico, a Universidade utiliza como fontes de abastecimento de água potável, a captação por poços subterrâneos e água proveniente da Companhia Rio-grandense de Saneamento (CORSAN). O esgotamento sanitário é realizado pela própria Instituição de forma descentralizada, com tratamento por meio de sistemas de tanques sépticos e filtros anaeróbios. O efluente final é lançado em cursos d'água e no solo.

Grande parte do passivo ambiental da Universidade é proveniente de períodos anteriores à legislação (Política Nacional de Meio Ambiente de 1981, CONAMA n.º 01 de 1986 e Constituição Federal de 1988), época que o sistema de tratamento de efluentes era adequado à situação. Porém, com o crescimento da população acadêmica e demais setores, devido ao aumento de vagas proporcionado durante os últimos anos pelo governo, a Instituição ficou à margem do desenvolvimento de uma infraestrutura que acompanhasse esse ritmo. Desta forma, os sistemas de tratamento de efluentes tornaram-se subdimensionados à realidade.

Segundo estudos realizados por Reetz (2002), Angnes (2004), Moreira (2005), Marion (2009) e D'Ávila (2009) o solo e as águas superficiais e subterrâneas do *Campus* enfrentam perdas significativas de qualidade, reflexo este perceptível no seu aspecto visual e na formação de gases mal odorantes.

Marion (2009) e D'Ávila (2009), especializaram as áreas de maior vulnerabilidade ao risco de contaminação da água subterrânea e as principais fontes pontuais de lançamento de efluentes líquidos dentro da UFSM.

O estudo proposto é uma continuidade dos trabalhos efetuados pelos autores citados sobre qualidade das matrizes ambientais dentro do *Campus* da UFSM. A partir de seus resultados, optou-se pela escolha do local que apresentou maior risco de contaminação para a realização de um modelo conceitual. A área apresenta diversos indícios de degradação e pode estar conectando a superfície alagada, que recebe o efluente ao aquífero que abastece a Universidade.

O conhecimento dessa possibilidade e os demais entendimentos que possam ser estabelecidos com este estudo poderão auxiliar como referência para propor soluções a inúmeras situações que ocorrem em nossa sociedade, contribuindo para reduzir os riscos ou danos causados pelo passivo gerado. O levantamento qualitativo das fontes emissoras de efluentes também produzirá uma base de dados para futuros estudos e projetos de sistemas de tratamento, sejam eles de forma convencional ou alternativos como o reuso da água para fins não potáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Neste estudo de caso tem-se como objetivo a concepção de um modelo conceitual de contaminação com o detalhamento de métodos de avaliação da qualidade ambiental de áreas urbanas degradadas pela disposição de efluentes em solo a fim de verificar se há o comprometimento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos devido a ação antrópica.

2.2 Objetivos específicos

- a) estabelecer critérios de avaliação e monitoramento da área
- b) identificar as variáveis indicadoras da contaminação ambiental;
- c) integrar as variáveis analisadas para elaboração do Modelo Conceitual de Contaminação;
- d) avaliar a metodologia de investigação ambiental da área de estudo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Recursos naturais

3.1.1 Sistema solo

Ao longo da história da humanidade, o solo tem sido um elemento bastante familiar ao homem, que dele sempre dependeu para satisfazer as suas necessidades básicas de locomoção, abrigo e alimentação (SANTANA; BAHIA FILHO, 1999).

Segundo Costa (2007),

enquanto recurso não renovável à escala humana, o solo desempenha um sem-número de funções-chaves (ambientais, econômicas, sociais e culturais) essenciais à vida, como sejam: produção alimentar e de biomassa; fonte de matéria-prima; armazenamento, filtração e transformação; *habitat* e banco de genes, reservatório de carbono e “arquivo” geológico e arqueológico. O solo é, em suma, o ambiente físico e cultural da humanidade, por excelência.

Santana e Bahia Filho (1999) citam como funções do solo: o controle de fluxo da água (escoamento, infiltração ou armazenamento), afetando o movimento de materiais solúveis, tais como: nitratos ou pesticidas e sistema de filtro para proteger a qualidade da água, do ar e de outros recursos. Fiuza (2009) ressalta que,

pode-se distinguir no solo uma fase sólida, constituída por uma fração inorgânica (produtos minerais resultantes da erosão da crosta) e por uma fração orgânica (materiais resultantes da decomposição da matéria vegetal e animal), uma fração líquida aquosa enriquecida em compostos minerais, uma fração gasosa constituída por ar rarefeito em oxigênio e enriquecido em dióxido de carbono e, finalmente, uma componente biológica constituída por milhões de microorganismos das mais variadas espécies e estirpes

O solo foi considerado, por muito tempo, um receptor ilimitado de substâncias nocivas descartáveis, como os resíduos domésticos e industriais, com base no suposto poder tampão e potencial de autodepuração, que leva ao saneamento dos impactos criados. Porém, essa capacidade foi superestimada e, somente a partir da década de 1970, direcionada maior atenção a sua proteção (CETESB 1000, 1999).

As consequências na saúde pública derivadas da existência de solos contaminados foram reconhecidas desde os finais dos anos 70, século XX, originando a criação de legislação específica na maior parte dos países

desenvolvidos (FIUZA, 2009). O conceito da proteção dos solos foi o último a ser abordado nas políticas ambientais desses países, bem após os problemas ambientais decorrentes da poluição das águas e da atmosfera ser tematizados e tratados (CETESB 1000, 1999).

O grande desafio dos pesquisadores que atuam na área de ciência ambiental é desenvolver ou adaptar métodos para monitorar e avaliar o impacto antropogênico sobre os processos que ocorrem no solo. A qualidade do solo pode melhorar ou piorar dependendo dos fatores que o influenciam. As causas geralmente são relacionadas a diversos problemas ambientais como: acidificação, eutrofização, desidratação, poluição, distúrbios, destruição do habitat e manejo do uso da terra (FRIGHUETTO, 1999).

A contaminação do solo é a principal causa da alteração da qualidade das águas subterrâneas (BOSCOV, 1997). A maior parte das vezes os poluentes são introduzidos no subsolo a partir de derrames de soluções líquidas. Estes compostos são transportados por advecção, inicialmente em direções subverticais na zona de infiltração e, posteriormente, em direções sub-horizontais na zona saturada, e ainda por dispersão hidrodinâmica e por difusão. Durante o transporte poderão ocorrer fenômenos de retardação, de atenuação e de incremento da mobilidade (FIUZA, 2009).

Muitos contaminantes quando atingem o solo podem ter destinos diversos, como degradação e/ou transformação por vias químicas, físicas ou microbianas, ligam-se às partículas do solo ou à matéria orgânica ou, ainda, lixiviados pelo perfil do solo contaminando às águas superficiais e subterrâneas. As características físico-químicas e biológicas do solo determinam o destino final desses poluentes (FRIGHUETTO, 1999).

Alguns fatores interferem no transporte de substâncias no solo, conforme descrito por Dyminski (2006), são eles: características do contaminante (solubilidade, densidade concentração, pH, DBO, DQO, etc.); características do solo pelo qual ele percola (granulometria, mineralogia da fração argila, permeabilidade, matéria orgânica, etc.), características do ambiente (tempo de exposição do solo ao contaminante, presença de micro-organismos, condições hidrogeológicas, condições aeróbicas/anaeróbicas e temperatura). A temperatura pode alterar a permeabilidade do solo (altera a viscosidade do fluido), a velocidade de reações químicas e a solubilidade do contaminante (DYMINSKI, 2006).

Sobre o solo, o artigo 143º da Lei Estadual nº 11.520/2000, que institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul, cita que a utilização do solo, para quaisquer fins, far-se-á por meio da adoção de técnicas,

processos e métodos que visem a sua conservação, melhoria e recuperação, observadas as características geomorfológicas, físicas, químicas, biológicas, ambientais e suas funções socioeconômicas (RIO GRANDE DO SUL, 2000).

Os processos de contaminação no solo ocorrem lentamente e, frequentemente, sem consequências relevantes imediatas, porém em longo prazo, podem ter efeitos sérios e possivelmente irreversíveis (ROWEL, 2007).

A seguir, são descritas algumas propriedades físicas do solo que são úteis para entender o processo de circulação das águas, e por consequência, da evolução das plumas de poluição.

A análise textural ou granulométrica fornece a distribuição quantitativa das partículas unitárias minerais menores que 2,00 mm. A textura confere alguma qualidade ao solo, no entanto, sua avaliação apresenta conotação prioritariamente quantitativa, desta forma é geralmente utilizada para classificação do solo (FERREIRA, 2010). As três frações texturais que definem o material mineral do solo são areia, silte e argila. O solo recebe designações segundo as dimensões das partículas compreendidas entre determinados limites convencionais, de acordo com o sistema de classificação adotado. No Brasil os sistemas considerados para classificação pedológica são o Norte Americano U. S. *Soil Taxonomy*, desenvolvido pela USDA – *United States Department of Agriculture* (Natural Resources Conservation Service), o sistema de classificação internacional WRB – *World Reference Base for Soil Resource*, desenvolvido pela FAO – *Food and Agriculture Organization (International Society of Soil Science)* e a classificação adotada pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SiBCS).

A densidade do solo é um atributo que reflete primariamente o arranjo das partículas do solo, que, por sua vez, define as características do sistema poroso (FERREIRA, 2010). Qualquer manifestação que possa influenciar a disposição das partículas do solo refletirá diretamente nos valores de densidade, sendo dependente da composição mineralógica, especificamente da fração argila. Encontra-se uma grande amplitude de para os valores de densidade devido as diferentes estruturas, podendo variar de 900 a 1550kgm⁻³ nos latossolos brasileiros em horizontes de subsuperfícies (FERREIRA, 2010).

A condutividade hidráulica do meio poroso é a constante de proporcionalidade da Lei de Darcy, que depende da fluidez da água, que é proporcional a sua viscosidade e densidade e da macroporosidade do solo, que é função da estrutura e

da textura do solo (BELTRÁN, 1986). Conforme Heath (1983) a condutividade hidráulica depende do tamanho e arranjo das aberturas transmissoras de água (poros) e das características dinâmicas do fluido (água) tais como viscosidade cinemática, densidade e a intensidade do campo gravitacional.

Conforme relato de Mesquita e Moraes (2004) a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) é mais dependente da estrutura do que da textura do solo. Considerando que a estrutura é atributo dinâmico do solo fortemente afetada pela atividade biológica, esta poderá resultar em uma estrutura do tipo grumosa. Outra funcionalidade da matéria orgânica no solo é como agente cimentante, o aumento da estabilidade dos agregados relaciona-se com a capacidade da matéria orgânica em aderir-se às partículas minerais do solo.

A agregação do solo influencia na porosidade e aeração, no crescimento das plantas e da população microbiana, na infiltração de água e no controle dos processos erosivos. Mesmo que a forma e o tamanho das unidades estruturais não se alterem, uma simples mudança na sua disposição, com conseqüente alteração do espaço poroso, determinará novo comportamento dos processos que ocorrem dentro do solo (EDWARDS; BREMNER, 1967; FERREIRA, 2010). Portanto, esse efeito da estrutura e, em especial, dos poros grandes, permite que um solo argiloso tenha valores de K_{sat} similares a solos arenosos. No entanto, determinar a K_{sat} a partir de propriedades do solo mais facilmente obtidas é um processo complexo que envolve todos os fatores que influenciam nestas propriedades e nas relações entre elas (MESQUITA; MORAES, 2004).

Os valores de condutividade hidráulica vertical na zona não saturada dos solos são fundamentais para a avaliação das condições de infiltração que controlam a recarga dos aquíferos, bem como sua eficiência, estudos de contaminação das águas subterrâneas, pesquisas em projetos de irrigação, análise de perda de solos, avaliação geotécnica e estudos hidrológicos (FIORI et al., 2010).

Segundo Freeze e Cherry (1979) e Fetter (1994) citado por Fiori et al. (2010) valores típicos de condutividades hidráulicas podem ser classificados como: $> 10^{-3}$ m/s muito alta; 10^{-3} a 10^{-5} m/s alta; 10^{-6} m/s moderada; 10^{-7} a 10^{-8} m/s baixa e $< 10^{-8}$ m/s muito baixa. Segundo o Heath (1983) a condutividade hidráulica de rochas pode variar em 12 ordens de magnitude, podendo ser diferente de um local a outro na mesma rocha.

Mesquita e Moraes (2004) evidenciam que a dependência entre Ksat e as propriedades frequentemente utilizadas para descrevê-la, como a densidade do solo, macro e micro porosidades e porosidade total não podem ser obtidas diretamente por uma simples correlação e talvez possa ser obtida diretamente e não a partir de modelos.

Entender os mecanismos de transporte e o comportamento dos poluentes no solo é muito importante para o dimensionamento de projetos e a composição de cenários capazes de barrar ou atenuar os efeitos negativos causados por áreas contaminadas.

3.1.2 Águas superficiais e subterrâneas

Toda a água sobre a superfície da terra é referida como água de superfície ou superficial. O termo equivalente para a água sob a superfície da terra é água do subsolo, subsuperficial ou subterrânea (HEATH, 1983). A água é considerada o solvente universal e muitas das suas características advêm dessa capacidade de dissolução, diferenciando-as pelas características do solo da bacia hidrográfica, que por sua vez, imprime às águas naturais suas características referentes à geologia, à pedologia, à morfologia, à hidrologia, à vegetação, ao clima e, principalmente, às atividades antrópicas desenvolvidas nela (LIBÂNIO, 2010).

A água que circula invisível pelo subsolo da terra e deságua nos seus rios durante o período que não chove, constitui a contribuição do manancial subterrâneo. A água subterrânea resulta principalmente, da infiltração nos terrenos onde foram esculpidas as respectivas bacias hidrográficas de parcelas das águas precipitadas da atmosfera na forma de chuva, neblina ou neve.

De forma mais simplificada Von Sperling (2005) remete que a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem e consiste em função do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.

Em virtude da evolução nas técnicas de detecção e medidas de poluentes, estabeleceram-se padrões de qualidade da água, ou seja, a máxima concentração de elementos ou compostos que poderiam estar presentes na água, de modo a ser compatível com sua utilização para determinadas finalidades. Assim, instituíram-se os padrões de qualidade da água superficial para usos como: abastecimento

público, consumo industrial, irrigação, recreação, transporte, geração de energia, preservação da vida aquática, entre outros (BENETTI; BIDONE, 2004).

O padrão de potabilidade da água para consumo humano atualmente em vigência no Brasil define-se pela Portaria n° 2.914/2011 do Ministério da Saúde, que também estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água, além de outras providências. Esta lei apresenta requisitos para as características físicas e organolépticas, características químicas, características bacteriológicas para controle de patógenos e também limites de radioatividade.

As Resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011 dispõem sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, determinando as condições e os padrões de lançamentos de efluentes. Estas classificam as águas doces, salobras e salinas, segundo seu uso preponderante. Com relação às águas doces, essas são classificadas em cinco classes e as águas salobras e salinas em quatro classes conforme exemplificado no quadro 1.

(continua)

TIPOS DE CONSUMO	TIPOS DE ÁGUA													
	DOCE					SALINA				SALOBRA				
	Classe					Classe				Classe				
	Esp.	1	2	3	4	Esp.	1	2	3	Esp.	1	2	3	
Abastecimento para consumo humano	TD	TS	TC	TC/AV	TC/AV									
Aquicultura e atividade de pesca	X	X	X											
Dessedentação de animais				X										
Harmonia paisagística					X				X				X	
Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras				X										
Irrigação de hortaliças/frutas que são consumidas cruas/sem remoção de película		X									X			

(conclusão)

Irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto			X								X		
Navegação					X				X				X
Pesca amadora				X				X				X	
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	X						X			X			
Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral	X						X			X			
Proteção das comunidades aquáticas		X*	X				X				X		
Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº. 274, de 2000		X	X				X				X		
Recreação de contato secundário				X				X				X	

Quadro 1 - Águas brasileiras: Classificação das águas de acordo com os usos.

Fonte: Cruz & Silveira (2007).

Legenda: Tipos de Tratamento para a água de consumo humano - Desinfecção: TD; Simplificado: TS; Convencional: TC; Avançado: TAV; X* - em Terras Indígenas.

Frente à crescente demanda e utilização predatória cada vez mais intensa dos recursos hídricos superficiais, muitos países começam a preocupar-se com a escassez da água potável. Considerando-se a condição inadequada de qualidade das águas, associada ao elevado custo do tratamento para os diversos usos e a escassez verificada em algumas regiões, a exploração das águas subterrâneas é

uma alternativa bastante atraente para abastecimento. Em função da sua abundância, qualidade e relativo baixo custo de captação, esse recurso torna-se estratégico para o desenvolvimento econômico da sociedade. Além de representar um importante papel no sustento de diversos ecossistemas aquáticos, incluindo áreas úmidas e os rios.

A água subterrânea é um recurso natural vital para o abastecimento econômico e seguro de água potável nos meios urbano e rural, e desempenha papel fundamental (embora frequentemente pouco valorizado) para o bem-estar tanto dos seres humanos como de muitos ecossistemas aquáticos (FOSTER et al., 2006).

As águas subterrâneas têm estreita relação com as águas superficiais, algumas vezes durante uma cheia, um rio pode passar de efluente para influente, ou seja, quando a elevação do nível da água do rio é maior do que o nível do aquífero, o rio passa a alimentar temporariamente o aquífero. Nos períodos de estiagem, o rio é alimentado pela descarga do aquífero, essa descarga aquífera depende da quantidade de água armazenada no aquífero (PAIVA; PAIVA, 2001).

No mundo inteiro, os aquíferos (formações geológicas contendo água subterrânea adequada para consumo) estão sob perigo cada vez maior de contaminação em decorrência da urbanização, do desenvolvimento industrial, das atividades agrícolas e das empresas de mineração (FOSTER et al.; 2006). O impacto ambiental decorrente da contaminação das águas subterrâneas preocupa comunidades científicas e os usuários deste recurso, não apenas pelo problema de degradação qualitativa, mas pelo risco à saúde humana e ao meio ambiente. O tratamento ou a remoção da contaminação em aquíferos é muito mais difícil do que nas águas superficiais, podendo, em alguns casos tornar-se irreversível (FOSTER et al., 2006; FEITOSA et al., 2008). Isto se deve ao lento movimento das águas subterrâneas, sobretudo em camadas de materiais finos, intercaladas em formações de permeabilidade mais alta e a fenômenos de adsorção e trocas iônicas na superfície da matriz sólida (FEITOSA et al., 2008).

Para Foster et al. (2006)

o movimento da água e o transporte de contaminantes da superfície terrestre para os aquíferos pode, em muitos casos, ser um processo lento. Pode levar anos ou décadas para que o impacto de um episódio de poluição por um contaminante persistente se torne evidente nas captações de água, especialmente naquelas que extraem água de profundidades maiores.

A dificuldade de recuperação de um reservatório subterrâneo incentiva entidades e a população à prevenção contra a contaminação. Desta maneira, a preservação consiste em estabelecer programas claros e eficientes de proteção dos aquíferos, controlando as atividades humanas, planejando e ordenando a ocupação e o uso do solo (HIRATA et al., 1997).

Estudos cada vez mais frequentes relacionados à água subterrânea do *Campus* da UFSM, têm sido abordados devido à preocupação com a qualidade da água consumida, considerando que grande parte do *Campus* é abastecida por poços tubulares. Dessa forma, salienta-se a importância de verificar a potabilidade e a possibilidade de contaminação deste recurso, a fim de prever o comprometimento do fornecimento desta água.

A Resolução CONAMA 396 de 03 de abril de 2008 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, condições e padrões de qualidade e prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas. Em relação a estudos de qualidade de mananciais subterrâneos, Santos (2008) descreve algumas técnicas de amostragem e os parâmetros para a quantificação limite que podem indicar contaminação em aquíferos.

3.2 Poluição e contaminação

Conforme a Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, poluição é definida como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Pela definição *“in a broad sense, pollution has been characterized as an alteration of our surroundings in such a way that they become unfavorable to us and*

to our life" ^[1], Stumm e Morgan (1981) descrevem que esta caracterização implica que a poluição não é sinônima da adição de contaminantes ou poluentes para o ambiente, mas também pode resultar de outras consequências diretas e indiretas da ação humana.

Sánchez (2006) descreve que a poluição é uma condição do entorno dos seres vivos (ar, água, solo) a qual pode causar danos. As causas da poluição são atividades humanas que, no sentido etimológico, "sujam" o ambiente. Para Maciel Filho (1997), a poluição é toda a alteração artificial da qualidade física, química e biológica dos recursos naturais ou, mais precisamente, uma deterioração pejorativa que a distancie das normas.

Por contaminação do solo entende-se a adição de compostos químicos que modificam as características naturais do solo, limitando o seu uso, degradando a qualidade da água (superficial e subterrânea), constituindo, em suma, num risco para a saúde pública (COSTA, 2007).

A contaminação da água está vinculada ao lançamento de elementos que sejam diretamente nocivos à saúde do homem, animais e vegetais, independentemente do fato destes viverem ou não no ambiente aquático. A contaminação constitui um caso particular de poluição da água (OLIVEIRA, 1976).

A poluição pode ser classificada em duas formas básicas: pontual e difusa. A difusa compreende a poluição disposta de forma múltipla no ambiente devido às atividades urbanas, rurais e de deposição atmosférica, que ocorrem quando o escoamento superficial é transportado e atinge os recursos hídricos ou o solo. No contexto da agricultura, a degradação da qualidade da água e do solo está relacionada aos processos de manejo e aplicações químicas como o uso de defensivos agrícolas e fertilizantes, fontes de nitratos e metais pesados, que de forma não concentrada são descarregadas em corpos d'água.

Uma característica marcante da poluição difusa é a variabilidade na concentração de poluentes lançados nos corpos d'água, o que torna complexa sua avaliação (VON SPERLING, 2005).

Na poluição pontual, os locais e a quantificação de cada fonte são facilmente medidos e controlados, pois os poluentes acabam atingindo o solo ou corpo d'água

¹ "em sentido amplo, a poluição tem sido caracterizada como uma alteração dos nossos ambientes de tal forma que eles se tornam desfavoráveis para nós e para nossa vida" [tradução nossa].

de maneira concentrada no espaço, como o despejo de efluentes industriais, comerciais e domésticos.

A polêmica situação de muitos mananciais e cursos d'água não preocupa apenas aos ambientalistas e a mídia, mas envolve toda a sociedade, pois é ela que sofre diretamente as consequências de sua degradação. Essa situação discutiu-se no relatório da ONU intitulado “Águas Doentes”, onde foi declarado que “[...] a quantidade de água suja significa que mais pessoas morrem hoje por causa da água poluída e contaminada do que por todas as formas de violência, inclusive as guerras” (COCKE, 2010).

3.3 Degradação ambiental e áreas contaminadas

A degradação de um objeto ou de um sistema é, muitas vezes, associada à ideia de perda de qualidade, sendo assim poder-se-ia dizer que a degradação ambiental seria uma perda na qualidade ambiental (SÁNCHEZ, 2006). Essa perda de qualidade é quase sempre ligada a uma mudança artificial ou perturbação de causa humana.

Ao fazer uso da definição de Sachs (1974) quando diz que “a qualidade ambiental deve ser descrita com ajuda de indicadores objetivos e apreendida no plano de sua percepção pelos diferentes atores sociais”, Sánchez (2006) revê a ideia de degradação ambiental e a define como “qualquer alteração adversa dos processos, funções ou componentes ambientais, ou como uma alteração adversa da qualidade ambiental”.

Considerando a matriz solo, o termo “degradação” é o mais amplo e engloba o termo “poluição”. “Degradação do solo” significa a ocorrência de alterações negativas das suas propriedades físicas, tais como sua estrutura ou grau de compactidade, a perda de matéria devido à erosão e a alteração de características químicas devido a processos como a salinização, lixiviação, deposição ácida e a introdução de poluentes (SÁNCHEZ, 1998). O termo “área degradada” também é normalmente encontrado na literatura especializada, principalmente quando se trata de áreas mineradas e de grandes obras civis (CETESB, 2001).

No que diz respeito a áreas contaminadas, assunto relativamente recente na política ambiental mundial, a CETESB (2001) define uma área contaminada como:

[...] local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação, causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural. Nessa área, os poluentes ou contaminantes podem concentrar-se em subsuperfície nos diferentes compartimentos do ambiente, como por exemplo, no solo, nos sedimentos, nas rochas, nos materiais utilizados para aterrar os terrenos, nas águas subterrâneas ou, de uma forma geral, nas zonas não saturadas e saturadas, além de poderem concentrar-se nas paredes, nos pisos e nas estruturas de construções.

Existem ainda, no campo ambiental, muitos termos que são empregados para definir o estado de *stress* que um local possa estar submetido. Sánchez (1998) descreve que podem ser considerados sinônimos do termo "área contaminada", "sítio contaminado", "terrenos contaminados", "solos contaminados" e "solo poluído".

Na prática, um sítio contaminado nada mais é do que a ocorrência de concentrações de substâncias químicas que excedem os valores de referência constantes nas normas adotadas em cada país (COSTA, 2007).

Estabelecer padrões ou valores de referência é o que tem fornecido subsídios para manter a qualidade dos recursos, além de auxiliar a responsabilizar agressores e impor limites para as sobrecargas de emissões em recursos ambientais.

Reetz (2002) e Angnes (2004) avaliaram a qualidade ambiental dos recursos hídricos do *Campus* da UFSM por meio do estudo das cargas poluidoras produzidas a montante da bacia do *Campus* e a carga total na bacia. Seus estudos ressaltam níveis consideráveis de degradação para inúmeros parâmetros analisados. Moreira (2005) analisou a qualidade da água subterrânea de 40 poços existentes no *Campus*, dos quais 20 estavam sendo utilizados para captação e abastecimento da Universidade. A partir das análises de diversos parâmetros, a autora aponta que a água subterrânea utilizada pelo *Campus* da UFSM está recebendo cargas de efluentes líquidos, pois vários poços apresentaram qualidade inferior aos limites permitidos pela legislação.

Utilizando o banco de dados gerados por estes estudos, D'Ávila (2009) espacializou todas as fontes pontuais de emissão de efluentes líquidos e integrando aos dados de hidrogeologia local gerou mapas de vulnerabilidade a contaminação do aquífero que abastece o *Campus*. Estes resultados serviram de base para a escolha da área de estudo desta pesquisa, a qual, conforme os resultados de D'Ávila (2009) apresenta índice de vulnerabilidade média e é nela que está localizado o maior depósito de esgoto no solo (Figura 1).

A sensibilização em relação à contaminação de recursos naturais, sejam eles solo ou água, representa o primeiro passo em direção à criação de estruturas políticas, legais e institucionais na sociedade para que novas áreas contaminadas não sejam geradas.

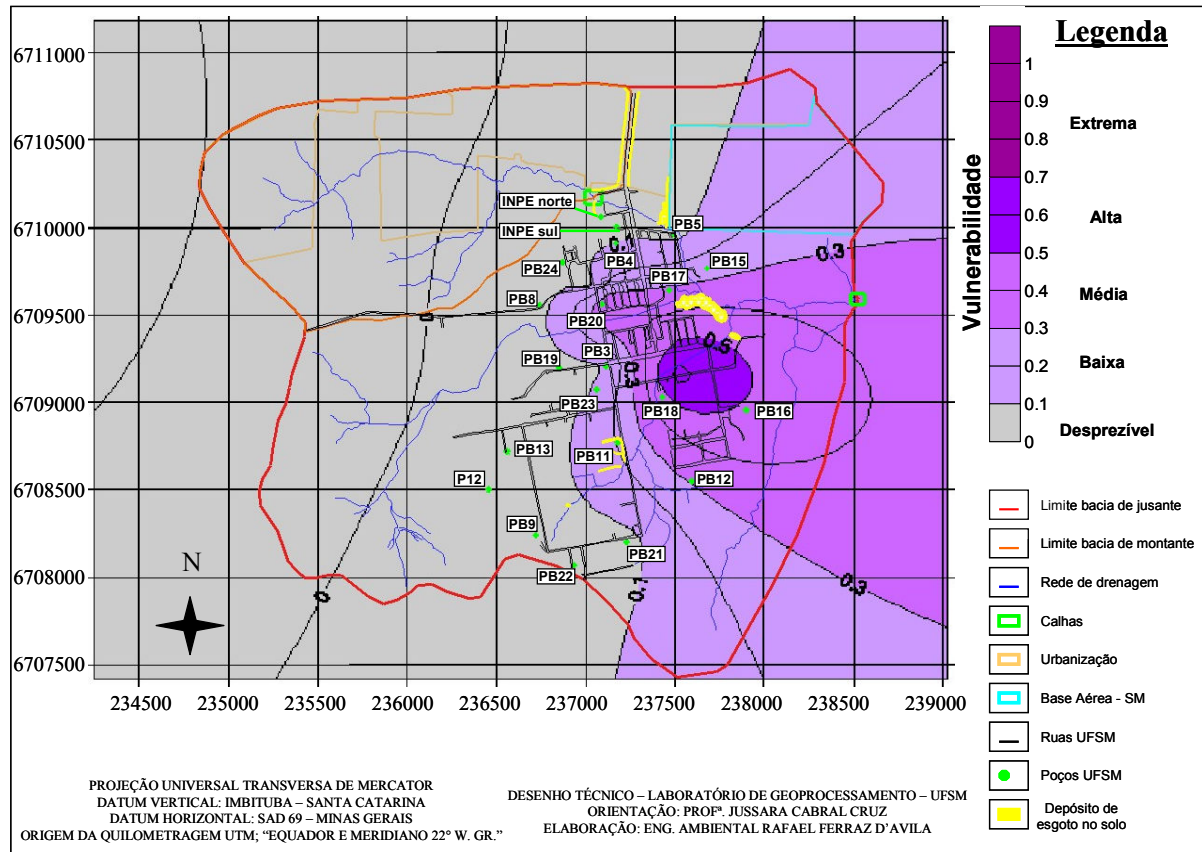


Figura 1 - Mapa da vulnerabilidade à poluição da água subterrânea da Bacia Escola do Campus da UFSM.

Fonte: D'Avila (2009).

3.4 Fontes de contaminação

O desenvolvimento urbano associado à presença de atividades industriais levou à existência de uma grande diversidade de materiais e substâncias químicas poluentes nos solos. A existência de áreas contaminadas pode ter origem a partir de

uma enorme quantidade de tipos de fontes potenciais de contaminação. Essas substâncias, resíduos e/ou efluentes tendem a contaminar diferentes compartimentos do meio ambiente, especialmente o solo e as águas subterrâneas alterando as suas propriedades físicas, químicas e biológicas tornando difícil a avaliação do seu estado de contaminação. Conhecer as potenciais fontes de contaminação é essencial para qualquer programa de proteção da qualidade da água subterrânea, já que são elas que geram a emissão dos contaminantes de subsolo (FOSTER et al., 2006).

Segundo o relatório do Congresso americano *Protecting the Nation's Ground Water from Contamination* (OTA, 1984), as fontes de contaminação das águas subterrâneas e também do solo são apresentadas em 10 itens, entretanto, Fetter (1993) classificou as mesmas fontes em seis categorias conforme sua origem:

- a) fontes para descargas de substâncias no subsolo (tanque séptico, fossa negras, poços de injeção de substâncias perigosas, aplicação de efluentes no solo, lodos de tratamento utilizados como fertilizantes, etc.);
- b) fontes para armazenar, tratar e/ou dispor substâncias no solo (aterros sanitários e industriais, lixões, bota-foras, lagoas de tratamento, depósito de pilhas, resíduos de mineração, tanques enterrados ou aéreos, etc.);
- c) fontes para reter substâncias durante seu transporte (oleodutos, tubulações, caminhões e trens);
- d) fontes para descarga de substâncias em atividades como irrigação de lavouras, aplicação de pesticidas e fertilizantes, percolação de poluentes atmosféricos, etc;
- e) fontes que funcionam como caminho preferencial da contaminação (poços de produção de petróleo, poços de monitoramento, etc.);
- f) fontes naturais ou associadas a atividades humanas (interação entre águas subterrâneas e superficiais contaminadas, emissão de gases tóxicos à atmosfera que podem infiltrar no solo através da precipitação).

A CETESB (2007) divide as fontes de contaminação em duas categorias principais:

- a) fonte primária de contaminação: instalação ou material a partir dos quais os contaminantes se originam e foram ou estão sendo liberados para os meios impactados;
- b) fonte secundária de contaminação: meio impactado por contaminantes

provenientes da fonte primária, a partir do qual outros meios são impactados.

A natureza da atividade poluente (especialmente em termos do tipo e da intensidade do contaminante) pode, em alguns casos, exercer uma influência predominante no impacto causado à qualidade da água subterrânea, a despeito da vulnerabilidade do aquífero (FOSTER et al., 2006).

Entre as mais variadas fontes de contaminação, este estudo limita-se a um tipo especial de fonte de contaminação, ou seja, o lançamento de efluente em solo.

3.4.1 Efluente sanitário

A contribuição clássica da poluição que apresenta risco de contaminação é formada pelas águas residuárias da atividade urbana como: esgoto doméstico, esgoto industrial, esgoto pluvial e lodo das estações de tratamento (JORDÃO; PESSOA, 2009). Quanto à origem específica deste efluente, parte-se da suposição que o mesmo seja doméstico. Essa fonte caracteriza-se ainda como fonte de contaminação pontual e, segundo Foster et al. (2006) geralmente produz uma pluma claramente definida e mais concentrada, o que facilita sua identificação (e, em alguns casos, seu controle).

Conforme definição de Benetti e Bidone (2004), o esgoto sanitário ou doméstico é um efluente que compreende as águas servidas, utilizadas para higiene pessoal, cocção de alimentos e lavagem de utensílios, provenientes de prédios residenciais, comerciais, administrativos, hospitalares e industriais. O volume de despejo de esgoto é bastante variável em uma comunidade e dependente do volume produzido de água. Convencionalmente, muitos autores, adotam como parâmetro de projeto o volume de esgoto igual a 80% do volume de água produzida para a comunidade em estudo. O esgoto é composto 99,9% de água e 0,1% de impurezas físicas, químicas e biológicas (VON SPERLING, 2005).

A parcela física do esgoto pode ser interpretada pela obtenção das grandezas correspondentes às seguintes definições: temperatura, cor, odor e turbidez. As principais características químicas dos esgotos são descritas segundo parâmetros como: sólidos totais, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, pH, alcalinidade,

cloretos, óleos e graxas. Os sólidos totais correspondem aos componentes orgânicos e inorgânicos em suspensão, dissolvidos e sedimentáveis. A natureza química classifica as substâncias em orgânicas (proteínas, gorduras, hidratos, fenóis, celulose, etc.) e inorgânicas (nitrogênio, fósforo, enxofre, metais pesados, etc.) (DACAHA, 1990; BENETTI; BIDONE, 2004; VON SPERLING, 2005).

A matéria orgânica é uma mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos, pode ser determinada indiretamente por meio da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), e diretamente por meio do Carbono Orgânico Total (COT) que é a medida da matéria orgânica carbonácea (VON SPERLING, 2005).

A parte biológica enquadra os micro-organismos presentes nos esgotos, bactérias, vírus, protozoários, fungos, helmintos e vermes. Muitos podem ser patogênicos e precursores de problemas de saúde pública (BENETTI; BIDONE, 2004; DACAHA, 1990; VON SPERLING, 2005).

Outra característica importante dos esgotos é a vazão, indicando o transporte conjunto de todos os seus componentes, tais como: água, matéria sólida (mineral ou orgânica), poluentes químicos e micro-organismos. As características físico-químico-biológicas, em sua maioria, estão relacionadas com grandezas quantitativas e quase sempre expressas em forma de concentração (mg/L, g/m³, etc); portanto, a quantidade ou vazão das águas residuárias influi diretamente na estimativa da massa de poluente presente no esgoto (kg/d, t/d, etc), assim como na avaliação dos impactos do meio ambiente (JORDÃO; PESSOA, 2009).

Fontes de poluição dessa natureza costumam apresentar uma gama variada de compostos que podem representar risco à população e ao meio ambiente, contribuição de sólidos, organismos coliformes e patogênicos (JORDÃO; PESSOA, 2009), nutrientes (nitrogênio e fósforo), matéria orgânica biodegradável, óleos, graxas e detergentes (BENETTI; BIDONE, 2004).

Conforme Foster et al. (2006) o despejo de efluente no solo caracteriza-se com uma atividade capaz de introduzir carga contaminante no subsolo, em que, os principais tipos de poluentes encontrados são nutrientes, patógenos fecais, carga orgânica geral, salinidade e microrganismos tóxicos. A Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece, no seu artigo 2º que a disposição de efluente no solo, mesmo tratado, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta

Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Quanto à emissão de efluentes, para serem lançados num curso d'água, estes devem ter qualidade que satisfaça os padrões de lançamento e que não confirmem características em desacordo com a classificação do corpo hídrico.

No Rio Grande do Sul, conforme a Lei Estadual nº 11.520/2000, que institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul, o seu artigo 137º determina que todos os esgotos devem ser tratados previamente quando lançados no meio ambiente (RIO GRANDE DO SUL, 2000).

A Resolução nº 128, de 24 de novembro de 2006, do Conselho Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (CONSEMA), dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado. Esta Resolução aplica-se a todas as atividades geradoras de efluentes líquidos, excluindo infiltrações no solo.

No caso dos esgotos domésticos, os principais contaminantes são a matéria orgânica, expressa usualmente em termos de DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e organismos patogênicos, com destaque para vírus, bactérias e protozoários (VON SPERLING, 2005). A DBO é a quantidade de oxigênio dissolvido que os organismos necessitam para degradar metabolicamente determinada quantidade de matéria orgânica. Segundo Jordão e Pessoa (2009) a DBO dos esgotos domésticos no Brasil está em torno de 300 mg/L, ou seja, cada litro de esgoto descartado no rio consome 300 mg de oxigênio.

3.4.2 Sistemas de tratamento

Em decorrência das necessidades de saneamento básico efetivo nas áreas não abrangidas pelo sistema de rede coletora de esgoto, sejam estas rurais ou urbanas, da proteção do meio ambiente e do manancial hídrico a NBR 13969 (ABNT, 1997) dispõe de opções coerentes para a disposição final de efluente líquido em solo.

Esta norma complementa a parte referente ao tratamento e disposição dos efluentes de tanques sépticos da NBR 7229 (ABNT, 1993), oferece alternativas de

procedimentos técnicos para o projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanque séptico para o tratamento local de esgotos.

O sistema de tanque séptico é um procedimento técnico adequado e confiável quando há ausência de sistemas convencionais de saneamento. Observa-se no esquema da figura 1 o sistema de tratamento por tanque séptico e os tratamentos complementares e de disposição final do efluente.

As restrições de uso e operação do sistema tanque séptico, tratamento complementar e disposição final de efluente limitam-se nas características do solo (capacidade de percolação, características químicas e saturação) e da distância mínima vertical entre o fundo do sistema adotado e o nível freático que deve ser de 1,5 m mínimos, não sendo recomendado na maior parte dos casos, para solos arenosos.

Porém é fato comumente encontrado em periferias, locais sem rede de esgoto e distantes de cursos d'água a disposição do efluente no solo. Esta prática, em que, a carga contaminante gerada na superfície ou no subsolo, por emissões e lixiviados produzidos pela atividade humana é inadequadamente controlada e, em certos componentes, excede a capacidade de atenuação natural dos solos e das camadas de cobertura podem ocasionar a poluição dos recursos subterrâneos (FOSTER et al, 2006).

Sabe-se que o solo é o habitat natural para uma grande variedade de organismos, responsáveis por inúmeras funções, os quais apresentam uma grande variedade de tamanhos e metabolismos (RIBAS; FORTES NETO, 2008) e que águas residuárias de atividades domésticas apresentam inúmeros nutrientes minerais além de fonte de matéria orgânica. Este fato fez com que deixasse de ser visto apenas como despejo residual e passasse a ser considerado um recurso hídrico aproveitável (METCALF; EDDY, 2003).

Diferentes técnicas de descarte/tratamento visando ao aproveitamento das águas residuárias domésticas com aplicação em solo vêm sendo testadas e remetem a bons resultados (RIBAS; FORTES NETO, 2008; LOURES et al., 2006), além de ser uma maneira alternativa para disposição de resíduos e controle biológico de poluentes, constituindo-se em um modo adequado, desde que bem manejado, de fornecimento de nutrientes ao solo (FONSECA, 2000).

Alguns locais de emissão de efluente líquido podem coincidir, dependendo das características do terreno, à áreas úmidas, com processo semelhantes aos encontrados em *wetlands* naturais. Essas áreas transitórias entre solo e água, com vegetação característica são complexos ecossistemas que podem funcionar como locais de recarga de aquíferos e servem de suporte a uma ampla diversidade de vida selvagem (GOPAL, 1991; KIVAISI, 2001).

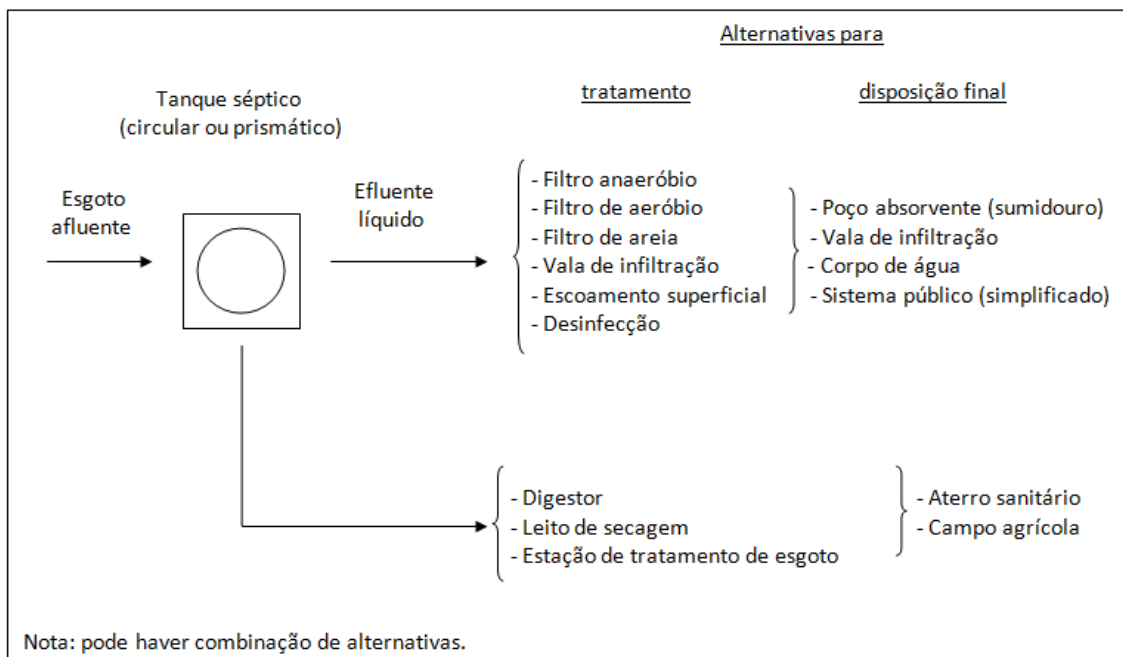


Figura 2 - Sistema de tanque séptico – esquema geral.

Fonte: NBR 7229 (ABNT, 1993).

Os *wetlands* naturais apresentam alta capacidade autodepuradora por serem áreas inundadas constante ou sazonalmente, que desenvolvem uma vegetação adaptada à vida em solos alagados, com valor ecológico inestimável quanto à melhoria da qualidade da água, apresentando enorme diversidade biológica (HEGEMANN, 1996; COSTA et al., 2003). A vegetação adaptada à vida em solos encharcados promove a depuração do efluente por meio de mecanismos químicos, físicos e biológicos atuantes no sistema solo-água-planta. O substrato aliado às raízes das macrófitas constitui local ideal para remoção de nutrientes pela formação do biofilme microbiano (COSTA et al.; 2003; BEDA, 2011).

Conforme Ribas e Fortes Neto (2008) plantas aquáticas, como as macrófitas providas de rizomas, têm sido utilizadas visando à melhoria da qualidade de efluentes e no tratamento de águas residuais, essa tecnologia, *in situ*, é conhecida por fitorremediação. Estudos recentes com *wetlands* construídos verificam os mecanismos ou fatores determinantes na remoção de coliforme e vinculam os resultados à radiação solar, temperatura, retenção nas raízes das plantas e no biofilme, adsorção à matéria orgânica, predação, competição, efeito biocida resultante do material excretado por algumas macrófitas. (RIVERA et al., 1995; USEPA, 1988; KHATIWAD, POLPRASERT, 1999; KADLEC et al., 2000; KARIM et al., 2004) *apud* (CALIJURI et al., 2009).

De forma geral, pode-se entender o solo como um agente depurador, o sistema solo-planta como um reator renovável e os esgotos como fonte de energia (Paganini, 1997) e não apenas como um problema ambiental, desde que, essas práticas tenham uma concepção técnica e um monitoramento para que não ocorram possíveis alterações comprometendo a qualidade dos recursos superficiais e subterrâneos.

3.5 Gerenciamento de áreas contaminadas

A origem de atividades potencialmente contaminantes no ambiente relacionada a descargas domésticas e agrícolas podem representar riscos à saúde pública, aos ecossistemas, à segurança das pessoas e das propriedades.

Um dos primeiros problemas a ser reconhecido como de grande importância é a contaminação das águas subterrâneas utilizadas para abastecimento público e domiciliar, além do comprometimento de aquíferos ou reservas importantes de águas subterrâneas.

Outro fator de relevância que uma área contaminada pode representar é referente às limitações dos usos possíveis do solo, induzindo restrições ao desenvolvimento urbano e problemas econômicos relativos ao valor dos imóveis.

O gerenciamento de áreas contaminadas (ACs) visa minimizar os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente (CETESB 1100, 1999). O encaminhamento de soluções para essas áreas por parte dos órgãos que possuem

atribuições de administrar os problemas recorrentes da existência das mesmas deve contemplar um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos impactos por elas causados. A partir de então, criar e aplicar instrumentos adequados e formas de intervenção que possam minimizar os riscos à população e ao meio ambiente (CETESB 1000, 2001).

Na maior parte dos países da União Europeia (UE), assim como nos Estados Unidos são desenvolvidas políticas no sentido de solucionar os problemas causados pela existência das áreas contaminadas. Os países mais desenvolvidos da UE possuem uma estratégia de proteção de solos contaminados e, em sua maioria, com uma abordagem sistemática de identificação dessas áreas (BRITO et al., 2003). A título de exemplo, Britto et al. (2003) citam que na Alemanha foram contabilizados 362.000 sítios potencialmente contaminados, enquanto na França o número estimado situa-se entre 200 e 300 mil e na Holanda e Reino Unido rondará os 100 mil.

Conforme os estudos de Sánchez (1998), os países que mais avançaram no trato da questão das áreas contaminadas, evoluíram no sentido de adotar políticas corretivas e começaram também a esboçar ações de cunho preventivo voltadas para alguns setores industriais/comerciais, cujo potencial de contaminação de solos é elevado.

Estudo realizado por Magalhães (2000) ressalta que, no Brasil, apenas o Estado de São Paulo conta com um melhor gerenciamento de áreas contaminadas, por meio de bancos de dados da CETESB e da Prefeitura de São Paulo. As demais regiões e estados federativos do Brasil não têm acesso regular a ocorrências, números de registros e caracterizações de áreas contaminadas por resíduos perigosos. Em suas considerações finais, a autora aponta que a gestão de sítios contaminados no Brasil é incipiente, observando os pontos fracos em relação aos aspectos da gestão de outros países, a falta de uma legislação ambiental pertinente no Brasil, o desconhecimento do número de áreas potencialmente contaminadas, suspeitas de contaminação e contaminadas, refletindo na forma confusa e ineficiente com a qual governo (federal, estadual e municipal) tem tratado os casos.

A CETESB (2007) define dois processos que constituem a base do gerenciamento de ACs:

- a) processo de identificação;
- b) processo de recuperação.

Este trabalho restringe-se apenas ao processo de identificação de áreas contaminadas, com o objetivo de quantificar e qualificar dados e indicadores ambientais que possam servir de modelo e/ou exemplo de diagnóstico ambiental de um cenário comumente encontrado em cidades brasileiras: o despejo de efluente em solo.

O processo de identificação de áreas contaminadas proposta pelo Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB 1100 (1999) tem como objetivo principal a localização das áreas contaminadas, sendo constituído por quatro etapas:

- a) definição da região de interesse;
- b) identificação de áreas potencialmente contaminadas;
- c) avaliação preliminar;
- d) investigação confirmatória.

Petts et al. (1997) propôs uma abordagem metodológica para a avaliação da potencial contaminação existente em um local e preconiza a existência de três entidades distintas: a fonte ou origem da contaminação; o alvo ou meio receptor da contaminação (biofísico e/ou antropogênico); e o trajeto ou caminho que permite a condução da contaminação, desde a fonte até ao alvo.

De acordo com as definições de Petts (1997), Costa (2007) descreve a origem ou fonte de contaminação como todo local, cujas concentrações de elementos poluentes estejam acima de valores de referência. A caracterização da fonte de contaminação deve contemplar as seguintes etapas:

- a) análise dos potenciais locais de contaminação – identificação da origem da contaminação e definição de valores-guia de concentração das substâncias tóxicas;
- b) identificação e caracterização dos elementos químicos existentes no meio (solo e água) em termos toxicológicos, conhecidos os contaminantes e a respectiva relação dose-efeito, avaliação dos efeitos na saúde pública e no ambiente, o qual descreve e quantifica a relação entre a exposição ao contaminante e os efeitos adversos na saúde pública e no ambiente.

O trajeto ou meio de transferência da contaminação, assume a dupla condição, transmissor/barreira e receptor primário. No que se refere à contaminação do trajeto, o meio geológico em geral e as águas subterrâneas, em particular, correm o risco de infiltração dos contaminantes no solo e de percolação na zona saturada (COSTA, 2007).

Trata-se de um risco efetivo, que se admite ser limitado em extensão e cuja evolução está dependente dos mecanismos de atenuação natural como a degradação e/ou transformação por via química, física ou microbiana, ou ainda pode-se ligar às partículas do solo ou à matéria orgânica. Em particular, a atividade de micro-organismos auxilia na decomposição de muitos compostos presentes no solo, entretanto, a população de bactérias decresce com a profundidade, tornando-se reduzida ou mesmo desaparecendo entre 1,20 a 1,80m. Dependendo da permeabilidade, muitos dos poluentes podem ser lixiviados pelo perfil do solo contaminando as águas superficiais e subsuperficiais. As características físico-químicas e biológicas do solo determinam o destino final desses poluentes. Desta maneira, o trajeto funciona como receptor primário da contaminação, como meio transmissor e/ou filtro. (COSTA, 2007; FRIGHUETTO, 1999 e DACAH, 1990).

Ainda de acordo com Costa (2007), o alvo ou receptor secundário é, para além do meio biofísico, o meio antropogénico. Relativamente à caracterização do alvo, em estudos de análise de risco o alvo é, em regra, definido pela sua sensibilidade às substâncias tóxicas e pela sua posição no meio receptor. Em teoria, a sensibilidade do alvo pode ser definida em termos toxicológicos, conhecidos os contaminantes e a respectiva relação dose-efeito. As formas de exposição à contaminação podem ocorrer por duas vias principais: exposição direta à contaminação, quando ocorre em termos de ingestão, inalação ou contacto via cutânea de solos e poeiras, ou exposição indireta quando o trajeto mais grave corresponderá à ingestão (e, em menor grau, ao contacto via cutânea) de águas de consumo humano provenientes de captações contaminadas (COSTA, 2007).

A partir da análise integrada destas três entidades, Costa (2007) define que a existência de risco só ocorrerá:

- a) se não existir uma fonte, não há contaminação, por definição e, em consequência, não existe risco;
- b) se existe fonte, mas não existe alvo, nenhum receptor será afetado e, em consequência, não existe risco;
- c) se existe fonte e alvo mas não existe trajeto a ligá-los, não existe a possibilidade de risco.

Portanto, para que haja risco é necessário que se prove a existência de conexão das três entidades referidas. Observa-se na figura 3, de forma esquemática, um esboço de um modelo conceitual preliminar de contaminação.

Brito et al. (2003) apresenta um modelo SIG para a avaliação de locais prioritários para a investigação da contaminação de solos desenvolvendo uma metodologia baseada no modelo conceitual de Petts et al. (1997) o qual estabelece um sistema de classes de prioridades atendendo a níveis de informação que descrevem a situação ambiental do território considerando o tipo de fonte e as características do meio envolvente (receptor). O trabalho permitiu, de forma sistemática, definir parâmetros indicadores do potencial de poluição das fontes, de forma a avaliar o impacto no meio receptor envolvido, classificando por ordem de prioridade àqueles cuja situação se representa como a mais desfavorável do ponto de vista de proteção ambiental. Brito et al. (2003), em trabalho sequencial apresenta uma abordagem com base na análise fatorial de correspondências, para a classificação e hierarquização dos locais com maior risco de contaminação dos solos, seguindo a metodologia de Petts et al. (1997) aplicada ao mesmo local.

De forma sucinta, Costa (2007) define um plano de investigação e recuperação de uma área potencialmente contaminada conforme o quadro 2. No presente estudo foi abordada a etapa inicial (1ª Etapa) contemplada até a fase de investigação exploratória e algumas considerações complementares para a investigação detalhada.

Todos os estágios dos trabalhos de investigação e respectiva coleta e análise das informações sucessivas favorece a tomada de decisões à medida que se vai obtendo um quadro da situação progressivamente mais nítido, permitindo a obtenção da melhor relação custo/benefício.

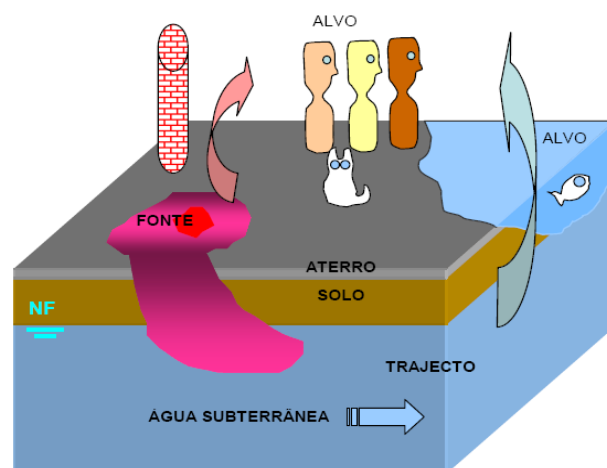


Figura 3 - Ilustração do modelo conceitual de contaminação

Fonte: Costa (2007).

1ª ETAPA – Avaliação da contaminação dos terrenos

1.1 Fase de Investigação preliminar

› Modelo conceitual de contaminação (1)

Definição da região de interesse; identificação de áreas potencialmente contaminadas; avaliação preliminar.

1.2 Fase de Investigação exploratória

› Refinamento do Modelo conceitual de contaminação (2)

1.3 Fase de Investigação detalhada

› Modelo de contaminação (3)

2ª ETAPA – Análise de Risco

2.1 Cálculo do risco para a saúde e para o ambiente

2.2 Zoneamentos das áreas de risco

› Modelo de Risco

3ª ETAPA – Plano de descontaminação

Quadro 2 - Etapas do plano de investigação de áreas potencialmente contaminadas.

Fonte: Adaptado de Costa (2007).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo selecionada por esta pesquisa situa-se no *Campus* da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), implantada em 1960, localizada na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 4), entre as coordenadas geodésicas 53°46' a 53°43' a Oeste de *Greenwich* e entre 29°42'30" a 29°45' ao Sul do Equador. O *Campus* encontra-se a aproximadamente 9km do centro de Santa Maria e a 290km da capital Porto Alegre.

O clima da região segundo a classificação de Köppen é o *Cfa* - subtropical úmido sem estação seca definida, o regime pluviométrico regional é bem distribuído durante as quatro estações do ano com precipitações médias anuais variando entre 1322 a 1769mm, porém nos meses de verão as precipitações são insuficientes para atender as demandas evapotranspiratórias das culturas (ZAMBERLAN, 2007).

A bacia hidrográfica do *Campus* situa-se em uma das nascentes do rio Vacacaí-Mirim, que por sua vez é afluente do rio Jacuí. Esta bacia possui uma área de drenagem de aproximadamente 9,7km² e duas ocupações predominantes: uma região com ocupação basicamente residencial e uma área de domínio predominantemente do *Campus* da UFSM (SILVEIRA et al., 2003).

Na porção da sub-bacia de montante (Figura 4)², que não pertence à Universidade, ocorre um intenso processo de urbanização provocado pela implantação de núcleos habitacionais populares, ocupações de terras por invasões e construções de elevado padrão, além de problemas ambientais envolvendo esgoto a céu aberto, resíduo sólido urbano, criação de animais, degradação de fragmentos de vegetação natural, retirada da mata ciliar, entre outros (BRUN et al., 2011 e SILVEIRA et al., 2003) e que acabam provocando a poluição dos cursos d'água receptores.

² Nota: todas as figuras e quadros que não contêm fonte são pertencentes ao acervo do grupo GERHI

Na porção intermediária da pequena bacia hidrográfica, representada na figura 4 pela sub-bacia de jusante, a área pertencente ao *Campus* ocupa a maior parte, existindo poucas residências em sua região norte.

Posteriormente, no ano de 2009, foi somada à microbacia do *Campus* uma terceira área, denominada microbacia Rural, portanto, atualmente, a microbacia do *Campus* está dividida em três sub-bacias: a sub-bacia de montante, chamada de microbacia Urbanizada - Gráfica, a sub-bacia de jusante (predominantemente da UFSM) chamada de microbacia *Campus* - Pains e a microbacia Rural. Na figura 5 ilustra-se estas três microbacias.

Entretanto, para este estudo, apenas a microbacia *Campus* - Pains, (sub-bacia de jusante), será considerada, pois a área de avaliação ambiental localiza-se nesta porção da bacia hidrográfica. A seção de monitoramento encontra-se no lado noroeste do Restaurante Universitário (RU) e dos Prédios da Casa do Estudante (CEU), e apresenta um depósito de esgoto no solo (D'AVILA, 2009), que abrange uma área aproximada de 17014m² (Figura 6). O depósito, ou área alagada, recebe cargas poluentes de inúmeras fontes pontuais de efluente líquido, sendo esta, a principal causa da degradação do respectivo ambiente. O efluente gerado escoar até atingir um curso d'água, conhecido como sanga Lagoão do Ouro (Prefeitura Municipal de Santa Maria). Este mesmo córrego, foi registrado na ANA (Agência Nacional de Águas) quando, em seu leito, instalaram-se duas seções hidrológicas de referência (calha da gráfica e calha do Pains), conforme o quadro 3, para avaliações quali-quantitativas dos recursos superficiais na Bacia do *Campus*. Segundo este registro a sanga Lagoão do Ouro passou a ser denominada também por arroio da Gráfica. Atualmente, podem ser encontradas as duas nomenclaturas para designá-los.

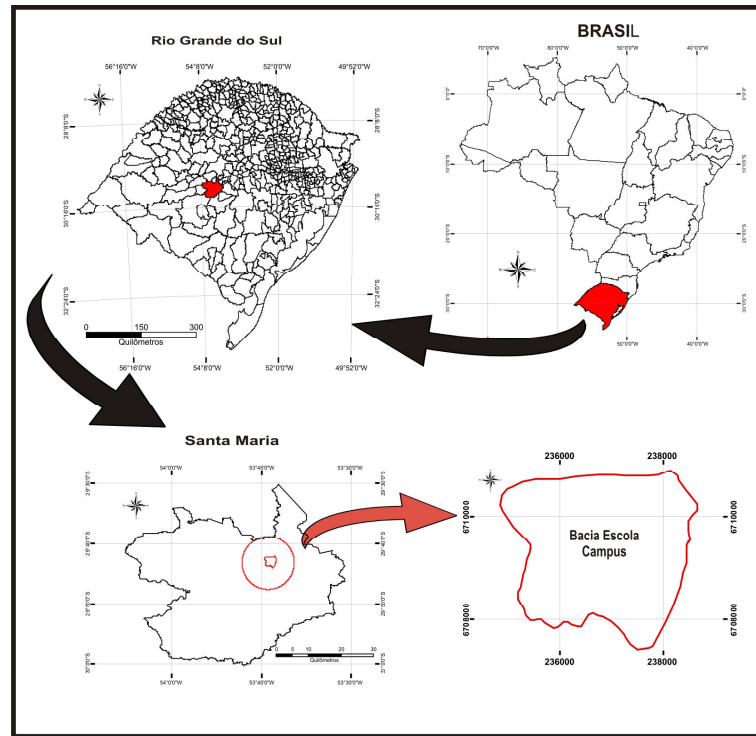


Figura 4 - Mapa de localização da bacia do *Campus* da UFSM - Santa Maria- RS.

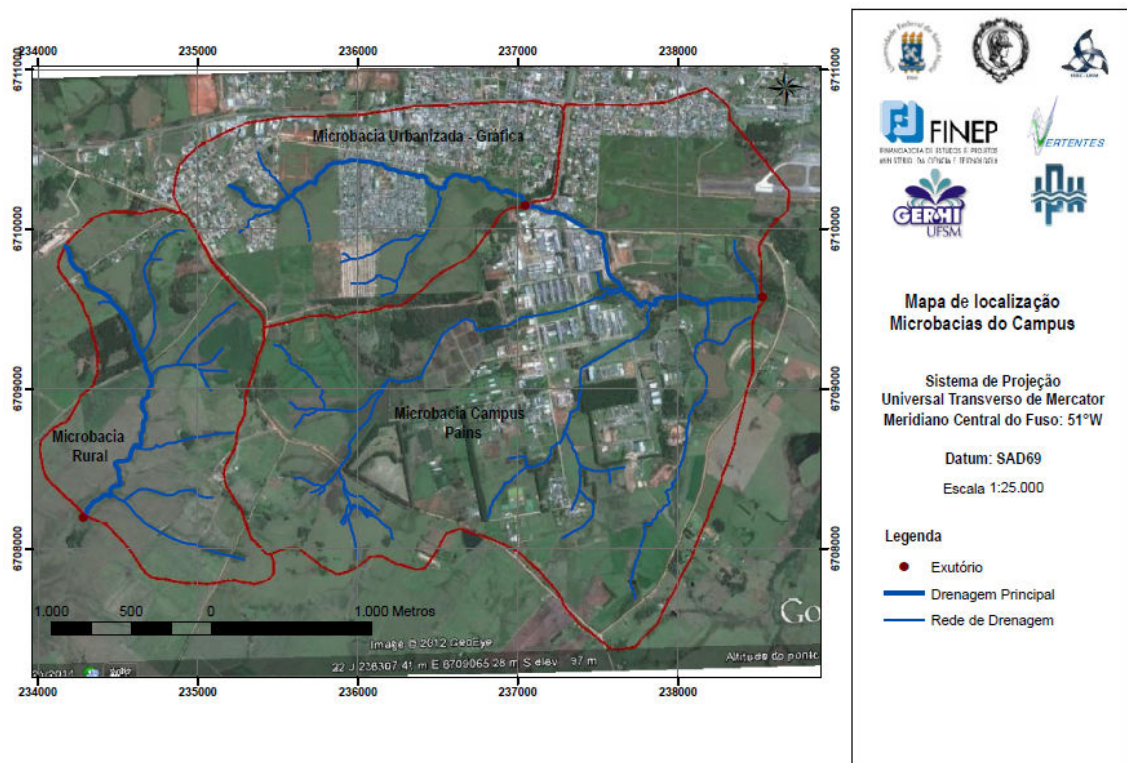


Figura 5 - Imagem das três microbacias.

Código ANA	Nome	Sub-Bacia	Rio	Estado	Município	Responsável	Operadora
85439000	Bacia Escola UFSM/PAINIS	85	ARROIO MARIANO DA ROCHA	RIO GRANDE DO SUL	SANTA MARIA	UFSM	UFSM
854392000	Bacia Escola UFSM/GRÁFICA	85	ARROIO DA GRÁFICA	RIO GRANDE DO SUL	SANTA MARIA	UFSM	UFSM
	Bacia Rural/UFSM	85		RIO GRANDE DO SUL	SANTA MARIA	UFSM	UFSM

Quadro 3 - Estações fluviométricas do *Campus* da UFSM.

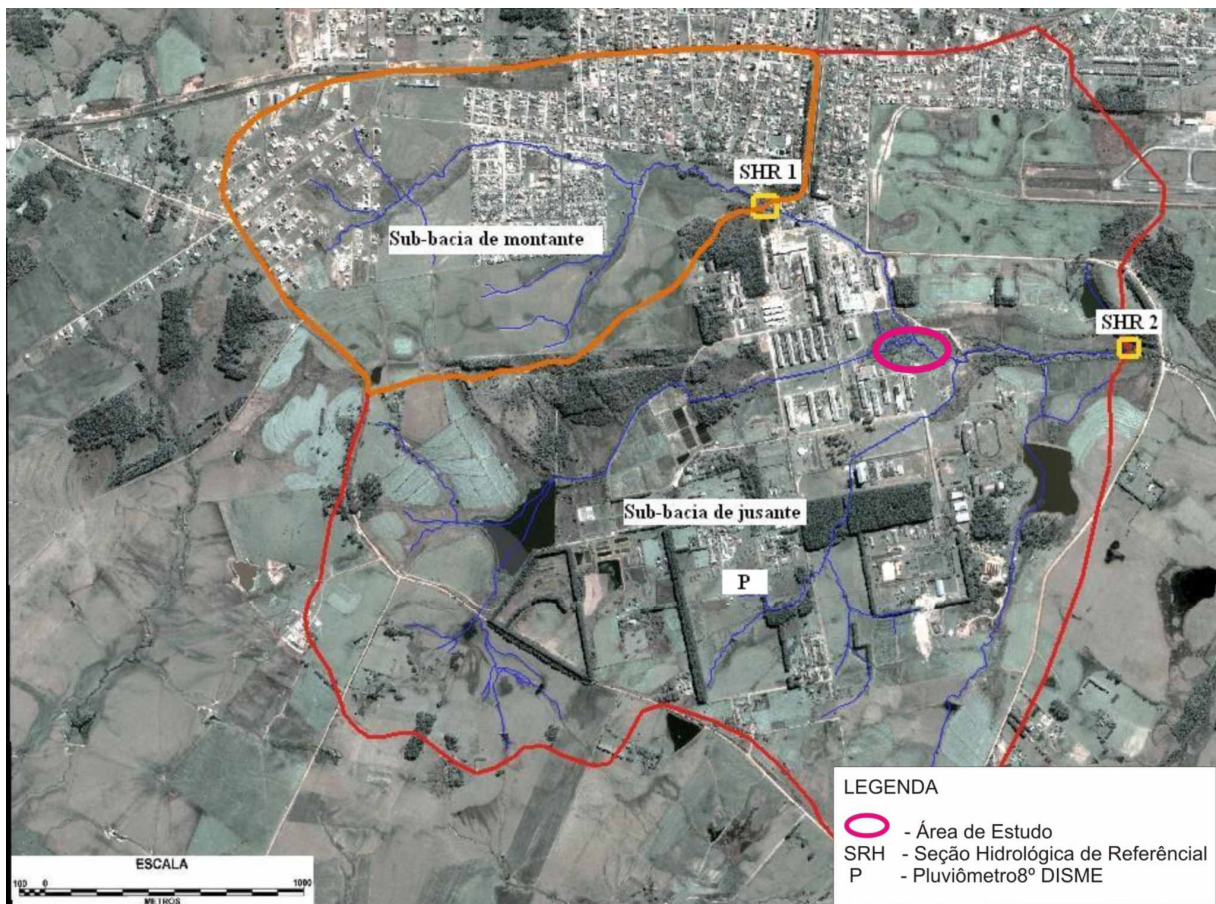


Figura 6 - Mapa de delimitação da bacia hidrográfica do *Campus* e localização da área de estudo.

Fonte: Adaptado de D'Avila (2009).

4.2 Investigação preliminar

O primeiro passo para a investigação da área potencialmente contaminada é definir os limites da região de interesse, considerando os principais bens a proteger, neste caso, as águas superficiais, subterrâneas, o solo e as áreas protegidas. Portanto, o reconhecimento do local e a identificação dos pontos sujeitos a contaminação (fonte e meio receptor) orientam os trabalhos de prospecção a executar nas fases seguintes para elaboração do modelo conceitual de contaminação para a área em questão. Nesta fase realizam-se levantamentos de dados existentes e a caracterização do terreno.

4.2.1 Levantamento histórico da área

O levantamento de informações já existentes do local como resultado de um estudo preliminar ou exploratório constitui uma excelente fonte de informações na elaboração do plano de amostragem (CETESB 6300, 1999).

A busca por informações a respeito das atividades e processos realizados anteriormente na área de interesse como: uso do solo, disposição de materiais de qualquer natureza, escavações e movimentos de terra, entre outros, serviram para um melhor entendimento da atual situação do local. Algumas informações a respeito da utilização da área no passado foram encontradas no acervo do Departamento de Arquivo Geral, Arquivo Permanente da UFSM.

A planta parcial de situação e localização do *Campus* da UFSM, de junho de 2002, em escala 1:5000, foi cedida pela Prefeitura do Campus, e as fotografias aéreas fornecidas pelo Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências Rurais (CCR) da UFSM.

Informações realizadas em estudo anterior, sobre as possíveis fontes de contaminação da área, foram utilizadas como parâmetro preliminar de avaliação nesta pesquisa. O banco de dados já existente possibilita acelerar o processo preliminar de investigação, antecipando alguns estudos que, sem essas informações, deveriam ser efetuados. Com base nestas informações, decide-se se

há necessidade de refazer algum teste ou medida para definir os cronogramas e intervalos de amostragens dos estudos exploratórios.

4.2.2 Avaliação das características naturais do terreno

A caracterização geral do sítio e de seu subsolo foi realizada por meio de visitas de reconhecimento, levantamento planialtimétrico, sondagens manuais e mecânicas, descrição geológica, hidrogeológica, caracterização da vegetação, fotografias do local e informações sobre as características da bacia hidrográfica do *Campus* realizados em estudos anteriores.

O levantamento planialtimétrico realizou-se a partir do sistema de posicionamento geográfico *Global Position System* (GPS) com a utilização de um par de receptores Marca *Topcon® modelo hiper lite+* com RTK pertencente ao setor de Geoprocessamento do Colégio Politécnico da UFSM, e georreferenciou a área e os pontos monitorados conforme a figura 7.

A estratégia de investigação a partir de sondagens, manuais e mecânicas foi estabelecida considerando dois principais objetivos: a identificação dos materiais ao longo da profundidade como apoio à caracterização geológica e a futura instalação de poços de monitoramento piezométrico e de qualidade da água subterrânea. Um primeiro estudo da área aconteceu a partir de investigação com uso de sondagens a trado manual, tipo holandês (Figura 8), realizado em alguns pontos para o reconhecimento dos solos superficiais até a profundidade de 3m (Figura 9).

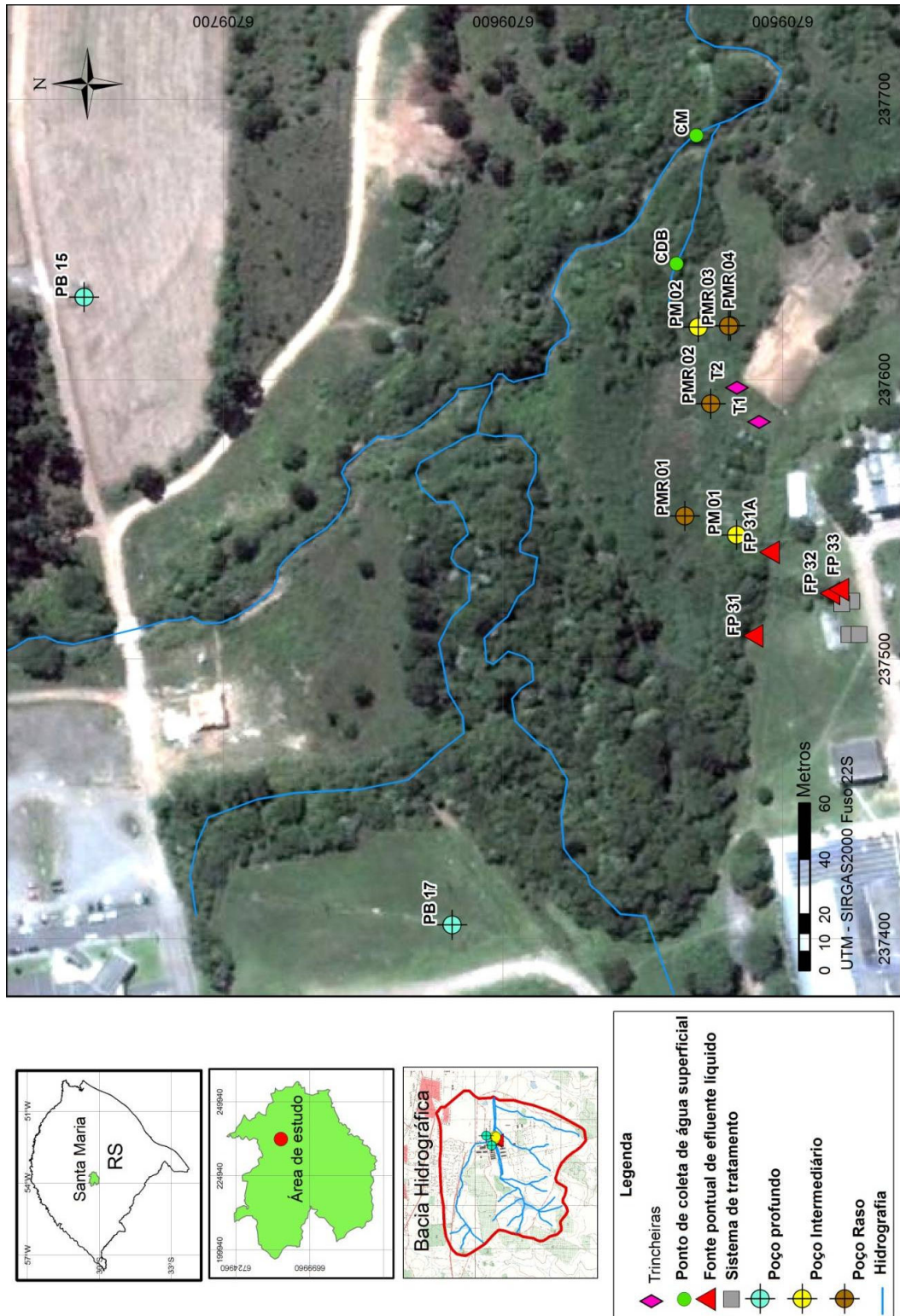


Figura 7 - Mapa de Localização da área de estudo e dos pontos de amostragem: solo, fontes pontuais de efluente, água superficial, subsuperficial e subterrânea.



Figura 8 - Sondagem investigativa a partir de perfuração manual com trado tipo holandês de 2" de diâmetro, amostra de solo entre 1,00 a 1,50 metros de profundidade.



Figura 9 - Sondagem investigativa a partir de perfuração manual, amostra do solo encontrado na profundidade de 3 metros aproximadamente.

A partir de sondagens investigativas foram estabelecidos os locais para perfuração dos poços e definidas as profundidades a fim de determinar o transporte dos contaminantes através das camadas do substrato (matriz de solo e/ou rocha). A escolha seguiu, de maneira geral, a orientação da topografia plana do local, a disposição das camadas, a hidrogeologia da área (quando disponível) e das condições de acesso ao terreno. À medida que as prospecções ocorreram, algumas informações alteraram a estratégia de perfuração e realocaram a instalação de poços em pontos não previstos anteriormente.

Definiram-se nessa etapa duas redes de monitoramento. A primeira integra a seção de drenagem superficial e subsuperficial (fluxo horizontal), incluindo a emissão de efluente (fonte geradora do fluxo). A segunda rede é a seção subterrânea intermediária e profunda (fluxo vertical).

A construção dos poços seguiu as normas técnicas para perfuração de poços de monitoramento em aquíferos granulares ABNT/ NBR 15495-1 (2007) e a metodologia proposta por Feitosa et al. (2008) e da CETESB 6410 (1999).

Na primeira rede de monitoramento, na jusante da emissão de efluente instalaram-se quatro poços rasos, denominados pela sigla "PMR" seguido pelo número de identificação. Estes poços foram perfurados na área alagada do solo e distribuídos de maneira que pudessem refletir a qualidade do efluente em relação a distância do ponto de lançamento (decaimento da pluma). O primeiro poço, PMR-01 (Figura 10), o segundo PMR-02 e assim sucessivamente. Ainda, o último poço, PMR-04, foi instalado ao lado do poço mais distante, PMR-03, (em relação às fontes), porém, com profundidade diferente, a fim de mensurar a qualidade para níveis verticais diferentes, devido à infiltração/percolação na matriz de solo.

Os poços foram perfurados utilizando-se trado manual de 4" de diâmetro, tipo holandês (Figura 11), instalados em tubo PVC ranhurado 2" de diâmetro (filtro e revestimento) com seção filtrante de 50 cm e profundidade do poço instalado de 1,00 metro, com exceção ao PMR-04, instalado com 2,50 metros de profundidade. Todos os poços foram preenchidos por pré-filtro (0,80 cm), uma areia selecionada colocada no espaço anelar existente entre o revestimento/filtro e a perfuração (Figura 12), a fim de estabilizar os finos e permitir maior percentagem de área aberta nas ranhuras (FEITOSA et al., 2008). Para o preenchimento anelar restante, os poços receberam massa de bentonita, com a finalidade de fixar o revestimento à parede do poço (Figura 13), e no caso do PMR-04 oferecer ainda proteção sanitária, contra possível infiltração da água superficial à seção drenante (filtro) e consequente mistura (contaminação) com a água captada pelo poço. Foi ainda, colocado uma proteção de madeira ao redor dos tubos com tampa, para evitar possíveis choques com o escoamento superficial precipitado, proteção ao vento e agentes externos (aves, abelhas, insetos, etc.).



Figura 10 - Perfuração dos poços rasos por trado holandês 4" de diâmetro.



Figura 11 - Colocação do pré-filtro no poço raso.



Figura 12 - Preenchimento com bentonita para fixação do poço.



Figura 13 - Poço PMR-01 instalado.

A segunda rede de monitoramento, constituiu-se na instalação de dois poços intermediários, com profundidade de 15,00 metros para o poço PM-01 e 15,40 metros de profundidade para o poço PM-02, perfurados por meio de percussão com jato de água, diâmetro de 4 polegadas por uma equipe de profissionais da área (Figura 14). O procedimento de perfuração seguiu de forma minuciosa os cuidados para não ocorrer contaminação do aquífero subjacente, através da comunicação com a pluma

superficial. Sendo assim, a perfuração foi realizada com tubo de revestimento PVC até a profundidade de 4,00 metros, o qual permaneceu no local após a instalação dos poços como medida de segurança. O comprimento da seção drenante (filtro) foi definido em função das características locais do aquífero, identificadas no instante da perfuração (FEITOSA et al., 2008), sendo que, para os dois poços intermediários o filtro instalado tem 3,5 metros de comprimento. Utilizou-se pré-filtro e uma camada selante, em torno de 1 metro de espessura, com bentonita, para proteção sanitária e/ou separação de aquíferos (FEITOSA et al., 2008).



Figura 14 - Perfuração do poço PM-02 por meio de percussão com jato de água.

A outra seção subterrânea que completa a segunda rede de monitoramento são dois poços já existentes no *Campus*. Um deles, PB-15, é bombeado para abastecimento público (setor 2 de abastecimento da Universidade, reservatório do Hospital Universitário e Departamento de Fitotecnia), e está localizado no extremo Norte da área, por onde, possivelmente, e segundo estudos anteriores está direcionado o fluxo subterrâneo deste aquífero (D'ÁVILA, 2009; MARION, 2009). O outro, PB-17, é um poço desativado, que foi recuperado pela instalação de um tubo

guia (monitoramento do nível estático e coleta de amostras) com purga (retirada de certo volume) para limpeza e desenvolvimento (CETESB 6410, 1999; NBR 15495-1, 2007; FEITOSA et al., 2008). Segundo informações de Moreira (2005) o poço possui uma profundidade de 68 metros e nível estático variando de 8,72 a 16,10 metros.

A localização da rede de poços instalados e já existentes (PB-15 e PB-17), bem como os demais pontos monitorados está ilustrada na figura 7.

A descrição da geologia foi efetuada com base na análise das amostras coletadas durante as perfurações dos poços intermediários (PM-01 e PM-02), pelo Departamento de Geociências da UFSM de forma expedita e por descrição ao tato manual.

4.3 Investigação exploratória

A fase de investigação exploratória tem por objetivo a confirmação da hipótese de contaminação por meio da coleta de amostras de solo, água superficial, subsuperficial, subterrânea e das fontes pontuais de efluente líquido, sendo estas utilizadas para a determinação da natureza e da concentração das substâncias contaminantes definindo a extensão do sítio qualitativamente, bem como, as condições de seu subsolo para refinamento do modelo conceitual de contaminação.

4.3.1 Análises de qualidade da água

As coletas de água (efluente e poços) para as análises físicas, químicas e biológicas têm por objetivo obter a qualidade média da água durante o período de amostragem, nestes casos, definido por um longo período de estiagem entre os meses de fevereiro a maio de 2012. Para tanto, coletaram-se amostras em diferentes sistemas, onde o efluente escoar e/ou infiltra, para caracterizar a qualidade e continuidade entre as seções de fluxo horizontal e vertical. A frequência de amostragem está definida nos itens que descrevem as seções de monitoramento.

Após a coleta, as amostras foram armazenadas em recipientes plásticos com capacidade de 2 litros, refrigeradas para a sua maior preservação e imediato transporte para o Laboratório de Hidráulica e Saneamento (LASAM) no Centro de Tecnologia da UFSM.

Os parâmetros de qualidade avaliados em campo e laboratório foram: temperatura da água, oxigênio dissolvido (OD) turbidez, condutividade elétrica, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais (ST), sólidos totais suspensos (STS), sólidos totais dissolvidos (STD), alcalinidade, coliformes totais (CT) e coliformes termotolerantes, também chamados de fecais (CF). Os parâmetros de qualidade que foram avaliados em campo, no momento das coletas foram: o oxigênio dissolvido e a temperatura da água.

A partir dos valores de concentração e das respectivas vazões na seção de coleta, calcula-se as cargas para as variáveis de qualidade desejadas, conforme equação 1. Este procedimento foi realizado apenas para as seções das fontes pontuais e superficiais, uma vez que, não é possível determinar a vazão nos poços de monitoramento. Futuramente pretende-se avaliar a velocidade de transferência dos contaminantes a partir da transmissividade (condutividade hidráulica multiplicada pela espessura saturada do aquífero) (HEATH, 1983). Ainda, possíveis avaliações das condições de qualidade das águas poderão ser realizadas a partir da comparação dos resultados da diluição das cargas (ponto CDB) nas vazões de referência (sanga Lagoão do Ouro) com os padrões estabelecidos pela Resolução do CONAMA 357/2005 e 430/2011 conforme relatado em Cruz & Silveira (2007).

$$\text{carga} = [] \times Q \quad (1)$$

Em que:

[] = concentração = mg/L;

Q = vazão (L/s).

Todos os parâmetros considerados para análise de qualidade da água estão descritos, resumidamente, na tabela 1 e apresentam a metodologia analítica utilizada para sua determinação em campo ou laboratório.

Os procedimentos analíticos utilizados estão preconizados no *Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WPCF, 1995). Na figura 15 e figura 16 ilustram-se alguns procedimentos utilizados no laboratório para análise das amostras.



Figura 15 - Vidraria para análise de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) no laboratório LASAM.

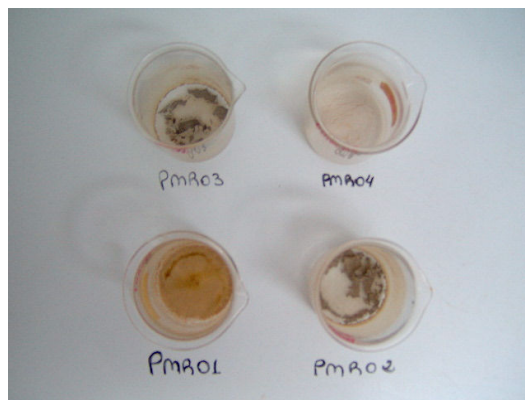


Figura 16 - Análise de sólidos totais para amostras dos poços rasos no laboratório LASAM.

Tabela 1 - Parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas superficiais, subterrâneas e fontes pontuais de lançamento de efluente.

Parâmetros de Qualidade da água	Metodologia Analítica	Standard Methods	Limite de Detecção	Local de análise
Temperatura da água	Termometria	21st. 2550B	0,1°C	<i>in situ</i>
Turbidez	Nefelométrico	*	0,1 UNT	LASAM
pH	Potenciômetro	21st. 4500H/B	0,1	LASAM
Condutividade Elétrica	Potenciômetro	21st. 2510B	0,1 µS/cm	LASAM
Oxigênio Dissolvido	Oxímetro	**	0,1 mg/L	<i>in situ</i>
Sólidos Totais	Gravimétrico	21st. 2540B	0,1 mg/L	LASAM
Sólidos Suspensos	Gravimétrico	21st. 2540D	0,1 mg/L	LASAM
Sólidos Dissolvidos	Gravimétrico	***	0,1 mg/L	LASAM
DBO ₅	Winckler	21st. 5210B	0,1 mg/L	LASAM
Alcalinidade	Titulométrico	21st. 2320B	0,1 mg/L	LASAM
Coliformes Totais	Idexx-colilert	21st. 9223B	1 NMP/100 mL	LASAM
<i>Escherichia coli</i>	Ideex- colilert	21st. 9223B	1 NMP/100 mL	LASAM

Notas: *in situ*: determinação em campo, no momento da coleta; LASAM: Laboratório de saneamento Ambiental - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSM.

* Turbidímetro Orbeco-Hellige 966; padrão: 0NTU e 40 NTU.

** Oxímetro Instrutherm MO-900.

*** Subtração - (2540B - 2540D).

4.3.2 Medições de vazão

O monitoramento quantitativo nas fontes pontuais de lançamento de efluente líquido e nas seções superficiais realizou-se a partir de três métodos distintos de medição. Segundo Paiva e Paiva (2001) os métodos podem ser classificados em três categorias conforme a natureza da medida: de nível, não estrutural e estrutural. Entre os métodos descritos foram utilizados, para estimar a vazão, os da categoria estrutural e não estrutural.

Pelo método estrutural fez-se uso do medidor de vazão de canal aberto, calha *Parshall*, uma estrutura hidráulica com entrada suavemente afunilada, uma seção contraída (garganta) de paredes paralelas, um trecho divergente e, em geral, de fundo plano (PORTO, 2006). A calha *Parshall* portátil utilizada, para monitoramento quantitativo, é de fabricação da INCONTROL[®], com garganta de 2 polegadas, conforme especificado pela norma ASTM 1941:1975 (Figura 17 e 18). O medidor foi instalado em local onde não estivesse propício a turbulências, em trecho retilíneo (PAIVA e PAIVA, 2001), sendo utilizado nível de bolha para regularizar a calha no plano horizontal, na seção do canal, conforme figuras 9 e 10 na fonte de efluente líquido FP-31A e o ponto superficial CDB.



Figura 17 - Medição de vazão com calha *Parshall* no ponto FP-31A, vista lateral.



Figura 18 - Medição de vazão com calha *Parshall* no ponto FP 31A, vista superior.

A função matemática que expressa a vazão em função da altura é indicada pelo fabricante (Equação 4.3):

$$Q = k * H^n \quad (2)$$

Em que:

Q = Vazão (m³/h);

k e n = constantes que dependem das dimensões da calha e ajuste da unidade de engenharia (n difere ligeiramente de 3/2), estes valores foram estabelecidos a partir de valores (Tabela 2) para calha *Parshall* com garganta (w) de 2 polegadas.

Tabela 2 - Valores de n e k (para vazão em m³/h).

(continua)

W		n	K	VAZÃO	
[polegada]	[mm]			Min. (m ³ /h)	Máx. (m ³ /h)
1"	25,4	1,55	217,29	1,02	19,4
2"	50,8	1,55	434,58	2,04	47,9
3"	76,2	1,547	633,6	3,06	115
6"	152,4	1,58	1371,6	5,10	398
9"	228,6	1,53	1926	9,17	907

					(conclusão)
12"	304,8	1,522	2484	11,2	1641
18"	457,2	1,538	3794,4	15,3	2508
24"	609,6	1,55	5133,6	42,8	3374
36"	914,4	1,556	7855,2	62,2	5138
48"	1219,2	1,578	10566	132	6922
60"	1524	1,587	13420,8	163	8726
72"	1828,8	1,595	16254	265	10551
84"	2133,6	1,601	19101,6	306	12376
96"	2438,4	1,606	21963,6	357	14221

Fonte: Adaptado de INCONTROL[®] (2008).

O segundo método, ou seja, o não estrutural, utilizado para estimar a vazão foi a medição direta ou o método volumétrico, que consiste em determinar o tempo necessário para encher um reservatório ou recipiente de volume conhecido, podendo este ser um tanque ou um balde (SANTOS et al., 2001). Monitoraram-se a partir desse método as fontes pontuais de efluente líquido FP-31 (Figura 19) e FP 32 e o valor da vazão calculado conforme a equação 3:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3)$$

Em que:

Q = vazão (mL/s);

V = volume coletado em proveta graduada (mL);

t = tempo decorrido para o enchimento da proveta.



Figura 19 - Medição direta de vazão ou medição volumétrica na fonte FP-31.

A terceira medição de vazão foi em curso d'água, na sanga Lagoão do Ouro no ponto CM (Figura 20), utilizando-se outra medida não estrutural, o micromolinete da marca *HIDROMEC*[®], modelo 8016/8-126, pertencente ao Grupo de Gestão de Recursos da UFSM. Esse equipamento permite a medição de velocidade em córregos sujeitos à elevada concentração de sedimentos e ou resíduos sólidos, podendo ser usado em pequenas profundidades, a partir de 3,0 cm (PAIVA e PAIVA, 2001). O valor da vazão foi estimado a partir da integração das seções pelo método da seção média, na qual, as vazões parciais são calculadas para cada subseção entre verticais, a partir da largura, da média das profundidades e da média das velocidades entre as verticais envolvidas (SANTOS et al., 2001).



Figura 20 - Utilização de micromolinete para medição de vazão na Sanga Lagoão do Ouro no ponto CM (córrego montante).

4.3.3 Avaliação das fontes pontuais de efluente líquido

Com base nos resultados da avaliação preliminar definiu-se a estratégia da fase exploratória. No estudo de caso desta pesquisa apresenta-se um plano amostral com coletas em três fontes pontuais de efluente líquido que contribuem diretamente na formação alagadiça do local. A área recebe ainda contribuição de outra fonte, porém com vazão intermitente, dependente do horário de maior consumo e da pluviometria. Por motivo de dificuldades para coletar em horários tão variáveis não foi realizada amostragem da mesma.

As fontes consideradas são denominadas de FP-31 (Figura 21), FP-32 (Figura 22) e FP-31A (Figura 23 e 24) e o horário de coleta foi estabelecido em função dos horários de maior vazão, determinado por monitoramento horário na fase de investigação preliminar e de alguns dados de medição de vazão realizados em estudo anterior. As coletas das amostras com respectivas medições da vazão foram quinzenais, entre fevereiro a maio de 2012 para as três fontes. Nas fontes FP-31 e FP-32 realizaram-se medições pelo método volumétrico, volume pelo tempo. E para a fonte FP-31A foi realizada medição de vazão utilizando-se de estrutura hidráulica, calha *Parshall* portátil.



Figura 21 - Fonte pontual de efluente líquido FP-31.



Figura 22 - Fonte pontual de efluente líquido FP-32.



Figura 23 - Fonte pontual de efluente líquido FP-31A, vista inferior.



Figura 24 - Fonte pontual de efluente líquido FP-31A, vista superior.

4.3.4 Avaliação da água superficial

Para análise quali-quantitativa superficial escolheram-se dois pontos de interesse. Um deles encontra-se à jusante dos pontos de emissão de efluente líquido e representa a saída da zona saturada (banhado). O local da coleta é denominado CDB (canal de drenagem do banhado). O canal escoia até encontrar a Sanga Lagoão do Ouro, tributário do rio Vacacaí-Mirim, com 11,5km de extensão que percorre o território do *Campus*. Devido o interesse em comparar futuramente as condições com que a água que chega ao ponto CDB e verificar se esta contribui para a alteração da qualidade da sanga, foram coletadas amostras a montante do encontro dos dois cursos d'água. Este local foi denominado como CM (córrego montante). A localização dos pontos CDB e CM e a rede de drenagem superficial estão ilustrados na figura 7. A medição de vazão para esses pontos ocorreu por meio de medidor *Parshall* (CDB) e micromolinete (CM) na sanga.

A redução da carga poluidora e da concentração de determinados parâmetros de qualidade foram estimados a partir da comparação dos resultados das fontes pontuais de efluente líquido (entrada) e do ponto CDB (saída).

Os pontos superficiais foram amostrados quinzenalmente no período de fevereiro a maio de 2012, nos mesmos dias de monitoramento das fontes pontuais.

4.3.5 Avaliação da água subsuperficial e subterrânea

O primeiro passo em uma avaliação da água subterrânea é a realização do monitoramento do nível da lâmina d'água em relação à superfície do solo, considerando diferentes períodos do ano. Para isto, é necessário verificar quais os poços de captação possuem entradas em suas tampas externas, "cabeça do poço", que possibilitem a introdução da aparelhagem utilizada para a realização desta atividade.

No caso do *Campus* da UFSM poucos poços de captação possuem os compartimentos de entrada, uma vez que a maioria dos poços foi executada anteriormente à norma técnica NBR 12/2006 que prevê a instalação de um tubo guia de plástico PVC, com diâmetro entre 1/2" e 3/4". Este tubo deve ser instalado até a

altura de posicionamento da bomba submersa. Neste, introduz-se a ponteira do freatímetro sonoro, modelo Jaciri, dotado de cabo de 100 m de comprimento e marcação graduada de metro em metro.

O poço PB-15 não apresenta esse tubo, logo, não foi possível monitorar o nível da lâmina d'água. O poço PB-17, como mencionado anteriormente, foi instalado tubo guia. Os demais poços, PM's e os PMR's possuem tampas que permitem a introdução da ponteira do freatímetro sonoro.

Os dados coletados neste monitoramento foram úteis para o conhecimento da variação do nível da lâmina d'água subterrânea ao longo do tempo, em todos os locais de acesso, assim como podem ser usados como dados de entrada para a elaboração dos mapas da superfície potenciométrica, do sentido do fluxo da água subterrânea e do nível da lâmina d'água em diferentes seções hidroestratigráficas.

O escopo das atividades de coleta de amostras para levantamento qualitativo da água subsuperficial e subterrânea organizou-se conforme a rede de monitoramento e a velocidade de dispersão no meio de transporte, seguindo-se a metodologia de Amostragem e Monitoramento das Águas Subterrâneas da CETESB (1999).

A rede de poços rasos (Figura 25 e 26) foi amostrada quinzenalmente no período de fevereiro a maio de 2012. Devido à dinâmica de escoamento do efluente no meio, essa rede, foi amostrada com a mesma frequência das fontes, a fim de presumir o comportamento de cada ponto (poço) em relação à variação de volume e carga gerada pelas fontes pontuais.

A rede de poços intermediários (PM-01 e PM-02) foi monitorada mensalmente, incluindo medição do nível d'água (Figura 27) e coleta de amostras durante os meses de fevereiro a maio de 2012. Por estar instalada numa profundidade abaixo das camadas de solo que recebem o efluente, a frequência de amostragem foi menor, devido à resposta por infiltração e percolação ocorrer de forma mais lenta que o escoamento na parte superficial e subsuperficial do terreno.



Figura 25 - Procedimento de amostragem, coleta de água no poço de monitoramento raso PMR-01.



Figura 26 - Procedimento de amostragem, coleta de água no poço de monitoramento raso - PMR 04.



Figura 27 - Medição de nível de água subterrânea no poço PM-01.

Os poços foram amostrados utilizando-se coletor descartável de PVC (CETESB 6410, 1999) tipo *bailer*, de diâmetro externo 41 mm, para coleta de água e purgamento de poços de monitoramento, comprimento de 95 cm e capacidade 1,1 litros (Figura 28). Antes da coleta para cada amostra foi realizado o purgamento dos poços conforme recomendado por Feitosa et al. (2008), para evitar amostras estagnadas e/ou contaminadas, não representativas do aquífero. Como medida de segurança realizaram-se amostras de branco de equipamento (Anexo A) para verificar se não havia contaminação residual por parte dos materiais utilizados em campo e da água deionizada (CETESB 6410, 1999).



Figura 28 - Coleta de amostra de água subterrânea PM-02.

Na rede de poços profundos (PB-15 e PB-17) foram realizadas coletas trimestrais de monitoramento (Figura 29 e 30), conforme recomendação da CETESB para investigação de áreas contaminadas. A primeira coleta realizou-se no mês de fevereiro e a segunda no mês de maio. O objetivo desta amostragem foi verificar a possível conexão entre as diferentes seções estratigráficas que podem estar comunicando a área úmida receptora do efluente com o aquífero que abastece a Universidade e comprometendo a qualidade da água subterrânea. No poço PB-15, instalou-se uma torneira, anterior ao compartimento de cloração da água, para possibilitar a coleta de amostras do aquífero que abastece o *Campus*, já que o mesmo não apresenta tubo guia para monitoramento. Anterior à coleta, a torneira foi aberta e deixou-se escoar a água durante 3 a 5 minutos, a fim de obter-se uma amostra mais representativa do aquífero e eliminar qualquer contaminação proveniente da tubulação. As coletas no poço PB-17 seguiram a mesma metodologia de amostragem dos poços rasos e intermediários, com medição do nível de água e coleta de amostra por *bailer*.



Figura 29 - Coleta de amostra de água subterrânea no poço de bombeamento PB-15.



Figura 30 - Coleta de amostra de água subterrânea no poço PB-17 utilizando-se amostrador tipo *bailer*.

A metodologia de amostragem e monitoramento da água subterrânea seguiu a norma da CETESB 6410/1999 e Feitosa et al. (2008) . Os valores para o poço de bombeamento (PB-15) foram comparados à Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 que estabelece os padrões para água destinada ao consumo humano e aos valores recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Os valores para os poços PM-01, PM-02 e PB-17 foram confrontados aos valores de referência sugeridos por Santos (2008)

4.3.6 Análises do solo

O objetivo principal das investigações a respeito do solo da região foi determinar a capacidade do mesmo em permitir a percolação do efluente, quantificar, a partir dos resultados, a depuração dos contaminantes e o remanescente de transferência ao aquífero. De forma simplificada, a exploração das condições subterrâneas permitiu identificar a função do solo como barreira, filtro ou simplesmente um meio de transferência à contaminação.

Os parâmetros físicos analisados para descrever o sistema solo foram: distribuição granulométrica; densidade absoluta e permeabilidade. Para a determinação desses parâmetros utilizaram-se ensaios de exploração direta e

semidireta do subsolo: perfuração do terreno, introdução de equipamentos e coleta de amostras deformadas e indeformadas em diferentes profundidades, que permitiram obter informações a respeito do tipo de material do subsolo e seu arranjo na matriz subterrânea. Todos os ensaios foram efetuados em laboratórios do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria para a obtenção de informações confiáveis a respeito da área e de acordo com o objetivo da fase de investigação para a qual foi desenvolvido.

Os ensaios para coleta das amostras foram efetuados a partir da abertura de duas trincheiras utilizando-se retroescavadeira mecânica. A primeira trincheira (Figura 31) foi aberta numa porção do terreno sem influência do efluente das fontes pontuais, a fim de caracterizar a estrutura do solo sem a interferência do lançamento. A segunda trincheira (Figura 32) foi escavada em uma porção do terreno que recebe o efluente. O local exato para abertura desta última necessitou maior atenção devido às possíveis modificações na dinâmica de escoamento e infiltração do efluente no meio e que, poderiam interferir nos resultados de qualidade da água subsuperficial dos poços rasos. Logo, optou-se por uma área mais periférica, conforme ilustrado na figura 23.

A análise granulométrica das amostras deformadas realizou-se no Laboratório de Análises Físico, Química e Microbiológica de Solo, Água e Solutos. O ensaio teve por finalidade fornecer a distribuição quantitativa das partículas unitárias minerais menores que 2,0 mm. Para tanto, utilizou-se amostras deformadas, secas em estufa, a metodologia empregada mediu a distribuição do tamanho das partículas em suspensão, usando os princípios da dispersão da luz através do equipamento da marca *Beckman Coulter LS 13320*.

A classificação dos solos, segundo a textura, para cada horizonte foi realizada de acordo com critérios granulométricos da NBR 6502 (ABNT, 1995).



Figura 31 - Abertura da Trincheira para a caracterização do solo e coleta de amostras.



Figura 32 - Abertura da Trincheira 2 para a caracterização do solo e coleta de amostras.

A densidade do solo (ρ , kg/m^3) foi calculada no Laboratório de Física do Solo, a partir da relação entre a massa de solo seco em estufa (m_s) e seu respectivo volume (V), ou seja, volume do solo incluindo os espaços ocupados pela água e pelo ar, conforme a equação 4.

$$\rho = \frac{m_s}{V} \quad (4)$$

O ensaio de permeabilidade consistiu-se em determinar o fluxo de água que se movimenta através do solo e assim, estabelecer o funcionamento hídrico nas diferentes camadas do solo superficial e em profundidade. Para tanto, usou-se a condutividade hidráulica do solo saturada (K_{sat}) nas amostras com estrutura indeformada (anéis metálicos), num total de 11 amostras com três repetições por camada/ composição de solo. As amostras foram saturadas e colocadas em um permeâmetro de carga constante. A medida quantitativa da condutividade hidráulica foi obtida por meio do método descrito no Manual de métodos de análises de solo (EMBRAPA, 2011). O procedimento foi conduzido no Laboratório de Física do Solo.

Com relação à qualidade do solo, realizou-se ensaio comportamental de fuga como ferramenta integrante da avaliação ambiental do solo, utilizando-se um indicador biológico (*Eisenia andrei*). Este item está descrito no Capítulo 6.

Conforme descreve Mesquita & Moraes (2004) optou-se neste trabalho por uma interpretação direta dos dados, sem correlacionar estatisticamente as variáveis para descrever o comportamento hidráulico do solo.

Estes resultados foram importantes a este estudo para identificar os diferentes aquíferos e avaliar as condições de conexão entre eles, caracterizar a vulnerabilidade que cada tipo de solo apresenta quanto à contaminação das águas subterrâneas rasas ou freáticas e o comportamento da pluma de contaminação.

4.3.7 Análise multivariada para seleção dos indicadores do processo de degradação ambiental no sítio monitorado

Considerando a complexidade de estimar o processo de degradação ambiental avaliou-se o conjunto amostral dos dados quali-quantitativos empregados nesta pesquisa, para identificar quais os fatores que determinam a perda de qualidade nos sistemas avaliados. Para tanto, aplicou-se o modelo de estatística multivariada, técnica de Análise Fatorial (AF) método da Componente Principal (ACP) (HAIR et al., 2005).

A AF é formada por um conjunto de técnicas estatísticas e possui como objetivo reduzir o número de variáveis iniciais com a menor perda possível de informação. A análise fatorial é uma técnica de interdependência na qual todas as

variáveis são simultaneamente consideradas, cada uma relacionada com todas as outras. Na análise fatorial, as variáveis estatísticas (fatores) são formadas para maximizar seu poder de explicação do conjunto inteiro de variáveis, e não para prever uma variável dependente. A AF não se refere, apenas a uma técnica estatística, mas a um conjunto de técnicas relacionadas, para tornar os dados observados mais claros para a interpretação (HAIR et al., 2005).

O método das componentes principais procura encontrar um novo conjunto de variáveis que retenha o máximo de variância por meio de uma combinação linear dos dados originais. O método consiste essencialmente em reescrever as coordenadas das variáveis em outro sistema de eixo mais conveniente para análise dos dados. (HAIR et al., 2005; RUHOFF et al., 2009; ANDRADE et al., 2007).

A análise estatística foi aplicada para agrupamentos de pontos selecionados de acordo com a natureza de cada um. Para cada grupo ou seção calculou-se a média entre os pontos amostrados correspondentes às campanhas de monitoramento.

O primeiro grupo foi composto pelas três fontes pontuais, FP-31, FP-32 e FP-31A (entrada) considerando-se as variáveis: vazão, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica, turbidez, coliformes totais, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e alcalinidade, totalizando 13 parâmetros.

O segundo grupo associou os poços rasos, PMR-01, PMR-02, PMR-03 e PMR-04 (meio receptor) e considerou as mesmas variáveis anteriores com exceção da vazão, totalizando 12 parâmetros. A terceira seção foi representada apenas pelo ponto CDB, o qual configura a saída do sistema e considerou os mesmos 13 parâmetros das fontes pontuais. As análises estatísticas foram formuladas pelo programa SPSS Statistics 17.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados e as discussões das etapas de investigação para a elaboração do Modelo Conceitual de Contaminação, relativo aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e do solo na Bacia Escola do Campus da Universidade Federal de Santa Maria. O capítulo está estruturado segundo os itens:

- a) item 5.1 - *Investigação Preliminar* apresenta o reconhecimento da área a partir do histórico local (Item 5.1.1) e da caracterização do terreno (Item 5.1.2);
- b) item 5.2 apresenta os resultados e as discussões da *Investigação Exploratória* e divide-se em seis subitens: 5.2.1 Avaliação das fontes pontuais de efluente líquido; 5.2.2 Análise das águas superficiais; 5.2.3 Análise da água subsuperficial e subterrânea; 5.2.4 Análises do Solo; 5.2.5 Alterações da Qualidade da Água e 5.2.6 Análise Multivariada;
- c) o item 5.3 apresenta o *Modelo Conceitual de Contaminação* a partir da integração das variáveis e investigações subterrâneas envolvidas neste estudo de caso.

5.1 Investigação preliminar

Na fase de investigação preliminar realizou-se a delimitação da área de estudo, a partir de visitas de campo para reconhecimento (Figura 33) e marcação de pontos de interesse (Figura 34) possibilitando orientar os trabalhos de prospecção que foram executados nas fases seguintes.



Figura 33 - Vista do córrego (sanga Lagoão do Ouro) no local de encontro com o canal que drena da área alagada.



Figura 34 - Estacas utilizadas para marcar pontos de interesse (seção média do canal que drena da área alagada até a Sanga).

5.1.1 Levantamento histórico da área

Com o intuito de entender as transformações ocorridas no passado, várias informações pertinentes ao local de estudo foram buscadas. Entre elas, um relato importante, e que pode auxiliar na interpretação da atual situação que se encontra o local consta no livro "UFSM Memórias de Isaias" (2006), onde o autor menciona uma área que dividia o Campus em norte e sul, no ano de 1962. Este divisor chamado de "Lagoão do Ouro", pelos antigos moradores, nada mais era do que um "banhado" (área úmida), ou seja, uma depressão do terreno que se estendia de Oeste para Leste da área do *Campus* e que servia como local de recebimento das águas.

Durante a construção da Universidade, segundo pesquisa realizada em Memoriais Descritivos e antigas plantas do Campus, fornecida pela prefeitura Universitária, consta a projeção de um lago para práticas desportivas como canoagem, natação e a construção de uma marina nessa mesma área de drenagem das águas. Mais tarde, para ligar a parte norte à parte sul do Campus seria construída uma ponte sobre este lago, que faria parte da composição do cenário do Campus, possibilitando o trânsito entre as partes norte e sul. A obra envolvia um projeto de barragem que foi iniciada em 1967, prevendo ainda serviços de retificação do canal descarregador do Lagoão do Ouro, escavações mecânicas (volume estimado de 160.000m³), construção de degraus e canalizações em concreto armado. Relatos de antigos funcionários e moradores da instituição estimam que as escavações para construção do lago e as redes de drenagem estenderam-se por oito anos, (construção e enchimento do lago). O lago também foi projetado para receber o efluente final gerado na Universidade. Entretanto, devido aos problemas técnicos apresentados após um evento de forte precipitação, a barragem rompeu e o lago foi gradativamente secando, restando apenas o volume do esgoto que é até hoje depositado na área.

Algumas áreas de extração de argila, no período de construção dos primeiros prédios da UFSM podem ser vistas em fotos aéreas do final da década de 1960 e início de 1970 (Figuras 35 e 36). Esses registros remetem a outra modificação pela qual passou o ambiente.

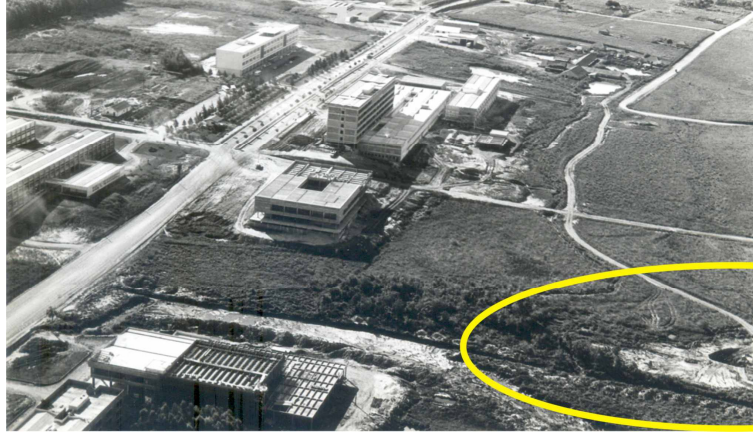


Figura 35 - Foto aérea do Campus de abril de 1969. Em destaque, em cor amarela, escavações para extração de argila.

Fonte: Departamento de Arquivo Geral. Arquivo Permanente UFSM.



Figura 36 - Foto aérea do Campus na década de 1970. Regeneração da vegetação na área anteriormente explorada para extração de argila.

Fonte: Departamento de Engenharia Rural/UFSM.

Reetz (2002) avaliou aspectos quali-quantitativos envolvendo os recursos hídricos na bacia hidrográfica do *Campus*, sendo estes fortemente dependentes das contribuições das cargas poluidoras da sub-bacia de montante (área fora do *Campus*). O córrego por monitorado Reetz (2002) é o mesmo que recebe o efluente excedente da área úmida. Moreira (2005) avaliou aspectos qualitativos da água subterrânea no *Campus* da UFSM tendo como objetivo investigar a situação de

potabilidade e disponibilidade das águas subterrâneas no Campus, entre os poços analisados estão os dois poços de bombeamento pertinentes a este estudo.

Marion (2009) avaliou a vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação utilizando uma ferramenta de análise ambiental por geoprocessamento baseada no método *DRASTIC* (ALLER et. al., 1987). Conforme esse estudo, as principais atividades potencialmente contaminantes no *Campus* são encontradas na mesma área de estudo desta pesquisa, apresentando alta vulnerabilidade sob provável influência das atividades potencialmente contaminantes (lançamento sanitário de águas residuais de fossas e a sanga poluída que percorre o setor nordeste do *Campus*). D'Avila (2009) também estudou a vulnerabilidade de contaminação das águas subterrâneas no Campus, utilizando o índice de vulnerabilidade *GOD* (FOSTER e HIRATA, 1993; FOSTER et al., 2003) que caracteriza a vulnerabilidade do aquífero à contaminação conforme os seguintes parâmetros:

- a) G - Grau de confinamento da água subterrânea;
- b) O - Ocorrência de estratos de cobertura;
- c) D - Distância até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado.

Em seu estudo D'Avila (2009) relatou que a área desta pesquisa apresentou índice de vulnerabilidade média à contaminação da água subterrânea. E neste mesmo trabalho, o autor monitorou alguns pontos de amostragem comuns a este estudo. Entre eles, ressaltam-se a fonte pontual FP-31 e o poço de bombeamento PB-15. D'Ávila (2009), destaca ainda que o depósito de esgoto é a área mais preocupante, tanto pelo elevado volume de efluente, como pela extensão de abrangência do mesmo e presume que esta área venha recebendo as cargas desses efluentes há décadas.

Atualmente, a área serve como depósito de bota-fora (escavações provenientes de outros locais, restos de construção civil e resíduos dos mais variados tipos e origens). Inúmeras alterações que remetem a perturbações negativas, e que podem vir, ou já estejam comprometendo a qualidade dos recursos naturais envolvidos.

5.1.2 Avaliação das características naturais do terreno

A área de estudo encontra-se assentada no compartimento geomorfológico da Depressão Central do Rio Grande do Sul. A geologia local pertence ao Grupo Rosário do Sul, Formação Santa Maria, período Triássico, conforme Mapa Hidrogeológico Folha Santa Maria da CPRM (1994).

A Formação Santa Maria subdivide-se em duas unidades geológicas, o Membro Alemoa e o Membro Passo das Tropas. A primeira apresenta em sua litologia siltitos argilosos maciços, lamitos e concreções calcárias. O Membro Alemoa constitui-se basicamente de lamitos impermeáveis que funcionam como um aquíclode (meio poroso com baixa transmissividade), não armazenando e nem transmitindo água (CPRM, 1994) e segundo Maciel Filho (1988) estas rochas silto argilosas apresentam baixa condutividade hidráulica (superiores a 10^{-7} m/dia), portanto, os melhores materiais geológicos para “filtrarem” possíveis contaminantes oriundos da superfície, sejam eles de natureza inorgânica, orgânica ou mista.

A parte superior funciona como capa selante enquanto os siltitos e arenitos argilosos da base são semipermeáveis. A importância desta camada é funcionar como selo isolante entre o que está acima e abaixo dela, como não é vulnerável pode ser usada como depósito de resíduos ou detritos poluentes (MACIEL FILHO, 1990).

O Membro Alemoa da Formação Santa Maria é determinado por suas litologias predominantemente pelíticas, interpretadas como finos depositados em paleoplanícies de inundação contendo horizontes de paleossolos. O Aquíclode Alemoa apresenta espessuras variáveis, podendo alcançar até 75,00 metros, possivelmente descontínuo, função da variação dos estilos fluviais conforme sugerido em escala de afloramento (GIARDINI & FACCINI, 2004).

O Membro Passo das Tropas, da Formação Santa Maria é recoberto pelo Membro Alemoa (MACIEL FILHO, 1988) e apresenta em sua litologia arenitos finos a médios, grosseiros na base. Os siltitos arenosos e argilosos apresentam-se laminados e com estratificação cruzada acanalada na base (MACIEL FILHO, 1988). As litologias arenosas são dominantes e com elevada relação porosidade/permeabilidade. Constituem um aquífero contínuo de grande extensão: livre e/ou confinado. Apresenta excelentes vazões e águas, em geral, de boa qualidade, entretanto, é muito vulnerável à poluição (CPRM, 1994).

A área de estudo desta pesquisa situa-se na faixa de transição destas duas formações, segundo o mapa Hidrogeológico (CPRM, 1994) podendo ser encontrado características similares a ambas, e por isso, necessitaram de uma investigação mais detalhada da estratigrafia local.

Na figura 37 detalha-se a localização dos poços utilizados para descrição subterrânea. A descrição litológica dos dois pontos amostrados (PM-01 e PM-02) consta na figura 38 e na figura 39 juntamente com o perfil construtivo de cada poço instalado no local. A descrição hidroestratigráfica está ilustrada na figura 40 conforme o corte da seção transversal AA' na figura 37, calculado a partir dos valores médios do nível de água monitorados durante as campanhas de amostragem.

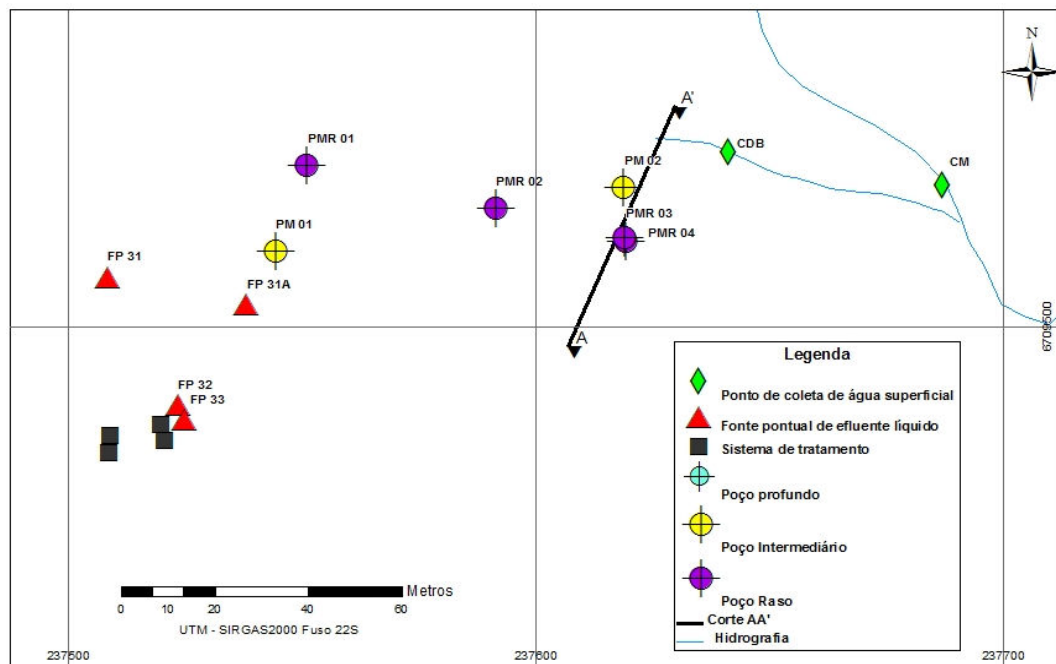


Figura 37 - Planta de localização dos poços e corte AA'.

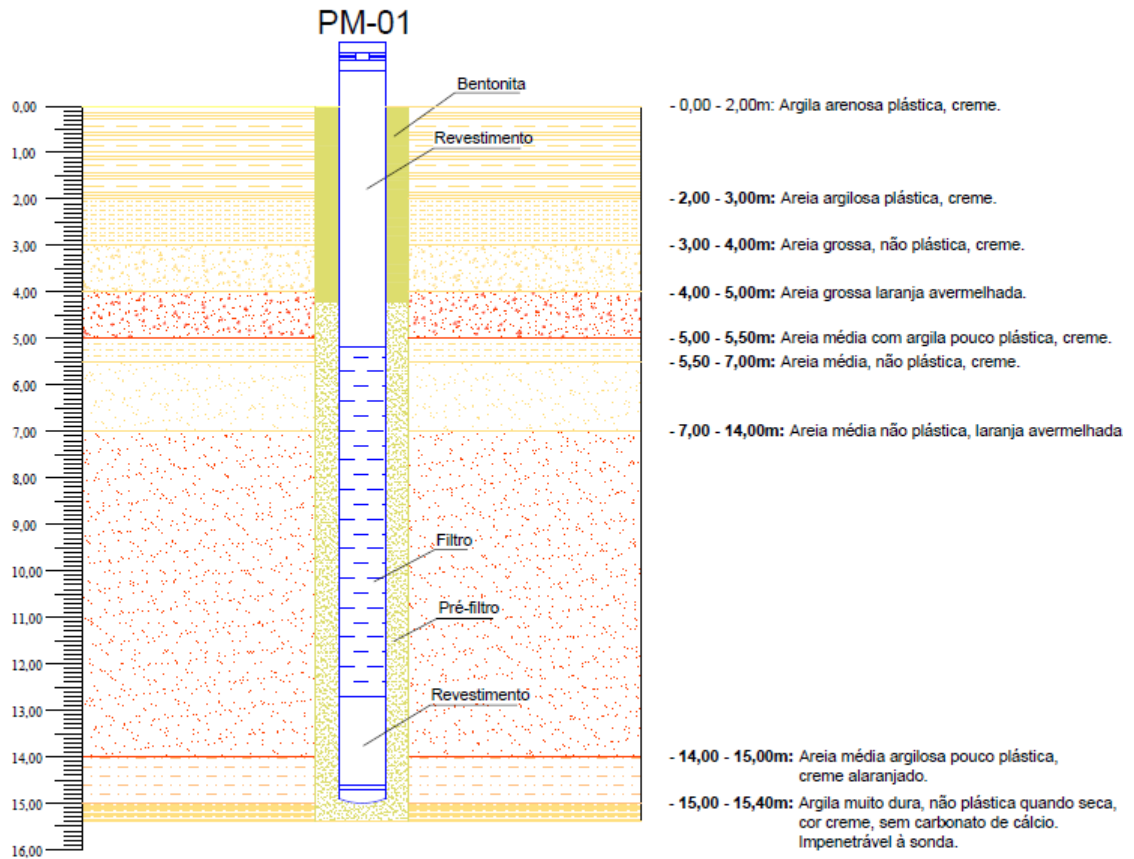


Figura 38 - Descrição litológica e perfil construtivo do poço PM-01.

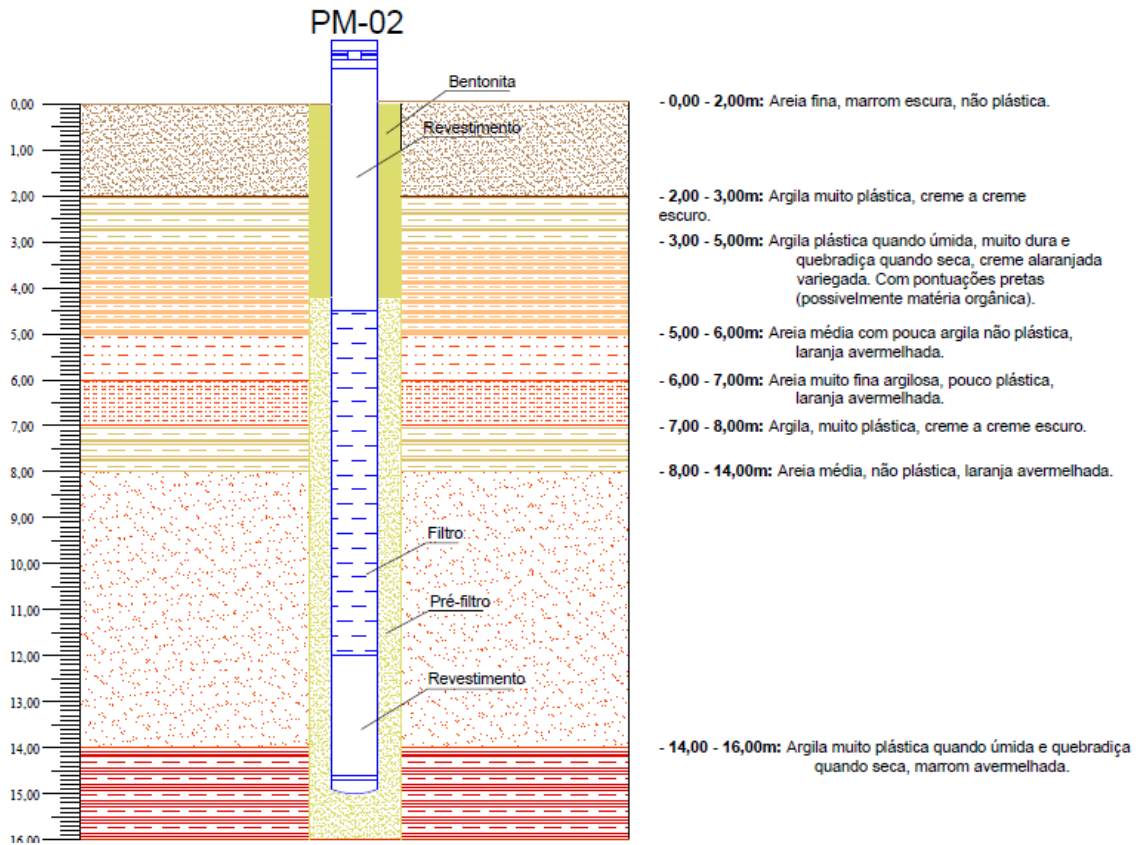


Figura 39 - Descrição litológica e perfil construtivo do poço PM-02.

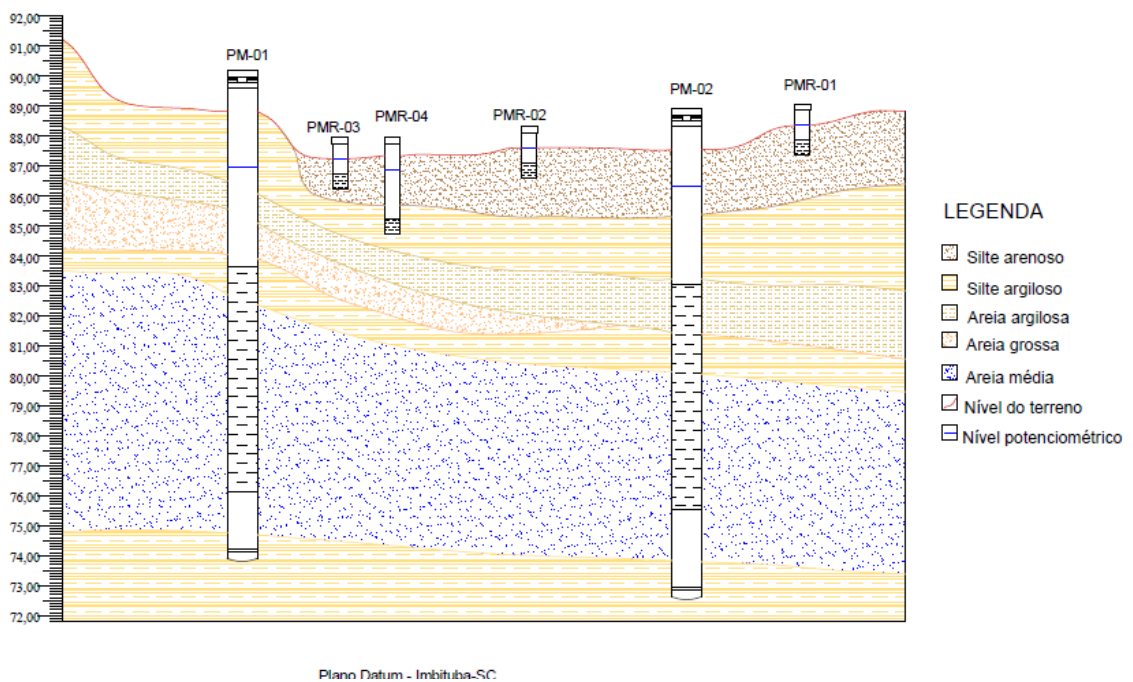


Figura 40 - Corte AA' - Perfil hidroestratigráfico e nível médio de água subsuperficial (PMR-04) e subterrânea (PM-01 e PM-02).

Confrontando-se a descrição dos autores com os resultados obtidos na investigação da área percebe-se que os resultados da área de estudo assemelham-se ao descrito para a Formação Santa Maria Membro Alemoa. Essas evidências podem ser observadas nos resultados a seguir e no capítulo com os resultados das análises superficiais do solo.

Percebe-se ainda, na figura 40 que as camadas sedimentares não apresentam continuidade lateral. Este processo deve-se as características paleodeposicionais do meio, associado à Planície de Inundação de um canal fluvial. Por tratar-se de uma planície aluvial, a área de estudo demonstra certa complexidade hidroestratigráfica (GIARDIN e FACCINI, 2004). Isto faz com que o terreno apresente lateral e verticalmente distintas porosidades e permeabilidades o que se reflete na sua condutividade hidráulica.

Conforme relatado por Wicander e Monroe (2009), um sedimento finamente granuloso, principalmente lama, predomina nas planícies de inundação, cadeias de aluvião arenosas, conhecidas como diques marginais contra enchentes são depositadas ao longo das margens do canal, e a lama é carregada além das barragens naturais para a planície de inundação, onde se deposita durante uma inundação (WICANDER e MONROE, 2009). Os depósitos dessa natureza podem ser constatados no perfil litológico da área de estudo (Figura 40). Entretanto, ainda há predominância de camadas argilosas, oriundas do Membro Alemoa (argila tipicamente avermelhada), intemperizadas na porção mais superficial do terreno, demonstrando a existência de um paleoambiente composto por camadas descontínuas e variadas.

Observou-se também, que o nível da água nos dois poços (PM-01 e PM-02) encontra-se em alturas diferentes em relação à boca do poço. Conforme observado por Maciel Filho (1990):

Após as chuvas, pode haver a acumulação de água nas fissuras próximas do solo. Isto não significa o nível freático da formação, a qual a rigor não possui, pois não é aquífera. Devido a impermeabilização, a água fica retida no solo superficial, mantendo-o geralmente muito úmido.

Desta forma, este resultado pode ser associado a forças de capilaridade e fluxo insaturado. Heath (1983) destaca que a subida capilar em diferentes materiais granulares é estimada em: areia grossa: 125 mm, areia média: 250 mm, areia fina: 400 mm, enquanto que nos siltes pode chegar a 1000 mm. Não tendo sido avaliada para materiais argilosos, como os presentes no Membro Alemoa da Formação Santa

Maria. Futuramente, pretende-se avaliar o gradiente capilar com uso de tensiômetros.

O perfil hidrogeológico divide-se em três sistemas (aquíferos) bem definidos, o primeiro na parte subsuperficial do terreno, onde estão instalados os poços rasos (PMR-01, PMR-02, PMR-03). Possivelmente, sem a ação antropogênica de lançamento de efluente, o solo não se apresentaria totalmente saturado até a superfície, com exceção a grandes períodos de chuva, em que a lâmina encontra-se acima da cota de terreno. Este aquífero foi classificado como livre e apresenta aproximadamente 1,00 metro de espessura, composto por material silte arenoso e coberto por vegetação resistente ao encharcamento durante boa parte do ano.

A segunda seção apresenta-se na região onde estão instalados os poços intermediários (PM-01 e PM-02), com espessura que varia entre 6 a 7 metros, este aquífero foi designado neste estudo como intermediário. Entre essas duas seções encontram-se uma camada possivelmente semipermeável, de material argiloso, com baixa condutividade hidráulica e que confina o aquífero.

O terceiro sistema de água subterrânea configura-se pelo aquífero mais profundo, o qual abastece o *Campus* da UFSM e que conforme estudos anteriores (GIARDIN e FACCINI, 2004) pode apresentar espessura de até 75,0 metros em alguns locais. Os poços PB-15 e PB-17 integram essa seção, porém entre esses dois, apenas o poço PB-15 tem bombeamento integrado a rede de abastecimento do *Campus*.

Na camada selante entre o aquífero livre e aquífero intermediário foi instalado o poço de monitoramento PMR-04, o qual apresentou superfície potenciométrica inferior ao aquífero livre em todas as campanhas (Figura 40). Esta observação supõe que exista outro nível freático ou a presença de pressão negativa (HEATH, 1983). Entretanto, ocorre a possibilidade de conexão entre as camadas, fato este que pode ser verificado ao comparar-se os resultados das análises de qualidade da água subterrânea do poço PMR-04 com os demais poços rasos. A pequena variação encontrada, levemente inferior, dos valores do PRM-04, para grande parte dos parâmetros, insere a desconfiança de existência de caminhos preferenciais por onde a água subterrânea contendo carga contaminante ou não, possa estar percolando às camadas subsequentes. Este resultado está descrito na seção 5.2.3 Análise da água subsuperficial e subterrânea.

Na figura 41 apresenta-se o mapa potenciométrico obtido com uso dos diferentes níveis da água em poços de monitoramento (PM-01, PM-02 e PMR-04) e das cotas altimétricas.

Observa-se uma tendência de fluxo subterrâneo de direção principal Sudoeste para Nordeste na direção do curso de água Sanga Lagoão do Ouro, situado na porção Nordeste fora da área da figura 41. Este fluxo coincide em parte com o caimento do terreno, o qual localmente apresenta linhas de drenagem sem fluxo de água perene ocorrendo formação de poças de água mantidas pelas condições do terreno. Assim tornando as características do meio associado a Planície de Inundação de características encharcadas durante a maior parte do ano. Este processo ainda necessita de maiores estudos para sua compreensão.

A CPRM (1994) dizia:

Pela análise do Balanço Hídrico, estima-se para a região uma evapotranspiração real de 836 mm. Equivalente acerca de 47% da precipitação média. Os aquíferos são alimentados no intervalo de abril-setembro havendo depleção num longo período (out.-mar.), quando os aquíferos complementam a vazão dos rios.

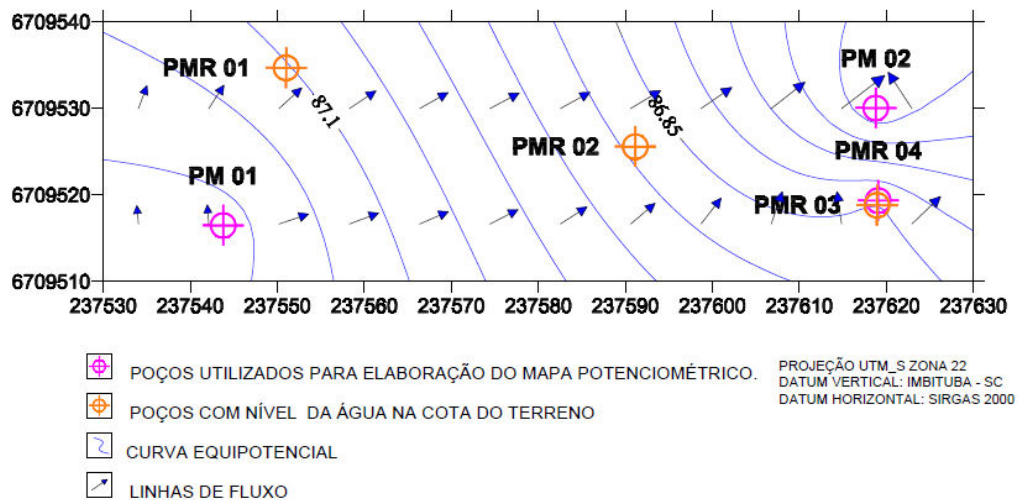


Figura 41 - Mapa potenciométrico e indicação da tendência de fluxo subterrâneo.

A área de estudo comporta três ocupações distintas de vegetação. O primeiro ambiente é constituído por solos em condições de saturação, apresentando superfície alagada em função do lançamento de efluente. A vegetação, neste local, apresenta porte herbáceo, com espécies tolerantes ao encharcamento, tendo como

dominância florística a *Typha domingenses*, espécie macrófita (Figura 42) encontrada em *wetlands* naturais e empregados em *wetlands* construídos para tratamento secundário de efluente doméstico (SEZERINO, 2006). Este ambiente úmido, da área de estudo, apresenta-se com um misto entre *wetlands* naturais e construídos, (HEGEMANN, 1996; COSTA, 2003; RIBAS E FORTES, 2008; BEDA, 2011) visto que, adaptou-se durante anos às ações decorrentes da disposição de efluente no solo, configurando-se como um sistema natural de inundação permanente, porém devido a uma contribuição exógena.

A vegetação que margeia a sanga Lagoão do Ouro caracteriza o segundo ambiente. A mata ciliar, em faixa de solo não saturado, apresenta composição nativa (Figura 43) classificada como sucessão secundária, em estágio inicial e médio de regeneração, havendo presença de espécies herbáceo-arbustivas compondo um extrato pouco denso. Em relação à composição arbórea, esta se encontra esparsa nesta área com eventual presença de indivíduos emergentes bem dispersos conforme a Resolução do CONAMA 033/1994.

Devido à declividade do terreno, o volume de efluente, não infiltrado no solo e não retido pelas plantas, é drenado até um canal com largura da calha entre 20 a 30cm (Figura 44). A linha de corrente pode ser visualizada na Figura 44. Este canal possui aproximadamente 67 metros de comprimento e escoia até encontrar a sanga Lagoão do Ouro. Esse terceiro ambiente apresenta-se como uma faixa de transição entre a vegetação herbácea da área úmida e herbáceo-arbustiva ciliar devido, possivelmente, às mudanças das condições do solo.



Figura 42 - Macrófita *Typha domingenses*, característica de sistemas secundários de tratamento de esgoto - *wetlands*.



Figura 43 - Vegetação Ribeirinha, próxima às margens da sanga Lagoão do Ouro.



Figura 44 - Vista do canal que drena a área alagada para o córrego.

5.2 Fase de investigação exploratória

A fase de investigação exploratória teve por objetivo a confirmação da hipótese de contaminação por meio da coleta de amostras de solo e água superficial, subsuperficial, e subterrânea, utilizadas para a determinação da natureza e concentração das substâncias contaminantes.

A investigação possibilitou estabelecer os níveis de degradação do meio impactado, a extensão do sítio e a propagação nas diferentes estruturas do solo (comportamento da pluma). Observou-se ainda, a capacidade do meio biofísico (solo/planta) em depurar a carga orgânica, em termos quali-quantitativos, a fim de

estabelecer a evolução dos mecanismos de atenuação natural no modelo conceitual de contaminação.

5.2.1 Fontes pontuais de efluente líquido

Conforme verificado por Marion (2009) o sistema de Esgotamento Sanitário da UFSM é subdividido em duas grandes redes de coleta principais. Tais redes atendem a grande parte da Cidade Universitária e apenas alguns prédios isolados não estão ligados a ela, possuindo suas redes individuais e contando com estações de tratamento do tipo tanque séptico e filtro anaeróbio e/ou sumidouro. De acordo com dados do Setor de Manutenção da UFSM existem, atualmente, 75 unidades de tratamento no *Campus*. Dessas, 46 recebem esgoto sanitário, 18 recebem esgoto sanitário e de laboratório, 10 recebem somente esgoto de laboratório e um recebe resíduos de cozinha. (MARION, 2009).

Informações obtidas de estudos anteriores sobre as possíveis fontes de contaminação da área foram utilizadas como parâmetro preliminar de avaliação (D'AVILA, 2009). A partir desses resultados refez-se o teste de vazão para uma das fontes de interesse, com intervalos horários de medição das 6h às 21 horas, e assim estipulou-se o pico de vazão como o horário de coleta para este ponto. Como o comportamento das demais fontes assemelha-se com o da fonte monitorada, estabeleceu-se que o intervalo das coletas ocorresse entre 11h até 13h, período de maior demanda hídrica devido às atividades do Restaurante Universitário e na Casa do Estudante (CEU).

Desta forma, foram monitoradas, segundo o plano de amostragem proposto por esta pesquisa, três fontes pontuais de efluente líquido (FP-31, FP-32 e FP-31A).

O efluente líquido da fonte pontual FP-31 é proveniente do Restaurante Universitário (RU) e, possivelmente, de alguns prédios da Casa de Estudantes (CEU). O efluente da fonte FP-32 é proveniente dos prédios 40, 42 e 44, da Reitoria e das instalações do Centro de Educação Física e Desporto, segundo levantamento realizado com o auxílio da planta digital do Campus, fornecido pela prefeitura da Cidade Universitária. Ainda, a fonte FP-32 possui uma saída extra do sistema de

tratamento, com fluxo variável, permanecendo sem descarga de efluente na maior parte do tempo (sistema de extravasamento de segurança).

No mesmo local de saída da fonte FP-32 há outro ponto de lançamento, denominado FP-33, proveniente do prédio 35 da casa do estudante. Durante as campanhas de monitoramento foram registradas vazões intermitentes e horários bem variados de lançamento. Essa fonte foi monitorada em estudo anterior por Binoto (2002). Devido às dificuldades de coleta pela variabilidade de horários com vazão e a baixa descarga, esta fonte não foi incluída no plano de amostragem.

A fonte FP-31A é um caso particular, pois não se obteve informações confiáveis sobre sua origem. Decorre que, na planta digital do Campus o local coincide com a saída do sistema de drenagem das águas pluviais, entretanto, esta fonte foi a que apresentou maior volume no tempo, sem registro de intermitência e valores de carga orgânicos, comumente encontrados em efluentes sanitários sem tratamento (esgoto bruto).

Por se tratar de um estudo envolvendo lançamento de efluente sanitário e sistemas de tratamento projetados para este tipo de água residuária, as condições e os padrões ambientais são dispostos pela Resolução CONAMA 430/2011. Porém, a disposição dos efluentes (FP-31, FP-32 e FP-31A) é feita diretamente em solo e, a respeito desta consideração, a Resolução define apenas que o efluente disposto em solo não pode causar nenhum dano às águas superficiais e subterrâneas. A mesma situação ocorre para a legislação estadual definida pela Resolução CONSEMA 128/2006, a qual, também não considera disposição de efluente em solo.

Portanto, considerando que os efluentes dessas fontes são lançados no solo para destinar-se ao arroio próximo (passando pelo ponto) entende-se que os padrões a serem observados devem ser os da Resolução 430/11.

Observa-se na tabela 3 (FP-31), tabela 4 (FP-32) e na tabela 5 (FP-31A) os resultados das avaliações físicas, químicas e biológicas nas fontes pontuais de efluente. Na tabela 6 apresentam-se os valores das cargas orgânicas calculadas para as três fontes pontuais e na figura 45 apresentam-se os valores de vazão correspondente a cada uma das fontes no instante de cada coleta.

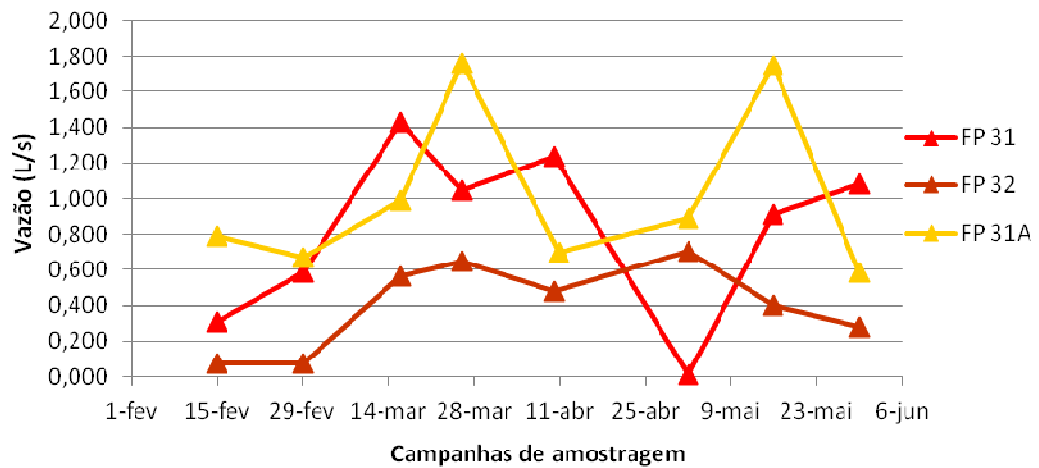


Figura 45 - Vazão de descarga das fontes pontuais de efluente líquido FP-31, FP-32 e FP-31A.

De acordo com as vazões, mostradas na figura 45, percebe-se grande variação nos valores de descarga das fontes, as quais são dependentes do consumo de água no *Campus* devido ao funcionamento do Restaurante Universitário e da movimentação nos prédios da Casa do Estudante. Durante o monitoramento, apenas na campanha II foi registrado evento de precipitação (5mm), nas demais campanhas não ocorreu precipitação durante as coletas.

Tabela 3 - Valores das análises físico químicas e biológicas para a fonte pontual FP31 nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no *Campus* da UFSM.

DATA	CAMPANHA	Vazão L/s	T (°C)	OD mg/L	pH	Condut. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Colif.Totais NMP/100ml	Colif.Termo NMP/100ml	DBO mg/L	Sól. Susp. mg/L	Sól. Tot. mg/L	Sól. Diss. mg/L	Alcalin. mg/L
15/02/2012	I	0,312	26,3	1,7	8,5	1117	131	1,30E+07	9,21E+06	>224	213,68	623,50	409,82	431,00
29/02/2012	II	0,588	27,2	0,8	8,5	911	149	1,55E+07	7,52E+05	409	93,64	582,00	488,36	331,67
16/03/2012	III	1,430	26,4	1,2	6,6	770	146	4,90E+07	1,02E+07	388	343,33	941,50	598,17	96,90
26/03/2012	IV	1,044	24,3	4,8	6,3	939	242	1,21E+08	2,31E+07	1618	408,00	935,50	527,50	450,04
10/04/2012	V	1,239	25,0	2,4	6,6	729	142	>1,21E+8	2,39E+07	354	116,00	609,50	493,50	235,51
02/05/2012	VI	0,008	20,5	2,4	8,4	1302	85	1,72E+07	4,93E+06	390	124,00	619,50	495,50	491,00
16/05/2012	VII	0,910	21,3	2,0	6,9	1003	180	6,50E+07	1,19E+07	2313	218,46	634,00	415,54	272,63
30/05/2012	VIII	1,080	22,0	2,4	7,0	812	131	2,05E+05	1,50E+05	611	148,00	579,00	431,00	220,46
Média		0,83	24,1	2,2	7,4	947	150,7	4,01E+07	1,02E+07	869,32	208,10	690,56	482,42	316,15
Mediana		0,97	24,7	2,2	7,0	925	144,0	1,72E+07	9,7E+06	409,36	108,84	621,50	490,93	302,15
Desvio Padrão		0,48	2,56	1,2	0,9	191	45,3	4,22E+07	9,06E+07	780,14	113,80	154,23	63,41	134,99

Tabela 4 - Valores das análises físico químicas e biológicas para a fonte pontual FP-32 nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no *Campus* da UFSM.

DATA	CAMPANHA	Vazão L/s	T (°C)	OD mg/L	pH	Condut. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Colif.Totais NMP/100ml	Colif.Termo NMP/100ml	DBO mg/L	Sól. Susp. mg/L	Sól. Tot. mg/L	Sól. Diss. mg/L	Alcalin. mg/L
15/02/2012	I	0,07	27,2	5,6	9,0	1735,0	47	4,11E+05	1,73E+04	>258,9	64,00	1194,0	1130,00	293,00
29/02/2012	II	0,07	25,3	3,1	7,4	460,3	34	>2,41E+6	1,20E+06	243	28,52	370,0	341,48	153,85
16/03/2012	III	0,56	26,6	1,3	6,9	1078,0	96	1,30E+07	2,91E+06	638	150,71	761,5	610,79	251,75
26/03/2012	IV	0,64	24,1	2,3	6,3	975,0	104	1,99E+07	5,91E+05	2285	214,67	689,0	474,33	733,05
11/04/2012	V	0,41	23,8	3,1	7,0	1216,0	72	>2,41E+07	8,66E+06	220	93,00	911,0	818,00	326,65
02/05/2012	VI	0,70	22,8	2,6	7,1	1424,0	60	1,73E+07	4,40E+05	528	157,33	1091,0	933,67	429,05
16/05/2012	VII	0,40	20,4	3,3	7,0	773,0	68	3,97E+07	2,91E+06	2844	136,25	524,5	388,25	339,7
30/05/2012	VIII	0,28	20,6	4,0	8,6	1218,0	100	4,35E+06	2,76E+06	485	96,55	965,5	868,95	201,94
Média		0,40	23,8	3,2	7,4	1109,9	72,6	1,58E+07	2,43E+06	1035,71	117,63	813,31	695,68	341,12
Mediana		0,44	24,0	3,1	7,1	1147,0	70,1	1,52E+07	1,98E+06	528,36	116,40	836,25	714,39	309,83
Desvio Padrão		0,24	2,53	1,3	0,9	390,4	25,7	1,39E+07	2,78E+06	1068,87	58,92	281,02	284,46	179,80

Tabela 5 - Valores das análises físico químicas e biológicas para a fonte pontual FP-31A nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no *Campus* da UFSM.

DATA	CAMPANHA	Vazão L/s	T (°C)	OD mg/L	pH	Condut. (μ S/cm)	Turbidez (NTU)	Colif.Totais NMP/100ml	Colif.Termo NMP/100ml	DBO mg/L	Sól. Susp. mg/L	Sól. Tot. mg/L	Sól. Diss. mg/L	Alcalin. mg/L
15/02/2012	I	0,791	26,0	3,7	7,2	501	29	4,55E+06	1,49E+06	>274	35,71	291,5	255,79	182,00
29/02/2012	II	0,668	26,3	3,5	7,8	671	40	3,43E+07	1,54E+07	195	21,50	312,0	290,50	234,27
16/03/2012	III	0,990	26,3	2,5	8,0	1025	83	7,20E+06	3,88E+06	248	58,50	517,0	458,50	343,66
26/03/2012	IV	1,766	22,6	4,5	7,8	512	41	1,18E+07	2,14E+06	205	84,25	498,0	413,75	387,27
11/04/2012	V	0,698	23,9	1,5	8,1	898	51	3,85E+07	2,29E+06	181	46,61	397,0	350,39	332,79
02/05/2012	VI	0,887	22,1	1,7	8,4	1033	100	2,74E+07	6,98E+06	168	62,31	621,0	558,69	417,27
16/05/2012	VII	1,745	20,5	2,1	8,1	1030	108	4,87E+06	1,61E+06	253	126,00	456,0	330,00	372,47
30/05/2012	VIII	0,582	19,3	3,2	8,2	852	80	2,31E+06	1,22E+06	340	64,74	450,5	385,76	314,09
Média		1,02	23,4	2,8	8,0	815	66,5	1,64E+07	4,37E+06	226,92	62,45	442,88	380,42	322,98
Mediana		0,84	23,3	2,9	8,1	875	65,5	9,50E+07	2,21E+06	204,68	60,40	453,25	368,08	338,22
Desvio Padrão		0,47	2,7	1,1	0,4	226	30,1	1,47E+07	4,83E+06	59,01	32,02	108,65	97,16	79,12

Tabela 6 - Carga orgânica para as fontes pontuais de efluente líquido nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no *Campus* da UFSM.

FONTES PONTUAIS		Vazão L/s			DBO mg/L			Carga mg/s		
DATA	CAMPANHA	FP 31	FP 32	FP 31A	FP 31	FP 32	FP 31 A	FP 31	FP 32	FP 31A
15-fev*	I	0,312	0,07	0,79	>224	>259	>275	>70,0	>10,0	>217,0
29-fev	II	0,588	0,07	0,67	409	243	195	240,6	18,61	130,4
16-mar	III	1,430	0,56	0,99	388	638	248	554,9	360,8	245,0
26-mar	IV	1,044	0,65	1,77	1618	2285	205	1689,6	1482,8	361,4
11-abr	V	1,239	0,48	0,70	354	220	181	438,7	105,8	126,6
2-mai	VI	0,008	0,71	0,89	390	528	168	2,9	373,6	148,5
16-mai	VII	0,91	0,40	1,7	2313	2844	253	2105,3	1137,5	440,7
30-mai	VIII	1,08	0,28	0,58	611	485	340	660,2	135,8	197,6
Média		0,90	0,40	1,05	869,32	1035,71	226,92	813,2	516,4	235,8

* - valores desconsiderados para cálculo da média.

Observa-se ainda, uma vazão mais baixa nas duas primeiras campanhas para as três fontes, devido ao período de férias (fevereiro) das atividades estudantis na Universidade. Durante uma das campanhas do mês de abril (campanha VI) constatou-se a interrupção parcial de emissão de efluente na fonte FP-31, a qual teve registro de vazão quase nula no horário da coleta (0,008 L/s) e consequente redução dos demais parâmetros analisados. Esse fato isolado ocorreu por obras na rede de tratamento, possivelmente manutenção ou ligação de novos pontos (tributários) ao sistema.

Com base nos valores de DBO_5 (Figura 46), pode-se supor que os efluentes produzidos pela população do Campus, apresentam características de esgoto doméstico para a FP-31A ($DBO_{médica}$ 226,9 mg/L) e com potenciais características de fontes não apenas domésticas para FP-31 ($DBO_{médica}$ 869,32 mg/L) e FP-32 ($DBO_{médica}$ 1035,71 mg/L), chegando a apresentar, em determinadas campanhas, concentrações máximas de 2313 mg/L e 2844 mg/L respectivamente. Estes picos na concentração de DBO podem estar relacionados ao tipo de cocção realizada no Restaurante Universitário, tendo sido constatado nestes dias (campanhas IV e VII) grande quantidade de material graxo residual no efluente. Outra consideração referente a esses resultados podem estar associados a falta de uma caixa de gordura ou a ineficiência da mesma.

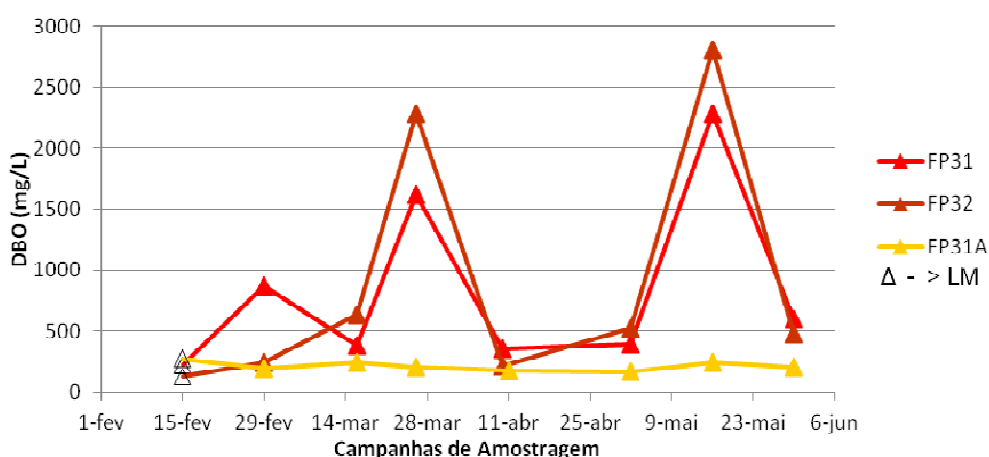


Figura 46 - Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) das fontes pontuais de efluente líquido para cada campanha de amostragem.

Legenda: Δ - valor no mínimo maior que o encontrado devido a baixa diluição e consumo total do oxigênio para a DBO de 5 dias.

A quantidade de coliformes termotolerantes para as três fontes evidenciam origem sanitária, culminando em concentrações de 10^6 a 10^8 organismos/100mL, ou seja, indicadores de poluição fecal. A presença de organismos coliformes pode estar associada à presença de outras bactérias e vírus intensamente patogênicos (BAUMGARTEM e POZZA, 2001).

Na tabela 7 expõem-se os valores médios de vazão, DBO, Sólidos suspensos e coliformes termotolerantes para as fontes pontuais e os padrões estabelecidos pela Resolução CONSEMA nº 128/2006 para efluentes lançados em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Para o cálculo da DBO média foram desconsiderados os valores obtidos na primeira campanha de monitoramento realizada no dia 15/02/2012 devido à diluição das amostras não ter sido suficiente para a obtenção do valor correto de DBO nas três fontes pontuais.

Tabela 7 - Comparação entre os limites estabelecidos pela Resolução CONSEMA 128/06 e as concentrações médias encontradas nas fontes pontuais para verificação de conformidade.

Fonte Pontual	Vazão m ³ /dia	Padrões			Amostras			
		DBO ₅ mg/L	Sól. Susp. mg/L	Colif. Termo NMP/100ml	DBO ₅ mg/L	Sól. Susp. mg/L	Colif. Termo NMP/100ml	Carga DBO ₅ mg/L
FP 31*	77,74	150	155	1,00E+05	869,32	208,14	1,05E+07	813,23
FP 32*	39,00	150	155	1,00E+05	1034,71	117,63	2,44E+06	516,46
FP 31A**	90,55	150	160	-	226,92	62,45	4,37E+06	235,80

* Padrões de emissão para efluentes líquidos de fontes poluidoras exceto efluentes líquidos domésticos.

** Padrões de emissão para efluentes líquidos domésticos.

Em relação aos valores de concentração limite, estabelecidos pela Resolução CONSEMA nº 128/06 para DBO, sólidos suspensos e coliformes termotolerantes (colunas 3, 4 e 5) as três fontes pontuais estão acima dos valores estabelecidos, caso lançassem seus efluentes em curso d'água, com exceção da FP-31A para coliformes termotolerantes, em que, a Resolução não estabelece um valor máximo

para vazões inferiores a $200 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$. Os valores para estes parâmetros foram obtidos a partir da média de cada variável considerando todas as campanhas.

Com relação ao parâmetro alcalinidade, as três fontes apresentaram valores acima de 100 mg/L de CaCO_3 , característico da presença de matéria orgânica ou efluente industrial (LIBÂNIO, 2010) e pH entre a faixa neutra a levemente básica (7 a 9).

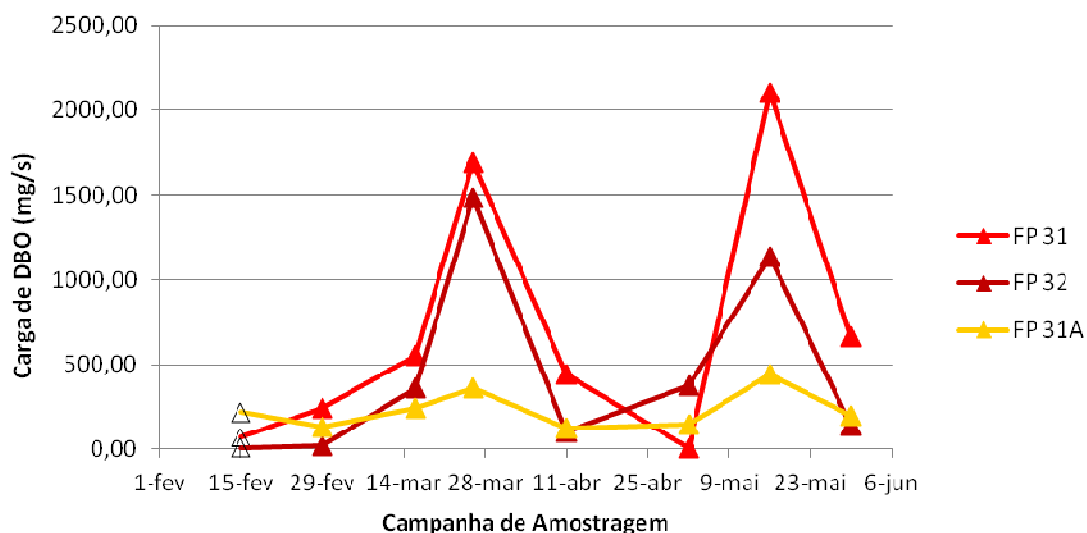


Figura 47 - Carga Orgânica das fontes pontuais de efluente líquido para cada campanha de amostragem.

Legenda: Δ - valor no mínimo maior que o encontrado devido a baixa diluição e consumo total do oxigênio para a DBO de 5 dias.

A figura 47 ilustra a variação da carga orgânica ocasionada pela demanda hídrica do *Campus* e as diferenças entre as fontes. Percebe-se que o comportamento da fonte FP-31 e FP-32 são semelhantes, e estão vinculados aos picos de DBO, sem que haja uma tendência. Para a fonte FP-31A isso não ocorre, pois os picos de variação são menores e, por isso, pode-se definir uma tendência.

Essas variações são características da origem das fontes pontuais e da demanda hídrica do *Campus*, em que, maiores vazões e maiores cargas orgânicas são consequência do horário do funcionamento do Restaurante Universitário e da maior movimentação nos prédios da Casa do Estudante.

D'Ávila (2009) em seu estudo encontrou para a fonte FP-31 o valor de carga orgânica média de $505,7 \text{ mg/s}$. Comparando o valor de carga de DBO da FP-31

monitorada por D'Ávila (2009) com o resultado obtido para esta mesma fonte, nas campanhas de amostragem pode-se constatar um aumento de 60% na carga orgânica, que passou para 813,2 mg/s (Tabela 7). Essa verificação pode estar vinculada à implantação de novos cursos e à ampliação de prédios e outras edificações, em que, novas canalizações de esgoto foram sendo conectadas aos sistemas de tratamentos já existentes e com a elevada demanda hídrica ocorreu um subdimensionamento do sistema de tratamento e a queda da eficiência na remoção de sólidos e na depuração da matéria orgânica presente no esgoto. Pode também estar relacionado ao mau desempenho dos sistemas de tratamento, devido a uma frequência não adequada de limpeza e manutenção dos filtros, que com o passar dos anos foram absorvendo uma grande quantidade de sólidos e crescimento da biomassa que, com o desprendimento do biofilme anaeróbio, pode haver ocorrido a colmatação e conseqüentemente, a formação de caminhos preferenciais, que causaram a redução de sua eficiência.

Paralelo ao levantamento quali-quantitativo foi realizada a avaliação do efeito do efluente a partir da exposição de um biomarcador ao ambiente contaminado (Capítulo 6).

5.2.2 Análise da água superficial

Na avaliação quali-quantitativa dos recursos hídricos superficiais foram utilizados os mesmos parâmetros das fontes pontuais de efluente líquido e as condições para lançamento em corpo hídrico, foram verificadas em relação aos valores limites de concentração, estabelecidos pela Resolução CONSEMA nº 128/06. Os resultados analíticos e de campo estão apresentados na tabela 8 para o ponto superficial CDB e na tabela 9 para o ponto superficial CM.

Para as campanhas iniciais de monitoramento na Sanga Lagoão do Ouro (arroyo da Gráfica), não foram coletadas amostras para o ponto CM nos dias 15 e 29 de fevereiro, devido a problemas no equipamento de medição de vazão.

As campanhas de monitoramento do ponto superficial CDB apresentaram valores que remetem a uma melhora na qualidade da água residuária para a maioria dos parâmetros em relação a qualidade da água residuária que entrada do sistema

(fontes) e a qualidade das águas que escoam pela área úmida. Entre esses, o pH manteve-se em 5,9 (média) variando entre 5,5 (levemente ácido) a 6,4 (próximo do neutro) sendo o intervalo de 6,0 a 8,5 adequado à manutenção da vida aquática. Obteve-se ainda, valores baixos de turbidez, com média 11,7 NTU, sem considerar a última campanha, que apresentou turbidez de 30 NTU. Este aumento duplicado pode ter ocorrido pelo carreamento de partículas do solo devido o evento de precipitação anterior à coleta.

A alcalinidade também apresentou valores baixos (média = 35,3 mg/L de CaCO_3) sendo normalmente encontrado em águas naturais valores inferiores a 100 mg/L de CaCO_3 (LIBÂNIO, 2010).

A condutividade elétrica média encontrada foi de 349 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo que em águas naturais o valor usualmente encontrado é inferior a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e próximo de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em corpos d'água receptores de efluente doméstico e industrial (LIBÂNIO, 2010). Em *wetlands* construídos, Costa et al. (2003) obtiveram valores na saída do sistema entre de 1555 a 890 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o que demonstra boa eficiência por parte do solo e das plantas para remoção de íons dissolvidos.

Para o parâmetro OD houve grande variação nas leituras de campo, não apresentando boa correlação com variáveis dependentes como temperatura ($R^2 = 0,42$) e DBO ($R^2 = -0,0026$), isto pode ser decorrente de problemas de leitura no aparelho utilizado.

Na tabela 10 apresenta-se os valores médios de vazão, DBO, sólidos suspensos e coliformes termotolerantes para o ponto superficial de coleta e os padrões estabelecidos pela Resolução CONSEMA nº 128/06 para efluentes lançados em águas superficiais. Considerou-se neste caso, devido às características das fontes pontuais, o efluente líquido do ponto CDB, como fonte poluidora de origem não doméstica para a verificação dos padrões de emissão. O ponto CM representa a situação ambiental da sanga, portanto, não se enquadraria na avaliação para verificação dos parâmetros de emissão de efluente líquido. Entretanto, foi considerado como tal neste estudo, a fim de estabelecer o grau de perturbação a que está sujeito, como já verificado em estudos anteriores por Reetz (2002) e D'Ávila (2009).

Tabela 8 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o ponto superficial CDB nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no Campus da UFSM.

DATA	CAMPANHA	VAZÃO (L/s)	T (°C)	OD mg/L	pH	Conduct. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Colif.Totais NMP/100ml	Colif.Termo NMP/100ml	DBO mg/L	Sól. Susp. mg/L	Sól. Tot. mg/L	Sól. Diss. mg/L	Alcalin. mg/L
15/02/2012	I	0,18	23,3	2,7	5,6	447	10	1,85E+04	3,41E+03	77	12,17	343,50	331,33	16,0
29/02/2012	II	0,22	23,9	4,0	5,6	279	8	>2,42E+05	1,00E+02	35	1,80	207,00	205,20	9,5
16/03/2012	III	0,17	21,9	2,2	5,5	283	13	2,31E+04	2,00E+02	58	3,87	248,00	244,12	11,0
26/03/2012	IV	0,35	18,6	4,2	5,5	301	12	7,56E+04	1,22E+03	52	8,25	242,00	233,75	46,8
11/04/2012	V	0,39	20,4	3,2	5,8	313	17	>2,42E+05	1,00E+02	19	10,00	236,00	226,00	25,0
02/05/2012	VI	0,11	15,1	3,0	6,3	469	11	3,24E+03	2,00E+02	35	8,25	242,00	233,75	52,2
16/05/2012	VII	0,40	13,7	1,4	6,2	403	11	1,47E+04	1,64E+02	32	16,40	288,50	278,10	56,1
30/05/2012	VIII	0,47	16,6	2,7	6,4	297	30*	7,53E+03	1,40E+03	19	21,00	214,00	193,00	66,1
Média		0,29	19,2	2,9	5,9	349	11,7	2,38E+04	8,49E+02	40,98	10,22	252,63	243,16	35,3
Mediana		0,29	19,5	2,9	5,8	307	11,2	1,66E+04	2,00E+02	35,22	9,13	242,00	233,75	35,9
Desvio padrão		0,13	3,8	0,9	0,4	78	2,8	2,81E+04	1,16E+03	15,00	6,29	44,15	43,79	22,5

* Valor desconsiderado para análise estatística.

Tabela 9 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o ponto superficial CM nas campanhas de amostragem realizadas no período de 16/03/12 a 30/04/12 em área impactada no Campus da UFSM.

DATA	CAMPANHA	VAZÃO (L/s)	T (°C)	OD mg/L	pH	Condut. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Colif.Totais NMP/100ml	Colif.Termo NMP/100ml	DBO mg/L	Sól. Susp. mg/L	Sól. Tot. mg/L	Sól. Diss. mg/L	Alcalin. mg/L
15/02/2012	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29/02/2012	II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16/03/2012	III	22,00	23,3	4,3	7,4	532	27	>2,42E+07	7,71E+05	75	12,60	291,50	278,90	167,83
26/03/2012	IV	20,00	21,2	2,8	7,1	479	27	1,01E+05	3,27E+03	118	13,43	218,00	204,57	341,52
11/04/2012	V	22,00	21,8	4,0	7,3	448	22	>2,42E+07	9,70E+04	55	11,32	233,50	222,18	163,84
02/05/2012	VI	32,00	20,3	2,0	7,5	570	24	>2,42E+07	6,97E+05	64	13,43	218,00	204,57	177,15
16/05/2012	VII	32,00	18,8	1,8	7,3	575	25	>2,42E+07	5,04E+05	140	19,20	273,00	253,80	201,47
30/05/2012	VIII	57,00	16,0	6,3	7,2	244	38	1,84E+06	7,58E+04	146	59,43	165,00	105,57	331,59
Média		30,83	20,2	3,5	7,3	475	27,2	9,71E+05	3,58E+05	99,61	21,56	233,16	211,60	230,57
Mediana		32,0	20,8	3,4	7,3	506	25,9	9,71E+05	3,01E+05	96,63	13,43	225,75	213,38	189,31
Desvio padrão		14,7	2,6	1,7	0,1	124	5,6	1,23E+06	3,41E+05	39,72	18,75	44,94	56,90	83,19

Tabela 10 - Comparação entre os limites estabelecidos pela Resolução CONSEMA 128/06 e as concentrações médias encontradas nos pontos superficiais para verificação de conformidade dos valores estabelecidos pela mesma Resolução.

Ponto superficial	Vazão m ³ /dia	Padrões			Amostras				
		DBO ₅ mg/L	Sól. Susp. mg/L	Colif. Termo NMP/100ml	DBO ₅ mg/L	Sól. Susp. mg/L	Colif. Termo NMP/100ml	Carga DBO ₅ mg/L	
CDB*	24,81	150	155	1,00E+05	40,98	10,22	8,49E+02	31,99	
CM**	2664,00	60	60	1,00E+04	99,61	21,57	3,58E+05	3677,54	

* Padrões de emissão para efluentes líquidos de fontes poluidoras exceto efluentes líquidos domésticos.

** Padrões de emissão para efluentes líquidos domésticos.

Em relação à qualidade do ponto CDB percebe-se na tabela 10 que o mesmo está dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONSEMA nº 128/06 para todos os parâmetros avaliados. O fluxo horizontal, ou seja, o efluente que escoar superficialmente, da saída nas fontes pontuais e chega até o ponto CDB, passando pelo sistema solo-planta, apresenta boa remoção da matéria orgânica e a diminuição dos microrganismos patogênicos (grupo coliformes) presentes na água residuária.

A funcionalidade do sistema solo-planta evidencia a atenuação natural do ambiente a partir da fitorremediação, visto a existência de macrófitas na área alagada. Essa espécie vegetal nativa caracteriza-se por crescer em locais alagados a maior parte do tempo e suas raízes captam nutrientes e outras substâncias da água que alimenta o sistema, incorporam ar pelas folhas e o transfere aos rizomas e raízes (COSTA et al.; 2003).

Na tabela 10, no que diz respeito ao ponto superficial CM, observa-se que a sanga apresenta grande desequilíbrio ambiental, classificando-se fora dos padrões exigidos pela Resolução CONSEMA nº 128/06 para o limite de DBO e coliformes termotolerantes, caso este fosse considerado como um efluente de origem doméstica. No entanto, esse ponto é amostra de um curso d'água, amplamente degradado por diferentes fatores ambientais (BRUN, 2011). Outra evidência da poluição está nos valores elevados de alcalinidade (média de 230,5 mg/L de CaCO₃), que nos corpos d'água estão associados a processos de decomposição da matéria orgânica, a atividade respiratória de microrganismos, com liberação de gás

carbônico (CO₂) na água e ao lançamento de efluentes na água (LIBÂNIO, 2010). Os valores de OD apresentaram variações possivelmente associadas às cargas orgânicas no instante da medição, com exceção da medida da campanha VIII, que ocorreu em seguida a evento de precipitação e conseqüente aumento na vazão e nas condições de oxigenação da água devido ao regime turbulento de escoamento.

Na tabela 11 apresentam-se os valores limites da Resolução CONSEMA nº 128/06 para os valores médios obtidos a partir da mistura dos pontos superficiais CDB e CM, a fim de determinar o grau de perturbação causado pelo efluente CDB na sanga.

Tabela 11 - Comparação entre os limites estabelecidos pela Resolução CONSEMA nº 128/06 e as concentrações médias de mistura dos pontos CDB e CM para verificação de conformidade dos valores estabelecidos pela mesma Resolução.

Ponto superficial	Vazão m ³ /dia	Padrões			Amostras		
		DBO ₅	Sól. Susp.	Colif. Termo	DBO ₅	Sól. Susp.	Colif. Termo
CDB + CM*	2688,81	60	60	1.00E+04	107,67	28,10	3.55E+06
CDB + CM**	2688,81	70	80	1.00E+04	107,67	28,10	3.55E+06

* Padrões de emissão para efluentes líquidos de fontes poluidoras exceto efluentes líquidos domésticos.

** Padrões de emissão para efluentes líquidos domésticos.

As comparações foram efetuadas considerando-se os limites para efluente de fonte poluidora doméstica e de fonte poluidora de origem não doméstica devido às características das fontes pontuais. Para as duas comparações os limites de DBO e coliformes termotolerantes ficaram acima do estabelecido pela Resolução CONSEMA nº 128/06. Comparando-se o resultado da tabela 10 para o ponto CM, com o resultado da tabela 11, a DBO teve um pequeno acréscimo 8,1% no valor considerado para a mistura e os coliformes obtiveram um aumento de 1 unidade log. Este aumento de coliformes termotolerantes não chega a ser significativo, tendo por base que a sanga já apresentava valor acima do limite antes da mistura.

Esses resultados evidenciam a má qualidade da sanga devido ao lançamento de efluentes no seu percurso sem grande interferência do efluente proveniente da

área alagada, que se apresenta dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução Estadual.

5.2.3 Análise da água subsuperficial e subterrânea

A maior parte da água subterrânea se origina a partir do excesso de chuva que se infiltra (diretamente ou indiretamente) na superfície do solo. Como consequência, as atividades que se desenvolvem na superfície podem ameaçar a qualidade da água subterrânea. Aspectos qualitativos das águas subsuperficial e subterrânea dependem das substâncias dissolvidas nela, proveniente das características das rochas por onde circulam ou dos produtos que possam atingi-las.

As análises de água subsuperficial, coletada nos poços rasos, dispostos na tabela 12 (PMR-01), 13 (PMR-02), 14 (PMR-03) e na tabela 15 (PMR-04), representam a qualidade da água (efluente) que percorre a área alagada até chegar ao canal descarregador e, posteriormente, à sanga.

Tabela 12 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento raso PMR-01 nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no *Campus* da UFSM.

DATA	CAMPANHA	NA m	T (°C)	OD mg/L	pH	Conduct. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Colif.Totais NMP/100ml	Colif.Temo NMP/100ml	DBO mg/L	Sól. Susp. mg/L	Sól. Tot. mg/L	Sól. Diss. mg/L	Alcalin. mg/L
15/02/2012	I	0	23,0	3,0	6,9	900	228	2,14E+05	3,09E+04	75	169,00	487,00	318,00	377,50
29/02/2012	II	0	24,2	1,1	6,6	875	246	>2,42E+07	<1,00E+04	89	189,50	503,00	313,50	352,65
16/03/2012	III	0	22,1	1,1	6,8	866	171	1,00E+04	<5,00E+03	89	96,80	463,00	366,20	353,65
26/03/2012	IV	0	23,2	1,0	7,0	834	199	7,98E+04	1,60E+04	40	89,33	475,50	386,17	729,86
11/04/2012	V	0	25,5	3,1	7,0	1073	247	>2,42E+06	6,30E+03	8	98,33	463,50	365,17	376,82
02/05/2012	VI	0	20,2	3,0	7,0	878	247	5,05E+04	5,00E+02	14	103,11	479,00	375,89	354,30
16/05/2012	VII	0	18,7	0,7	6,9	841	216	4,46E+03	2,64E+03	108	47,60	493,00	445,40	357,11
30/05/2012	VIII	0	21,3	0,9	7,0	931	296	4,87E+03	2,01E+03	27	207,00	589,00	382	362,46
Média	-	-	22,3	1,7	6,9	900	231	6,06E+04	9,73E+03	56,38	125,08	494,13	369,04	408,04
Mediana	-	-	22,6	1,1	7,0	877	237	3,03E+04	4,47E+03	39,98	100,75	483,00	371,04	359,79
Desvio padrão	-	-	2,2	1,1	0,1	77	37	8,11E+04	1,18E+04	41,03	56,15	40,73	41,49	130,42

Tabela 13 -Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento raso PMR-02 nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no *Campus* da UFSM.

DATA	CAMPANHA	NA m	T (°C)	OD mg/L	pH	Condut. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Colif.Totais NMP/100ml	Colif.Termo NMP/100ml	DBO mg/L	Sól. Susp. mg/L	Sól. Tot. mg/L	Sól. Diss. mg/L	Alcalin. mg/L
15/02/2012	I	0	26,3	3,0	7,2	684	678	1,92E+05	9,08E+04	72	301,50	2769,00	2467,50	196,00
29/02/2012	II	0	24,6	1,4	7,1	745	740	>2,42E+06	1,00E+03	116	1233,33	1568,00	334,67	279,72
16/03/2012	III	0	22,5	1,4	7,1	751	244	2,69E+05	1,15E+05	74	286,00	674,50	388,50	281,72
26/03/2012	IV	0	23,9	1,0	7,1	717	175	3,65E+05	4,80E+04	53	89,33	475,50	386,17	591,55
11/04/2012	V	0	26,6	2,8	7,1	724	102	>2,42E+06	2,88E+04	21	24,00	428,50	404,50	291,83
02/05/2012	VI	0	19,2	2,5	7,2	274	186	8,36E+04	2,41E+04	12	154,40	533,00	378,60	295,93
16/05/2012	VII	0	17,7	0,8	7,3	758	197	5,89E+04	3,59E+04	102	118,12	231,00	112,88	321,27
30/05/2012	VIII	0	20,6	1,1	7,2	778	214	>1,21E+06	9,95E+04	27	290,00	615,00	325,00	316,67
Média		-	22,7	1,8	7,2	679	317	1,94E+05	5,54E+04	59,76	312,09	911,81	599,73	321,84
Mediana		-	23,2	1,4	7,2	735	206	1,92E+05	4,19E+04	53,31	220,20	574,00	328,38	293,88
Desvio Padrão		-	3,3	0,9	0,1	166	246	1,28E+05	4,11E+04	40,87	386,39	849,80	760,50	115,61

Tabela 14 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento raso PMR-03 nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no *Campus* da UFSM.

DATA	CAMPANHA	NA m	T (°C)	OD mg/L	pH	Condut. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Colif.Totais NMP/100ml	Colif.Termo NMP/100ml	DBO mg/L	Sól. Susp. mg/L	Sól. Tot. mg/L	Sól. Diss. mg/L	Alcalin. mg/L
15/02/2012	I	0	26,7	1,7	6,4	535	745	4,61E+06	4,10E+04	70	480,00	4509,00	4029,00	178,00
29/02/2012	II	0	24,2	0,5	6,3	529	367	1,83E+05	3,10E+04	67	434,44	671,50	237,06	206,79
16/03/2012	III	0	22,5	0,5	6,6	545	180	4,28E+05	<5,00E+03	67	171,43	616,50	445,07	213,79
26/03/2012	IV	0	21,2	0,7	6,6	563	329	7,27E+05	2,00E+03	82	522,67	963,00	440,33	495,79
11/04/2012	V	0	23,0	2,4	6,6	535	342	2,14E+05	1,00E+03	25	383,00	775,00	392,00	227,32
02/05/2012	VI	0	20,6	2,7	7,0	528	177	1,21E+06	4,90E+03	9	174,55	539,00	364,45	245,75
16/05/2012	VII	0	16,5	0,4	6,6	549	188	9,05E+03	1,00E+03	77	147,00	429,00	282,00	229,11
30/05/2012	VIII	0	19,0	0,9	6,6	545	313	4,45E+04	2,68E+03	39	470,00	823,00	353,00	216,86
Média		-	21,7	1,2	6,6	541	330,1	9,28E+05	1,19E+04	54,48	347,89	1165,75	817,86	251,67
Mediana		-	21,9	0,8	6,6	540	321,0	3,21E+05	2,68E+03	66,64	408,72	723,25	378,23	222,09
Desvio padrão		-	3,1	0,9	0,2	12	185,3	1,5E+06	1,67E+04	27,95	157,29	1361,21	1299,47	100,59

Tabela 15 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento raso PMR-04 nas campanhas de amostragem realizadas no período de 15/02/12 a 30/04/12 em área impactada no *Campus* da UFSM.

DATA	CAMPANHA	NA m	T (°C)	OD mg/L	pH	Condut. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Colif.Totais NMP/100ml	Colif.Termo NMP/100ml	DBO mg/L	Sól. Susp. mg/L	Sól. Tot. mg/L	Sól. Diss. mg/L	Alcalin. mg/L
15/02/2012	I	0,40	24,3	1,7	5,8	273	93	3,00E+02	1,00E+02	79	58,42	352,00	293,58	85,50
29/02/2012	II	0,40	24,8	2,1	5,4	212	463	1,00E+03	<1,00E+03	74	138,00	751,50	613,50	53,95
16/03/2012	III	0,44	21,0	2,1	5,7	210	248	2,25E+05	1,10E+04	63	67,20	507,50	440,30	51,95
26/03/2012	IV	0,46	22,6	2,0	5,6	204	299	4,65E+04	1,10E+04	42	61,60	532,00	470,40	94,69
11/04/2012	V	0,37	21,7	3,5	5,6	233	187	2,91E+05	1,00E+03	20	58,50	90,00	31,50	63,49
02/05/2012	VI	0,69	19,0	3,6	6,2	298	113	2,92E+03	<2,00E+02	10	234,40	369,00	134,60	80,38
16/05/2012	VII	0,62	17,0	3,5	6,5	558	41	5,04E+03	8,00E+01	106	39,20	382,00	342,80	236,28
30/05/2012	VIII	0,32	17,8	3,2	6,4	640	20	>9,67E+04	1,24E+02	26	22,33	464,00	441,67	291,97
Médias		0,46	21,0	2,7	5,9	329	183	8,16E+04	3,88E+03	52,43	84,96	431,00	346,04	119,78
Mediana		0,42	21,4	2,7	5,8	253	150	5,04E+03	5,62E+02	41,89	60,05	423,00	391,55	82,94
Desvio Padrão		0,13	2,9	0,8	0,4	172	149,2	1,23E+05	5,52E+03	34,25	69,10	188,46	189,52	91,56

Para a análise desta seção hidrogeológica não é definida uma norma ou resolução para padrão de qualidade que possa ser adequada à situação, entretanto algumas considerações são importantes e foram referenciadas considerando os limites para água subterrânea.

Percebe-se grande quantidade de sólidos nas amostras, apesar das condições construtivas terem seguido as recomendações normativas. Isso pode estar associado à classificação do solo, pois o mesmo apresenta-se como silte arenoso, com grande quantidade de finos (Capítulo 5.2.4) e a grande concentração de matéria orgânica presente no meio. Para estes parâmetros os valores da mediana representam de forma mais significativa o resultado, visto que nas duas primeiras campanhas os valores de sólidos totais apresentaram concentrações maiores que nas demais, após estabelecer-se uma rotina de amostragem, sem grandes períodos de repouso dos poços. Reitera-se ainda que, anterior às coletas, era efetuada a purga dos poços e após a recuperação da lâmina (nível potenciométrico inicial) era realizada a amostragem.

Quanto ao parâmetro condutividade elétrica, que está vinculado ao teor de sais dissolvidos sob a forma de íons, observa-se uma redução dos valores médios conforme o distanciamento das fontes, ou seja, à medida que o efluente escoar através do substrato, os ânions e cátions presentes no efluente tendem a ligar-se a outros compostos e reduzir a transmissão de corrente elétrica.

Entre as características químicas da água, destaca-se o pH, que em águas subterrâneas pode variar entre 5,5 a 8,5 (SANTOS, 2008). Os quatro poços apresentaram valores de pH dentro desta faixa para todas as campanhas, porém cabe ressaltar que há uma tendência à acidificação do meio, quanto mais distante das fontes de emissão (Figura 48). O pH é essencialmente uma função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água. O gás carbônico é produto final da decomposição da matéria orgânica (FEITOSA et al., 2008; LIBÂNIO, 2010). Por essa interpretação é possível supor que nos poços PMR-03 e PMR-04 a matéria orgânica esteja mais estável.

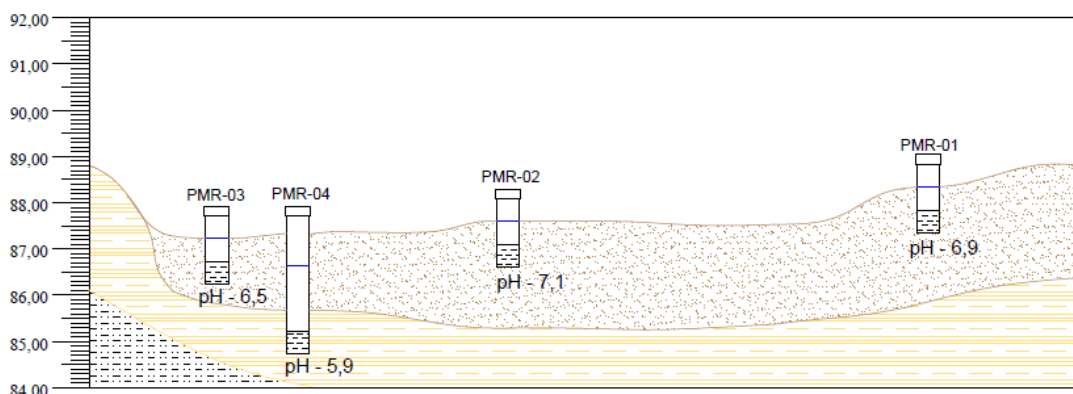


Figura 48 - Decaimento do pH nos poços rasos em relação ao distanciamento das fontes pontuais de emissão de efluente líquido.

As análises de DBO podem ser visualizadas individualmente na figura 49, que demonstra o histórico das campanhas para este parâmetro. Pode-se inferir pela interpretação dos resultados, que a resposta é simultânea, ou seja, para cada carga orgânica de entrada no sistema, a resposta é semelhante aos quatro poços monitorados, pois o escoamento deve ocorrer de forma rápida.

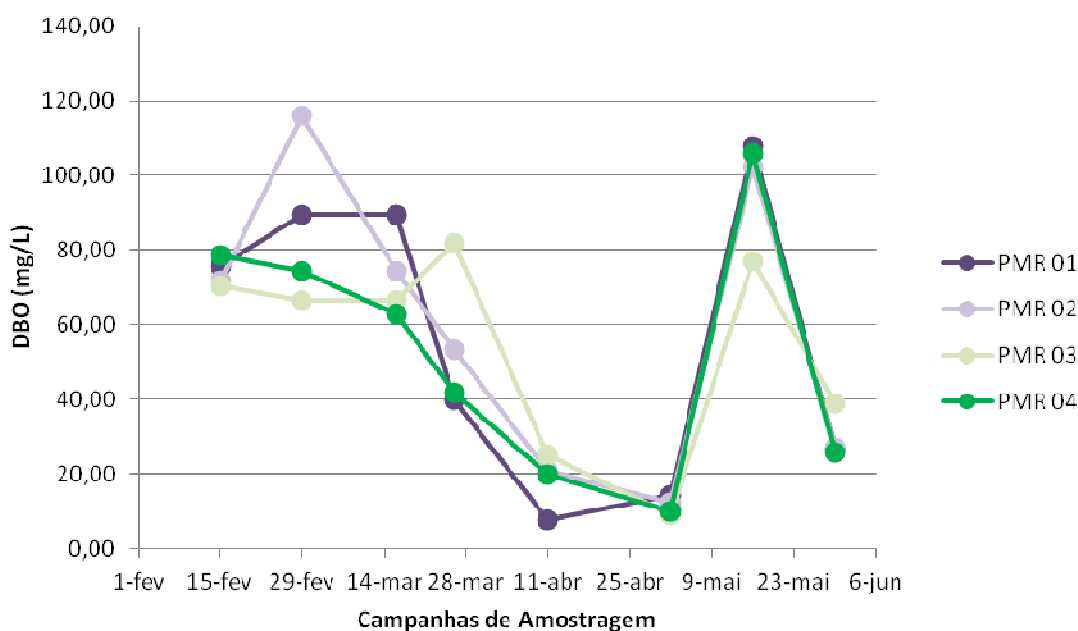


Figura 49 - Comparação entre os resultados de DBO para os poços rasos em todas as campanhas de amostragem.

Os valores médios de DBO₅ para cada poço apresentam-se com variações baixas, mantendo-se na faixa de 52,43 mg/L (mínimo) para o PMR-04 e 59,76 mg/L (máximo) para o PMR-02. Os valores de OD para os poços foram baixos, com média inferior a 1,7 mg/L, com exceção do PMR-04 que apresentou média de 2,7 mg/L.

Em relação às análises microbiológicas há uma tendência a maiores contagens do número de coliformes, totais e termotolerantes, nos poços PMR-02 e PMR-03, região mais central da área. Possivelmente, isso seja ocasionado pela passagem preferencial do fluxo nessa porção do terreno. Entre os poços PMR-03 e PMR-04, instalados lado a lado, porém em profundidades distintas percebe-se uma redução no número de coliformes. Entretanto, essa redução não chega a ser significativa e demonstra que há evidente comunicação entre as duas seções estratigráficas. Ou seja, o efluente proveniente das fontes está infiltrando para a camada de solo subjacente e comprometendo a qualidade da água nessa seção hidrogeológica.

Para os poços PMR-01, PMR-02 e PMR-03, não ocorreram variação considerável do nível freático. Em todas as campanhas a lâmina da água encontrou-se na cota do terreno ou com pequenas variações acima da mesma. No poço PMR-04 o nível da água apresentou variações do nível estático, sendo realizadas medidas antes da purga/coleta do poço. Os resultados do monitoramento podem ser visualizados na tabela 15, coluna 3 e foram utilizados para caracterizar a seção hidrogeológica (Capítulo 5.1.2) em que o poço foi instalado.

Os resultados das análises de água subterrânea, coletados nos poços intermediários podem ser observados na tabela 16 (PM-01) e na tabela 17 (PM-02). Os resultados para as duas campanhas nos poços profundos estão na tabela 18 (PB-15) e na tabela 19 (PB-17). Estes poços representam a qualidade dos aquíferos do *Campus*, em que, o reservatório subterrâneo denominado profundo, é utilizado para fins de abastecimento.

Considerando a finalidade de cada poço dentro deste estudo, os valores para o poço de bombeamento (PB-15) foram comparados à Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 e aos valores recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Os valores para os poços PM-01, PM-02 e PB-17 foram confrontados aos valores de referência sugeridos por Santos (2008).

Tabela 16 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento intermediário PM-01 nas quatro campanhas de amostragem realizadas no período de 29/02/12 a 30/04/12 em área impactada no *Campus* da UFSM.

DATA	CAMPANHA	NA m	T (°C)	OD mg/L	pH	Condut. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Colif.Totais NMP/100ml	Colif.Termo. NMP/100ml	DBO mg/L	Sól. Susp. mg/L	Sól. Tot. mg/L	Sól. Diss. mg/L	Alcalin. mg/L
29/02/2012	II	1,59	22,9	1,8	5,7	157	10,9	2,26E+04	1,00E+03	17,6	20,3	163,0	142,70	58,44
26/03/2012	IV	2,08	21,3	1,2	5,9	156	7,0	6,30E+02	<100	28,0	13,7	201,5	187,80	109,59
02/05/2012	VI	2,00	22,3	2,7	5,8	153	6,0	3,87E+03	<100	21,9	0,0	138,0	138,00	62,97
30/05/2012	VIII	1,82	18,7	3,4	5,7	167	7,5	8,66E+03	<5	35,8	87,5	241	153,50	107,27
Média		1,87	21,3	2,2	5,8	158	7,8	8,93E+03	<301	25,8	30,37	185,87	155,49	84,56

Tabela 17 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento intermediário PM-02 nas quatro campanhas de amostragem realizadas no período de 29/02/12 a 30/04/12 em área impactada no *Campus* da UFSM.

DATA	CAMPANHA	NA m	T (°C)	OD mg/L	pH	Condut. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Colif.Totais NMP/100ml	Colif.Termo. NMP/100ml	DBO mg/L	Sól. Susp. mg/L	Sól. Tot. mg/L	Sól. Diss. mg/L	Alcalin. mg/L
29/02/2012	II	0,92	22,3	3,5	6,03	321	7,9	9,50E+03	1000	56,8	9,50	253,0	243,53	132,87
26/03/2012	IV	1,05	20,8	1,5	6,17	255	4,0	1,94E+02	<20	30,4	11,30	258,0	246,70	192,57
02/05/2012	VI	1,93	19,1	2,8	6,42	182	11,0	2,18E+03	<100	12,8	0,00	182,0	182,00	89,09
30/05/2012	VIII	0,93	16,2	3,6	6,17	201	5,6	1,03E+03	<5	36,8	23,00	142,5	119,50	187,53
Média		1,20	19,6	2,8	6,2	239	7,1	3,23E+03	<281	34,2	10,94	208,87	197,93	150,51

Tabela 18 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento profundo PMB-15 nas duas campanhas de amostragem realizadas no período de 29/02/12 a 30/04/12 em área impactada no *Campus* da UFSM.

DATA	CAMPANHA	NA m	T (°C)	OD mg/L	pH	Condut. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Colif.Totais NMP/100ml	Colif.Termo. NMP/100ml	DBO mg/L	Sól. Susp. mg/L	Sól. Tot. mg/L	Sól. Diss. mg/L	Alcalin. mg/L
29/02/2012	II	-	20,8	5,6	6,5	139	0,9	3,65E+02	1	1,74	0,00	308	308	46,95
30/05/2012	VIII	-	19,6	4,2	6,0	216	0,4	3,87E+02	1	3,88	4,00	121	117	52,73

Tabela 19 - Valores das análises físico químicas e biológicas para o poço de monitoramento profundo PMB-17 nas duas campanhas de amostragem realizadas no período de 29/02/12 a 30/04/12 em área impactada no *Campus* da UFSM

DATA	CAMPANHA	NA m	T (°C)	OD mg/L	pH	Condut. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Colif.Totais NMP/100ml	Colif.Termo. NMP/100ml	DBO mg/L	Sól. Susp. mg/L	Sól. Tot. mg/L	Sól. Diss. mg/L	Alcalin. mg/L
29/02/2012	II	11,94	20,7	1,30	6,6	403	180,9	4,63E+02	<2	2,28	57,8	179,5	121,7	161,84
30/05/2012	VIII	13,12	19,6	2,40	6,4	375	18,5	1,49E+03	<20	3,34	455,5	630,5	175,0	175,18

O poço PM-01 apresentou pH médio de 5,8 próximo ao limite mínimo, e o poço PM-02 pH médio de 6,2. O valor do pH para o PB-15, na campanha VIII, ficou abaixo do recomendado pela OMS que estabelece a faixa entre 6,5 a 8,5 mas, enquadra-se na variação da Portaria de Potabilidade nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, entre 6,0 e 9,5.

Para a turbidez o Valor Máximo Permitido (VMP) estabelecido é 5,0 NTU em poços de abastecimento, ou seja, o poço PB-15 apresenta valores inferiores ao limite da Portaria nº 2.914/11. O poço PB-17, não se enquadra nessa Portaria, pois não é utilizado para consumo humano, entretanto, valores altos de turbidez foram encontrados e podem estar associados as concentrações de sólidos totais presentes na amostra. Durante as amostragens foi possível detectar a presença de partículas em suspensão em tons alaranjados, além da própria coloração da amostra neste mesmo tom. Moreira (2005) monitorou este mesmo poço e verificou valores de ferro (0,9 mg/L) e manganês (9,00 mg/L) acima dos valores fixados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e pela Portaria nº 2.914/11 de 0,3 mg/L e 0,1 mg/L respectivamente.

De acordo com o estudo de Moreira (2005) o PB-17, apresentou valor de condutividade elétrica de 388,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, próximo aos valores encontrados nas duas campanhas de monitoramento. A OMS e a Portaria nº 2.914/11 não fazem referências a limites de condutividade elétrica. Porém, tem-se o conhecimento de que águas naturais possuem valores inferiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, podendo atingir até 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ quando receptoras de carga de efluentes domésticos e industriais (LIBÂNIO, 2010). Valores abaixo de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam águas desmineralizadas com baixíssima concentração de sais dissolvidos, podendo ser consideradas leves (MOREIRA, 2005). O poço PM-01 apresentou valor médio de 158 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o poço PM-02 de 239 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que pode estar vinculado ao fluxo de percolação maior dos contaminantes na direção Nordeste, obtendo-se valores mais elevados no PM-02 em relação ao PM-01. Esta interpretação também é possível para o parâmetro alcalinidade, em que o poço PM-02 apresentou concentração média de 150,51 mg/L de CaCO_3 , enquanto que o PM-01 apresentou valor médio de alcalinidade de 84,56 mg/L de CaCO_3 . Para o poço PB-15 a alcalinidade não apresenta significado sanitário, pois não é contemplada pelo padrão de potabilidade.

Nas águas subterrâneas, os valores de concentração de DBO em geral, são inferiores a 5 mg O_2/L de, os valores acima podem indicar contaminação (SANTOS,

2008). Na seção do aquífero intermediário foram encontrados valores médios de DBO de 25,8 mg O₂/L de para o poço PM-01 e 34,2 mg O₂/L de para o poço PM-02, esses valores indicam que está ocorrendo contaminação do aquífero por matéria orgânica. O que não ocorre nos poços PB-15 e PB-17, em que, a faixa de concentração observada de DBO indica que não ocorrem indícios de contaminação de acordo com o exposto por Santos (2008).

Para as análises de coliformes a seção intermediária apresentou elevada contagem de coliformes totais, com médias para os dois poços na casa de 3 unidades log (10³). Relacionado aos coliformes termotolerantes, foram efetuadas contagens apenas na campanha II, ou seja, na primeira amostragem dos poços intermediários. Nas demais campanhas não houve contagem de coliformes termotolerantes. Coelho (2007) demonstrou em seu experimento, o decaimento bacteriológico de organismo termotolerantes de 98,47% em 21 dias, monitorados em aquífero livre contaminado por infiltração de esgoto doméstico bruto. A redução do número de coliformes foi atribuída a mecanismos naturais (variação da temperatura, aumento da salinidade, concentração de íons, metais pesados, etc.).

Para o poço PB-17 obteve-se contagem de coliformes totais nas duas campanhas realizadas apresentando 2 e 3 unidades log respectivamente. Este poço admite-se estar fora de possíveis fluxos contaminados, pois este se situa segundo o mapeamento subterrâneo de D'Avila (2009) e Marion (2009) no divisor subterrâneo, sendo considerando um ponto branco ou de montante. Entretanto, o mesmo não possui proteção sanitária e o tamponamento é rosqueável estando vulnerável à contaminação.

Em relação ao poço de bombeamento PB-15 as análises de coliformes totais apresentaram contagem de 2 unidades log (10²) nas duas campanhas. Para os coliformes termotolerantes as duas campanhas apresentaram contagem de 1 MNP/100mL. O padrão de potabilidade para consumo humano determina a ausência de coliformes totais e termotolerantes. Nas águas subterrâneas os organismos patogênicos são eliminados ou removidos pela ausência de oxigênio e por filtração, em função da permeabilidade e condutividade do aquífero ou do subsolo. No entanto, esses microrganismos podem sobreviver no subsolo durante algum tempo, variável de acordo com a espécie (SANTOS 2008). Pelo resultado das análises de coliformes admite-se que possa estar ocorrendo migração da pluma de contaminação superficial até o aquífero que abastece o *Campus*.

Conforme Foster et al., 2006,

os perfis naturais de subsolo atenuam ativamente muitos poluentes da água e vêm sendo considerados potencialmente eficazes para o despejo seguro dos excrementos humanos e das águas residuais domésticas. No entanto, nem todos os perfis de subsolo e camadas subjacentes são igualmente eficazes na atenuação dos contaminantes, e os aquíferos são particularmente vulneráveis à poluição. O grau de atenuação varia muito de acordo com os tipos de contaminantes e processos associados a um dado ambiente hidrogeoquímico.

Seguindo-se a variação/redução nos resultados para as três seções hidroestratigráficas percebe-se que a matéria orgânica é consumida no perfil vertical do subsolo, com significativa redução no número de coliformes, porém estes ainda conseguem chegar ao aquífero profundo, possivelmente, transportados pelas partículas coloidais presentes na água. Este resultado pode estar vinculado à duração da aplicação da carga contaminante, ou seja, pelo fato da emissão de efluente em solo ser praticada há mais de décadas e pela intensidade da contaminação, em que, altas concentrações do contaminante no efluente são descarregadas diretamente no solo e lixiviadas ao subsolo. Outras amostragens no poço PB-15 devem ser realizadas, a fim de confirmar estes resultados.

Em relação ao nível de água do aquífero profundo, apenas o poço PB-17 foi monitorado, conforme relatado anteriormente. O nível de água medido nas duas campanhas situa-se dentro da faixa de variação medida por Moreira (2005) e apresentou um rebaixamento de 1,18 metros em três meses, influência das condições climáticas no processo de recarga aquífera direta, em consequência da forte estiagem ocorrida neste período.

Conforme a Resolução CONAMA nº 396/08 o aquífero profundo, devido suas características, classifica-se como Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo.

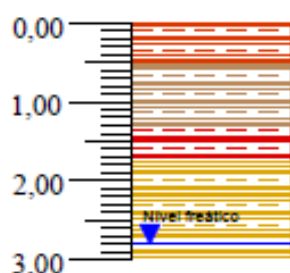
A avaliação dos perigos de contaminação do aquífero é necessária para definir, de forma mais clara, as ações requeridas para proteger a qualidade da água subterrânea e possíveis danos irreversíveis, decorrentes dos vários anos de generalizada negligência por parte das políticas públicas.

5.2.4 Análises de solo

Devido à complexidade das propriedades físicas, químicas e biológicas, qualquer estudo de qualidade do solo deve incluir diversas variáveis destas áreas, para que estas possam refletir os processos complexos que compõem a qualidade do solo e avaliar o impacto antropogênico sobre ele.

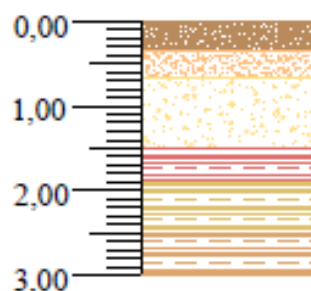
Entretanto, no estudo de caso proposto por esta pesquisa as variáveis consideradas na etapa de investigação exploratória, de acordo com o objetivo do trabalho, foram apenas atributos físicos usados para caracterizar o solo e limitar sua função ambiental em relação às águas subterrâneas. Ou seja, não foram considerados outros parâmetros importantes relacionados às características químicas e biológicas que também contribuem na avaliação da qualidade do solo, com exceção ao bioensaio adicionado como avaliação complementar da qualidade do solo (Capítulo 6).

Uma primeira descrição do solo foi realizada manualmente a partir da observação da textura, coloração e plasticidade. Nas figuras 50 e 51 demonstra-se a divisão em camadas para a trincheira 1 e trincheira 2, respectivamente. A trincheira 1 foi escavada até atingir aproximadamente 2,90 metros de profundidade e dividida em seis parcelas principais, com entrada d'água (possivelmente nível freático) em 2,80 metros de profundidade. A trincheira 2 foi aberta até uma profundidade aproximada de 3,00 metros quando atingiu o limite máximo à escavação devido a grande resistência do material.



- 0,00 - 0,50m: Argila siltosa, bastante raízes, marrom alaranjada, variegada, não homogênea, solo.
- 0,50 - 0,88m: Silte argilo-arenoso, com raízes, cores variegadas, marrom, não homogênea, solo.
- 0,88 - 1,35m: Silte argilo-arenoso, grumosa, quebradiça quando seca, cores variegadas, marrom.
- 1,35 - 1,80m: Silte argiloso, friável, com raízes, cor mosquiada marrom avermelhada.
- 1,80 - 2,20m: Silte argilo-arenoso, marrom ocre e pontuações negras. Características gleissolo.
- 2,20 - 3,00m: Silte argilo-arenoso, cores variegadas, predominante creme, com óxido e hidróxidos de ferro dispersos, com pontuação de matéria orgânica, plástica, maior concentração de óxido e hidróxidos que na camada anterior.

Figura 50 - Descrição do solo por camada na trincheira 1.



- 0,00 - 0,35m: Silte arenoso, marrom.
- 0,35 - 0,67m: Silte argilo-arenoso, pouco plástica, cores variegadas, creme alaranjada, com raízes. Possibilidade de flutuação do nível freático anualmente.
- 0,67 - 1,50m: Silte areno-argiloso, não plástica, material de planície aluvial, creme.
- 1,50 - 1,90m: Silte argiloso, creme rosada plástica quando úmida, dura e quebradiça quando seca.
- 1,90 - 3,00m: Silte argiloso, cores variegadas, cinza claro a creme, com estratificação no plano paralelo.

Figura 51 - Descrição do solo por camada na trincheira 2.

Nas tabelas 20 e 21 observa-se a classificação conforme a textura, condutividade hidráulica (K_{sat} ; mm/h) e a densidade absoluta (ρ ; g/m³) para cada camada amostral da trincheira 1 e trincheira 2. Nas tabelas 22 e 23 estão resumidos os resultados para a composição do solo em fração areia, silte e argila encontrados em cada camada da trincheira 1 e da trincheira 2 respectivamente.

Tabela 20 - Classificação conforme a textura, valores encontrados de condutividade hidráulica (K_{sat} ; mm/h) e a densidade absoluta (ρ ; g/cm³) e a profundidade para cada perfil amostral da trincheira 1.

TRINCHEIRA 1			
Profundidade (m)	Classificação Textural	Condutividade (m/dia)	Densidade (g/cm ³)
0,00 - 0,50	Argila siltosa	2,889E+00	1,60
0,50 - 0,88	Silte argilo-arenoso	2,217E-01	1,63
0,88 - 1,35	Silte argilo-arenoso	1,063E-02	1,76
1,35 - 1,80	Silte argiloso	2,590E-02	1,64
1,80 - 2,20	Silte argilo-arenoso	7,887E-03	1,82
2,20 - 2,80	Silte argilo-arenoso	3,932E-02	1,65

Tabela 21 - Classificação conforme a textura, valores encontrados de condutividade hidráulica (K_{sat} ; mm/h) e a densidade absoluta (ρ ; g/cm³) e a profundidade para cada perfil amostral da trincheira 2.

TRINCHEIRA 2			
Profundidade (m)	Classificação Textural	Condutividade (m/dia)	Densidade (g/cm ³)
0,00 - 0,35	Silte arenoso	8,781E-01	1,39
0,35 - 0,67	Silte argilo-arenoso	3,343E-01	1,84
0,67 - 1,50	Silte areno-argiloso	9,645E-01	1,88
1,50 - 1,90	Silte argiloso	0,000E+00	1,63
1,90 - 2,00	Silte argiloso	0,000E+00	1,63

Tabela 22 - Composição do solo: fração areia, silte e argila encontrado em cada camada da trincheira 1.

TRINCHEIRA 1						
Composição do solo (%)	Profundidade (m)					
	0,00 0,50	0,50 0,88	0,88 1,35	1,35 1,80	1,80 2,20	2,20 2,80
Argila	53,08	11,67	11,99	18,79	12,37	12,40
Silte	33,36	80,89	81,17	73,46	79,45	79,50
Areia Fina	12,81	7,15	6,48	7,75	7,91	7,90
Areia Média	0,75	0,32	0,36	0,00	0,29	0,30
Areia Grossa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 23 - Composição do solo: fração areia, silte e argila encontrado em cada camada da trincheira 2.

TRINCHEIRA 2					
Composição do solo (%)	Profundidade (m)				
	0,00 0,35	0,35 0,67	0,67 1,50	1,50 1,90	1,90 2,00
Argila	5,92	10,28	8,76	17,16	17,33
Silte	82,24	81,36	77,96	82,85	82,66
Areia Fina	11,54	8,16	12,69	0,00	0,00
Areia Média	0,31	0,19	0,56	0,00	0,00
Areia Grossa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Comparando os resultados da condutividade com as faixas de variação descritas em Heath (1983) apenas o valor da trincheira 1 perfil 1 (argila siltosa) com $K_{sat} = 2,889 \times 10^{-7}$ m/d não corresponde a um valor tipicamente de solo argiloso (variação 10^{-3} a 10^{-7}), apresentado condutividade hidráulica muito alta, como observa-se na classificação de Freeze & Cherry (1979) e Fetter (1994).

O valor de condutividade alta na trincheira 1 perfil 1, com decréscimo na camada subsequente não pode ser explicada segunda análise de seus principais fatores (densidade, textura, porosidade, etc.) e sim, pelo conjunto de atributos que determinam esse comportamento como por exemplo, a influência de fluxos preferenciais condicionados por raízes, pedras ou bioporos e, principalmente, pela estrutura do solo.

As camadas 2, 3, 4 e 6 apresentam-se com alta drenabilidade, constituídos basicamente por material fino (silte e argila) e uma pequena fração de areia e valores de densidade semelhantes. O perfil 5 apresentou, apesar de classificação similar aos demais (camada 2, 3, 4 e 6) valor de Ksat inferior e de densidade superior, o que configura maior dificuldade na passagem da água pelos poros.

Relacionado à trincheira 2, nos 3 primeiros perfis observa-se uma pequena variação nos valores de Ksat, os quais apresentam fração arenosa em sua composição, o que facilita a passagem de água no meio e, portanto, valores de Ksat superiores, classificados como muito alto. As camadas 4 e 5, ambos silte argilosos, não apresentaram percolação de água durante o teste com permeâmetro de carga constante, sem a ocorrência de saturação das amostras durante os 5 dias de contato com a água. Estes dois últimos perfis são representativos da porção do solo, em que, a retroescavadeira mecânica atingiu o limite de tração para escavar o terreno.

A variabilidade de solo encontrada não condiz com os padrões de perfis tradicionais, caracterizando-se como solo antropizado resultado de possíveis processos de corte e deposição na área, conforme verificado no levantamento histórico do local. Entretanto, de maneira geral, os resultados das análises de solo para a trincheira 2, o qual está sob influência do efluente, demonstraram a funcionalidade do solo como filtro e/ou barreira dos aquíferos subjacentes, de forma que, quando os poluentes atingem o solo são carregados com maior energia superficialmente, do que, lixiviados pelo perfil do solo contaminando as águas subterrâneas. Neste contexto, pode-se imaginar que o solo estudado desempenha uma função ambiental de grande importância, atuando como filtro, com capacidade de depurar e imobilizar grande parte das impurezas nele depositadas. No entanto, essa capacidade pode ser limitada, podendo ocorrer alteração da qualidade do solo, devido ao efeito cumulativo da deposição do efluente, efeito este, perceptível pelos resultados das análises de água subterrânea realizadas nos poços PM's e PB-15 que

apresentaram algumas alterações nos padrões de qualidade esperados para cada situação hidroestratigráfica.

5.2.5 Alterações da qualidade da água

A fim de identificar as alterações de qualidade relacionadas ao sistema solo-planta foi realizada a comparação entre a carga poluidora, que entra através das fontes pontuais, passa pela área úmida e drena para o ponto CDB e que, em seguida alcança a sanga. Esta comparação possibilitou determinar a capacidade de assimilação do meio e a poluição excedente que escoo pelo fluxo superficial ou que percola no subsolo.

Na tabela 24 apresenta-se os valores de vazão de entrada no sistema, considerando-se a soma das três fontes pontuais, a vazão de saída no ponto CDB e a respectiva redução nos valores de vazão. Na figura 52 ilustra-se esta diferença de vazão para as duas seções.

Tabela 24 - Medidas de vazão para as seções de monitoramento - fontes pontuais de efluente líquido (entrada) e ponto superficial CDB (saída).

DATA	CAMPANHA	VAZÃO FONTES (L/s)	VAZÃO CDB (L/s)	Redução (%)
29/02/2012	II	1,33	0,22	83,49
16/03/2012	III	2,98	0,17	94,30
26/03/2012	IV	3,45	0,35	89,82
11/04/2012	V	2,41	0,39	83,59
02/05/2012	VI	1,60	0,10	93,25
16/05/2012	VII	3,05	0,40	86,90
30/05/2012	VIII	1,94	0,47	75,79
	Média	2,24	0,28	86,48

Entre os pontos ocorrem uma redução de 86,48% do volume. Essa porcentagem pode estar infiltrando no solo, sendo utilizada pelas plantas e evaporando devido a grande retenção líquida que ocorre na área. Considerando que o solo já se encontra saturado, e que a condutividade hidráulica nas camadas de solo abaixo da área que recebe o efluente (abaixo de 1,50m) não apresentou infiltração durante a realização do teste, esse volume pode estar sendo utilizado em maior escala pela vegetação. Investigações e monitoramento do fluxo durante o inverno podem ajudar a identificar essa possibilidade, visto que nesta estação as partes aéreas das plantas morrem, mantendo-se ativas as porções abaixo do substrato, o que faz os vegetais permanecerem vivos e voltam a brotar na estação quente.

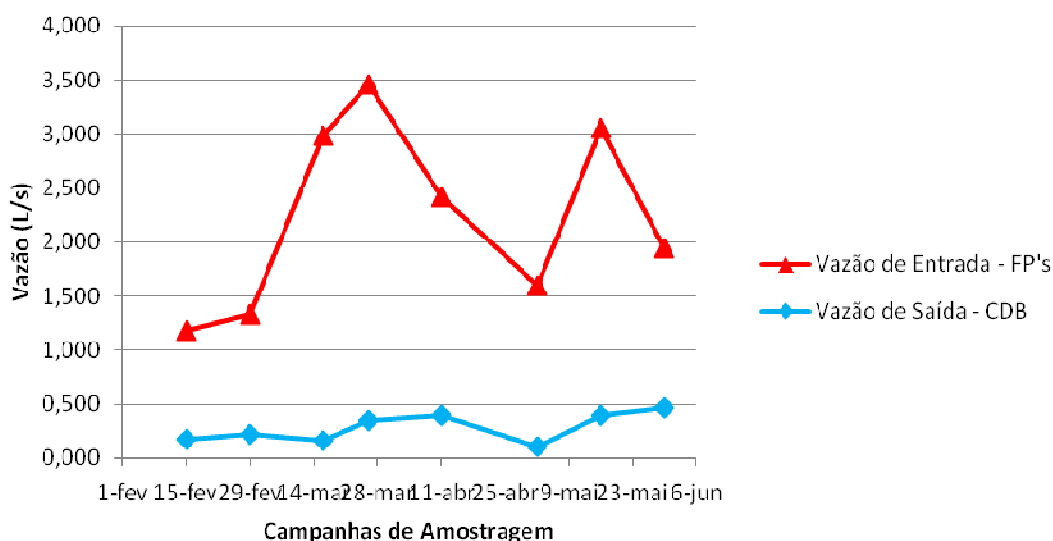


Figura 52 - Valores comparativos de vazão medidos nas campanhas de amostragem para as fontes pontuais e para o ponto superficial CDB

Outra consideração para essa possível perda de volume pode estar associada a infiltrações por fluxo preferencial rápido em fissuras, visto que os resultados de qualidade nos poços intermediários apresentaram interligação com o aquífero superior raso (indicativos de contaminação).

Na tabela 25 observa-se os valores da carga orgânica para as fontes de entrada e para o ponto de saída CDB, em função da vazão pela DBO, no instante da coleta. Descartou-se os valores de carga orgânica para as fontes na primeira

campanha devido a erros de diluição das amostras de DBO₅. Na figura 53 ilustra-se carga orgânica entre as fontes pontuais de efluente líquido (entrada) e o ponto superficial CDB (saída).

Tabela 25 - Valores da carga orgânica respectivo as três fontes pontuais de efluente líquido e do ponto CDB para todas as campanhas de monitoramento.

DATA	CAMPANHA	FONTES (mg/s)	CDB (mg/s)	REDUÇÃO (%)
15/02/2012	I	297,05*	13,82	95,347
29/02/2012	II	389,73	7,75	98,012
16/03/2012	III	1160,88	9,87	99,150
26/03/2012	IV	3533,91	18,43	99,478
11/04/2012	V	671,25	7,54	98,877
02/05/2012	VI	525,19	3,81	99,275
16/05/2012	VII	3683,63	12,90	99,650
30/05/2012	VIII	993,78	8,89	99,105
	Média	1565,48	10,38	98,61

* Valor de carga orgânica desconsiderado no cálculo da média.

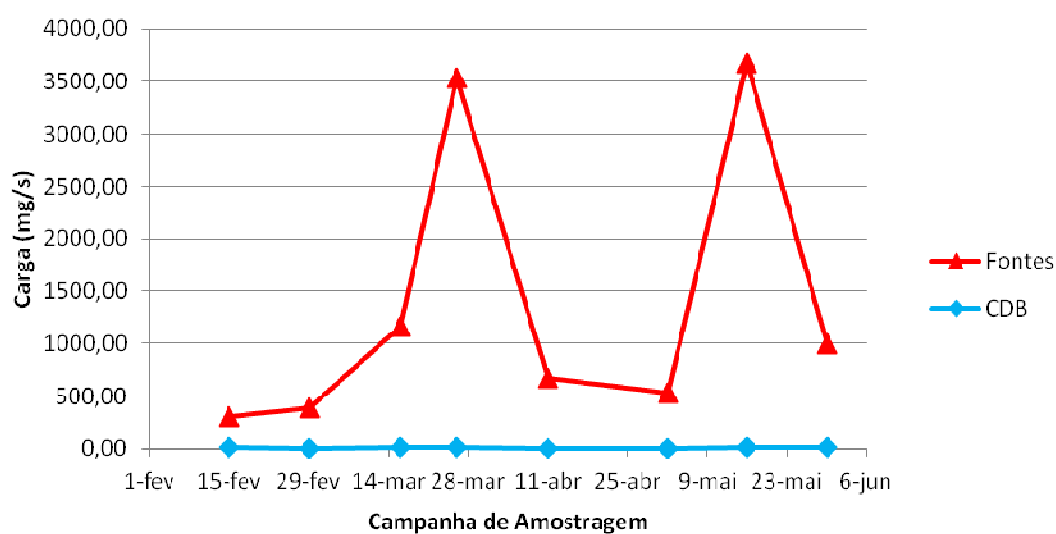


Figura 53 - Carga orgânica entre as fontes pontuais de efluente líquido (entrada) e o ponto superficial CDB (saída).

Na tabela 25 percebe-se grande diferença entre os dois pontos, com redução média 98,61% na carga orgânica.

A tabela 26 apresenta a contagem de coliformes termotolerantes da entrada do sistema e a contagem na saída, com a respectiva redução percentual.

Tabela 26 - Redução de Coliformes Termotolerantes no sistema Fonte - Saída, representados pela fontes pontuais e o ponto superficial CDB.

DATA	CAMPANHA	Fontes (NMP/100mL)	CDB (NMP/100mL)	Redução (%)
15/02/2012	I	1,07E+07	3,41E+03	99,9682
29/02/2012	II	1,73E+07	1,00E+02	98,6042
16/03/2012	III	1,70E+07	2,00E+02	99,9988
26/03/2012	IV	2,58E+07	1,22E+03	99,9953
11/04/2012	V	3,49E+07	1,00E+02	99,3063
02/05/2012	VI	1,23E+07	2,00E+02	99,9984
16/05/2012	VII	1,65E+07	1,64E+02	99,9990
30/05/2012	VIII	4,13E+06	1,40E+03	99,9661
	Média	1,73E+07	8,49E+02	99,88

É possível verificar uma redução média de 99,88% de coliformes termotolerantes, evidenciando assim significativa melhora na qualidade durante o escoamento pela zona saturada. Porém, essa redução pode ser ainda maior, tendo em vista que outras fontes possam estar contribuindo para a formação deste depósito de esgoto em solo.

O sistema solo-água-plantas apresentou uma função essencial na redução da carga orgânica e na remoção de patógenos, o que está de acordo com literatura de *wetlands* naturais, tendo em vista que a área assume características muito semelhantes a estes sistemas. As plantas aquáticas, como as macrófitas, identificadas na área alagada proporcionam a melhora da qualidade do efluente e o tratamento do mesmo. Porém, cabe ressaltar que nesta pesquisa foram considerados apenas compostos ou moléculas orgânicas possíveis de serem biodegradáveis, ou seja,

compostos resistentes à degradação química e bioquímica, não foram analisados e podem estar presentes no efluente, causando maior impacto ao ecossistema.

5.2.6 Análise multivariada para seleção dos indicadores do processo de degradação ambiental no sítio monitorado

Na aplicação da técnica da Análise Fatorial/Análise da Componente Principal, o primeiro passo foi transformar a matriz de dados originais em matriz de correlação para eliminar problemas de escalas e unidades diferenciadas em que as variáveis são medidas (ANDRADE et al., 2007).

A extração das matrizes de correlação dos três grupos de monitoramento possibilitou a identificação da associação entre as variáveis para interpretar a tendência global dos dados, assim como, os parâmetros de maior significância para avaliação da área proposta por este estudo.

No apêndice B observa-se o resultado das correlações entre as 13 variáveis do grupo das fontes pontuais. De acordo com esse resultado, os maiores valores diretamente proporcionais de correlação estão entre vazão e turbidez (93%); vazão e sólidos suspensos (83%); condutividade e sólidos dissolvidos (83%); turbidez e pH (79%); turbidez e DBO (80%); turbidez e sólidos suspensos (83%); coliformes totais e coliformes termotolerantes (94%); sólidos totais e sólidos dissolvidos (85%). A correlação entre vazão e pH (94%) e coliformes totais e pH (81%) são inversamente proporcionais. As variáveis temperaturas, OD e alcalinidade não apresentaram valores de correlação significativos (>75%) com nenhuma variável. A partir dos valores de correlação, aquelas que apresentaram forte correlação (90%) foram selecionadas e uma das variáveis foi desconsiderada para refazer a análise fatorial e definir as componentes principais. A contar dos resultados entre as variáveis das fontes pontuais foram desconsideradas turbidez, sólidos totais e coliformes totais.

A análise fatorial foi aplicada para os 10 parâmetros restantes. Foram geradas duas matrizes fatoriais. A matriz dos fatores que melhor representou as variáveis foi a matriz fatorial rotacionada (Apêndice C). Esse processo maximiza a variância entre os fatores, alterando a raiz característica sem afetar a proporção da variância total explicada pelo conjunto (PEREIRA, 2004 e ANDRADE et al. 2007). Percebe-se que

são necessárias quatro componentes principais para explicar 88,3% da variância total das variáveis originais observadas, concentrando-se em quatro dimensões as informações anteriormente analisadas em dez variáveis. A primeira componente explica 35,67% da variância total, destacando-se as variáveis vazão, coliformes termotolerantes, DBO e sólidos suspensos que apresentaram variações no mesmo sentido e pH com sentido oposto. Esse comportamento está vinculado aos horários de coleta, que foram estipulados para os períodos de maior demanda e produção do Restaurante Universitário (11:00h às 13:00h). Neste caso, o aumento da vazão representa aumento na quantidade de sólidos e de matéria orgânica no efluente, bem como o de coliformes devido a maior utilização das instalações hidrossanitárias na Casa do Estudante.

Esses parâmetros referem-se, predominantemente, à mesma característica, qual seja, à concentração de partículas suspensas e coloidais, de argila, silte, microrganismos, matéria orgânica e inorgânica particulada presentes no efluente. Comumente esses parâmetros estão relacionados com a turbidez, podendo serem representados por esta. Outra consideração é referente à matéria orgânica presente no efluente, que passa por um processo de decomposição acarretando no consumo do oxigênio presente no meio. A degradação da matéria orgânica libera gás carbônico (CO_2), o aumento da concentração de CO_2 pode causar redução significativa do pH (LIBÂNIO, 2010) o que justifica o sentido inverso do mesmo na primeira componente.

A segunda componente explica 21,62 % da variância e relaciona-se com a presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions, representadas pela concentração de sólidos dissolvidos e condutividade elétrica. A correlação entre esses parâmetros manifesta-se diretamente e indicam a presença de compostos inorgânicos no efluente (íons de ferro, manganês, K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+}).

A terceira componente explica 16,29% da variância total e está relacionada apenas à temperatura, enquanto a quarta componente explica 14,66% e está relacionada ao oxigênio dissolvido (OD) e a alcalinidade. Essas três variáveis apresentaram-se com peso significativo baixo o que pode estar vinculado à forma de coleta das amostras, especialmente ao OD, por incorporação de ar nas fontes ocasionadas pelo turbilhamento do efluente ao entrar em contato com o solo, e a temperatura, que se altera na saída da canalização quando em contato com a temperatura atmosférica.

No apêndice D observa-se o resultado das correlações entre as variáveis para os poços rasos. Conforme esse resultado as maiores correlações, inversamente proporcionais, estão entre pH e temperatura (82%); OD e DBO (66%) e diretamente proporcionais à correlação entre sólidos suspensos e turbidez (82%); coliformes totais e sólidos suspensos (93%); sólidos totais e sólidos dissolvidos (97%); coliformes termotolerantes e sólidos dissolvidos (72%). As variáveis condutividade elétrica e alcalinidade não apresentaram valores de correlação significativos com nenhuma variável. Para os poços rasos foi subtraída apenas a variável sólidos totais para refazer análise fatorial.

A análise fatorial foi refeita para as onze variáveis restantes. Foram necessárias quatro componentes principais para explicar 85,6% da variância para os parâmetros observados na matriz rotacional de componentes principais expressa-se no apêndice E.

A primeira componente explica 40,12% da variância total, destacando-se as variáveis: temperatura, turbidez, coliformes totais e sólidos suspensos no mesmo sentido e pH com sentido contrário. Esta componente agrega as principais variáveis que caracterizam o material sólido presente na água, semelhante ao comportamento da componente principal das fontes pontuais, envolvendo a quantidade de material particulado ao maior número de coliformes presentes nas amostras e consequente perda de qualidade.

A segunda componente explica 19,03% da variância total e apresenta relevância para variáveis vinculadas às características químicas que relacionam a DBO inversamente proporcional ao oxigênio dissolvido. A redução do OD pode ocorrer por razões naturais, especialmente pela respiração ou pela degradação da matéria orgânica pelos organismos presentes no ambiente (LIBÂNIO, 2010), em decorrência disto, o aumento na concentração da DBO acarreta redução na concentração de oxigênio dissolvido. Relacionado a segunda componente tem-se também a condutividade elétrica, que tende a aumentar proporcionalmente a DBO. Porém essa relação só deve ser considerada se os compostos orgânicos presentes se dissociam em cátions e ânions na solução aquosa. Essa relação é dependente da origem da fonte poluidora e dos compostos presentes nela. Possivelmente, os íons que causam o aumento da condutividade elétrica associados à matéria orgânica, sejam SO_4^{4-} , Cl^- , PO_4^{4-} , ocasionados pela oxidação da matéria orgânica, presença de detergentes e dos resíduos dos laboratórios instalados no *Campus*. Para essa determinação mais exata seriam necessárias novas análises de íons solúveis em água.

A terceira componente explica 17,12% da variância total das variáveis e está relacionada a sólidos dissolvidos e coliformes termotolerantes proporcionalmente, enquanto a quarta componente explica 9,38% e está relacionada à alcalinidade negativamente.

No apêndice F observa-se para a saída do sistema - CDB, as maiores correlações proporcionais entre os parâmetros vazão e sólidos suspensos (67%); condutividade e sólidos dissolvidos (65%); pH e alcalinidade (81%); turbidez e sólidos suspensos (68%); coliformes termotolerantes e sólidos totais (66%); DBO e sólidos dissolvidos (73%); sólidos suspensos e alcalinidade (74%); sólidos totais e sólidos dissolvidos (99%); temperatura e alcalinidade (91%). E ainda, inversamente proporcional a temperatura e pH (82%). As variáveis OD e coliformes totais não obtiveram valores consideráveis de correlação com nenhuma das variáveis.

A partir dos valores de correlação entre as variáveis foram desconsideradas da nova análise fatorial a alcalinidade, sólidos totais e a temperatura. A matriz dos fatores que melhor representou as variáveis restantes foi a matriz fatorial rotacionada (apêndice G). Observa-se que são necessárias três componentes principais para explicar 83,3% da variância total, concentrando-se assim em três dimensões as informações anteriormente analisadas em dez variáveis. A primeira componente explica 30,18% da variância total, destacando-se variáveis físicas como vazão, turbidez e sólidos suspensos que apresentam variações no mesmo sentido. Essa componente coincide com a maior porcentagem das variáveis agregadas para as fontes e poços rasos, obtendo-se assim o mesmo comportamento.

A segunda componente explica 27,84% da variância total e apresenta relevância para variáveis que apresentam comportamento inverso e relacionam o aumento da condutividade e do pH com a queda de oxigênio dissolvido e de coliformes totais respectivamente.

A terceira componente explica 25,35% da variância total das variáveis e está relacionada diretamente a parâmetros potenciais de contaminação por matéria orgânica (DBO) e coliformes termotolerantes que variam proporcionalmente.

Para os pontos PM-01 e PM-02, PB-15 e PB-17, também monitorados durante as campanhas, a análise estatística não foi aplicada devido ao menor número de amostras e por não estar diretamente ligadas à contaminação, ou seja, não apresentam reflexo imediato na dinâmica de qualidade da água pesquisada. Ainda, o

ponto CM também não foi analisado estatisticamente devido ao fato de não participar diretamente no fluxo da contaminação por lançamento de efluente em solo.

A integração de todas as variáveis ambientais permitiu, de forma sistemática, definir parâmetros indicadores do potencial de poluição das fontes, de forma a avaliar o impacto no meio receptor envolvido e desenvolver o modelo conceitual de contaminação. As variáveis DBO e coliformes termotolerantes, destacam-se como as variáveis dependentes na análise das componentes principais, e que, de forma simplificada definem a condição de qualidade de efluente nas fontes e no meio de propagação envolvido, representando a situação mais desfavorável que necessita de imediata intervenção para a proteção ambiental.

5.3 Modelo conceitual de contaminação

O modelo conceitual de contaminação constituiu-se numa síntese das informações obtidas nas visitas de reconhecimento e no levantamento de dados a partir de informações já existentes e do plano de amostragens. Essas informações possibilitaram a escolha dos locais para investigação da qualidade das matrizes ambientais solo/água e o monitoramento da área. Observa-se na figura 54, de forma esquemática, o modelo conceitual de contaminação para a área de estudo.

A abordagem metodológica para a avaliação da potencial contaminação existente no local identificou a existência das três entidades: a fonte ou origem da contaminação; o alvo ou meio receptor da contaminação (biofísico e/ou antropogênico); e o trajeto ou caminho que permite a condução da contaminação, desde a fonte até ao alvo.

De acordo com as campanhas de amostragem a origem ou fonte de contaminação foi representada por duas fontes pontuais de efluente líquido, a FP-31 e a FP-32 que apresentaram variáveis indicadoras de contaminação, ou seja, concentrações de elementos poluentes acima dos valores estabelecidos pela legislação vigente no Estado.

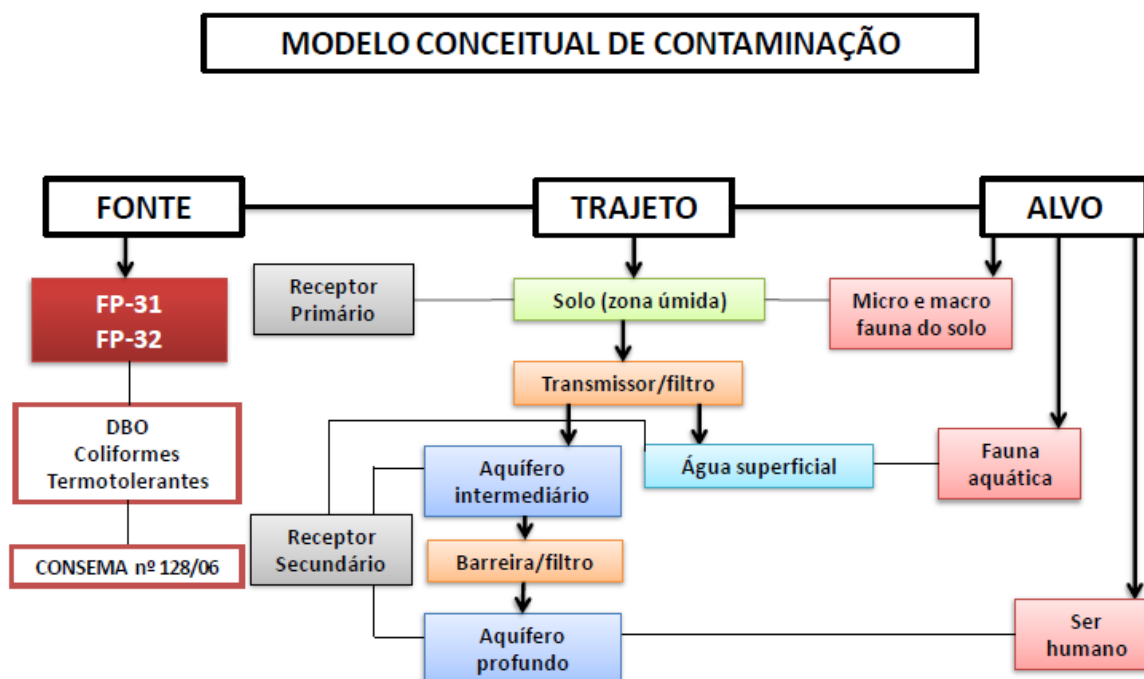


Figura 54 - Modelo conceitual de contaminação do sítio degradado por emissão de efluente no solo no *Campus* da UFSM.

O trajeto ou meio de transferência da contaminação, assume a dupla condição, transmissor/barreira e receptor primário. No que se refere à contaminação do trajeto, o meio geológico em geral e as águas subterrâneas, em particular, estão recebendo cargas poluentes por infiltração dos contaminantes no solo e de percolação até as zonas saturadas (aquífero intermediário e profundo). Ressalta-se que para o aquífero profundo, esta contaminação ocorre em menor escala, pois há indícios de contaminação apenas por coliformes. Esse resultado denota a funcionalidade do meio geológico como barreira/filtro ao transporte de contaminantes, porém, não totalmente efetivo. O fato da emissão de efluente em solo ser realizado por décadas e a alta concentração do contaminante lixiviado no subsolo pode estar relacionado a este resultado. Essa eficiência não ocorre da mesma maneira no aquífero intermediário, que apresenta indícios de contaminação para o parâmetro orgânico e alteração microbiológica em maiores concentrações.

As camadas do solo apresentam porosidade variada e geralmente estes poros conduzem mais facilmente os fluídos. A carga contaminante, que dá origem a

zona saturada superficial, se movimenta por intermédio do próprio fluido e pela movimentação da água através dos espaços entre as partículas de solo.

O efluente lançado no solo passa por alterações durante seu transporte e distribuição entre suas várias fases (aquífero raso, intermediário e profundo). A degradação é uma das propriedades mais importante na determinação do dano potencial ao meio ambiente. O transporte da contaminação através dos meios de propagação pode ser considerado limitado em extensão, e cuja evolução está dependente dos mecanismos de atenuação natural, como a degradação e/ou transformação por hidrólise, oxirredução, biodegradação, fotólise, ou ainda podem ligar-se às partículas do solo. Entretanto, compostos químicos não degradáveis persistirão no meio, podendo, conseqüentemente, causar efeitos negativos ao ecossistema.

O alvo ou receptor secundário para este estudo de caso é representado pelo meio biofísico (micro e macro fauna do solo e fauna aquática) e o meio antropogênico (população que utiliza a água para consumo).

Portanto, a conexão entre essas três entidades (fonte - trajeto - alvo) representa a existência de risco ou ameaça em termos da exposição dos usuários de água ao contaminante, ou seja, a contaminação do aquífero designa o perigo de que a água subterrânea possa apresentar concentrações de contaminantes superiores ao valor estabelecido pela Portaria nº 2.914/11 para a qualidade da água potável.

A grande eficiência do sistema solo-planta da área alagada regula a saída de matéria orgânica, coliformes e possivelmente de nutrientes. Confirmações dessas suspeitas podem ser adquiridas por estudo complementar detalhando melhor as espécies envolvidas e a capacidade de assimilação de substâncias pelos tecidos vegetais.

Fatores essenciais a este estudo partiram do levantamento histórico, que possibilitou minimizar incertezas e adiantar as investigações preliminares a respeito da área, partindo-se do fato de que a mesma apresentava vulnerabilidade média a alta à contaminação. Os dados anteriores de monitoramento, que possibilitaram acompanhar o aumento da carga de efluente gerada pelo *Campus* vinculada ao crescimento da Universidade. A investigação exploratória, que permitiu confirmar as suspeitas de conexão entre as seções hidrogeológicas e estabelecer um grau médio de comprometimento da qualidade do aquífero intermediário e leve de comprometimento da qualidade da água subterrânea para o aquífero que abastece o *Campus*.

O sistema de monitoramento acusou a influência das fontes de poluição na qualidade da água superficial e subterrânea. As amostragens efetuadas no conjunto de pontos superficiais e poços subterrâneos distribuídos estrategicamente, nas proximidades da área de disposição do efluente ofereceram subsídios para o diagnóstico da situação em cada área afetada pelo efluente.

Estas informações interligadas poderão auxiliar na tomada de decisão e na execução de projetos de engenharia que possibilitam a mitigação/remediação do dano ambiental, além de melhorar as condições atuais da área que, propiciam a proliferação de insetos e animais peçonhentos transmissores de doenças, geram gases mau odorantes e uma imagem de descaso por parte dos gestores da Instituição e das pessoas que moram e convivem próximos a este ambiente.

6 ARTIGO – BIOENSAIO COMPORTAMENTAL COMO FERRAMENTA INTEGRANTE PARA AVALIAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA³

Tatiana Reckziegel⁽¹⁾

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Delmira Beatriz Wolff

Doutorado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Professora adjunta da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Jussara Cabral Cruz

Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Professora Associada da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Ronaldo Kanopf de Araujo

Graduação em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Franciscano (UNIFRA); Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Marciano Friedrich

Graduando do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Endereço⁽¹⁾: Rua Riachuelo, 189/401 – Bairro Centro - Santa Maria - RS - CEP: 97050-011 - Brasil - Tel: +55 (55) 9935 6643 - e-mail: tati.reck@gmail.com

RESUMO

Despejos de efluentes sanitários não tratados em cursos d'água e solo ainda são comumente encontrados na periferia de algumas cidades, zonas rurais e pequenos municípios. Áreas sujeitas a sobrecargas podem apresentar alterações físicas, químicas e biológicas causando impactos negativos aos ecossistemas. A avaliação da contaminação dessas áreas tem sido realizada geralmente utilizando-se análises de parâmetros físico-químicos, sem levar em consideração parâmetros ecotoxicológicos ou bioindicadores (macro e microrganismos). Nesse sentido, testes ecotoxicológicos, conhecidos também como bioensaios, constituem uma alternativa interessante na determinação da fração biodisponível de contaminantes e de níveis de toxicidade ambiental por meio do monitoramento de efeitos letais, morfológicos, comportamentais, fisiológicos, citogenéticos e bioquímicos nos organismos expostos aos poluentes. Neste trabalho tem-se como objetivo avaliar preliminarmente uma área potencialmente contaminada por despejo de efluente sanitário no solo a partir de um bioindicador (*Eisenia andrei*), e utilizar os resultados como ferramenta integrante no diagnóstico ambiental da área. Foram conduzidos ensaios comportamentais de fuga com minhocas em quatro amostras de solo (EF-01, EF-02, EF-03, EF-04). O solo desta área encontra-se saturado em condições de alague permanente, com pequenas variações sazonais de nível d'água superficial. A aplicação da regressão indica haver uma mudança de tendência a partir de determinada distância (85m). A medida que se afasta do local de emissão a concentração de poluentes no meio tende a diminuir devido à preferência dos indivíduos no solo teste. O ensaio comportamental com *E. andrei* demonstrou ser um indicador interessante para análise preliminar em investigação da qualidade do solo, uma vez que foi possível identificar diferenças comportamentais nos diferentes locais amostrados.

PALAVRAS-CHAVE: contaminação, solo saturado, teste t de Student, efluentes sanitários, bioindicadores.

INTRODUÇÃO

Com o advento do crescimento industrial no Brasil e da forte expansão populacional urbana a partir da década de 1940, houve uma ampliação das áreas com problemas de disposição inadequada dos resíduos gerados. Esse crescimento acelerado da população na maior parte das cidades brasileiras não foi acompanhado por um planejamento de infraestrutura capaz de absorver essa demanda e reestruturar as cidades. Essa situação desordenada acabou contribuindo para uma perda quali-quantitativa dos recursos hídricos e do solo em muitas regiões.

³ Artigo apresentado no XXXIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental - AIDIS.

Despejos de efluentes sanitários em cursos d'água e solo ainda são comumente encontrados na periferia de algumas cidades, zonas rurais e pequenos municípios. Áreas sujeitas a sobrecargas podem apresentar alterações físicas, químicas e biológicas causando impactos negativos a esses ecossistemas. A avaliação da contaminação dessas áreas tem sido realizada geralmente utilizando-se parâmetros físico-químicos, sem a inserção de parâmetros ecotoxicológicos ou bioindicadores (macro e microrganismos).

Abordagens baseadas em uma visão sistêmica da realidade têm procurado integrar aspectos físico-químicos e biológicos, estabelecendo métodos de investigação que combinem variáveis de causa e efeito por meio da agregação de informações de naturezas diversas e que possam refletir o estado geral do ecossistema (BOLLMANN et al., 2001).

O ambiente pode apresentar diferentes tipos de descargas poluidoras, sejam industriais ou domésticas nos centros urbanos, como também nas áreas rurais pela utilização de agroquímicos (LEMOS et al., 2001) que podem chegar à água pela infiltração e percolação, alcançando o lençol freático ou serem carreadas através das chuvas, alcançando banhados, rios e arroio (TERRA et al., 2001). As substâncias que chegam aos corpos de água podem ser depositadas no sedimento, ou entrar na rede trófica, através da alimentação dos organismos.

Em alguns ecossistemas podem-se encontrar todas essas fontes reunidas propiciando a formação de misturas de caracterização química heterogênea que levam ao efeito combinado destes agentes (LEMOS et al., 2001). É importante sempre o conhecimento da fonte de poluição, se a origem é doméstica, agrícola e industrial, pois os poluentes agem em diferentes rotas do metabolismo animal e vegetal (TERRA et al., 2001).

Estudos de avaliação de risco ambiental estão geralmente vinculados a análises químicas totais, especiação química e extração sequencial de fases geoquímicas com elevado potencial de biodisponibilidade (SELIVANOVSKAYA e LATYPOVA, 2003; CESAR et al., 2008). Todavia, abordagens analíticas não permitem a avaliação da toxicidade decorrente da atuação simultânea de distintos poluentes presentes no ambiente, bem como não levam em consideração seus efeitos ecológicos sobre a pedosfera (SILVA et al., 2009). Atualmente, são muitos os recursos biológicos disponíveis para avaliação da qualidade ambiental, entre eles os mais utilizados são os bioensaios. Estes ensaios expressam o efeito das substâncias existentes na amostra, sobre os organismos. Os testes de toxicidade, como também são chamados os bioensaios, podem apresentar diferentes modalidades quanto ao tempo e a forma de exposição. Bioensaios são experimentos onde são expostos organismos vivos ao meio ou substrato, com o intuito de se obter informações a respeito da interferência de agentes sobre estes organismos (TERRA et al., 2001).

Os ensaios ecotoxicológicos podem ser desenvolvidos em diferentes esferas, entre eles, em nível celular, quando o teste avalia o dano causado aos cromossomos ou no organismo como um todo, ou quando as alterações ocorridas são percebidas nas respostas que o indivíduo fornece a comunidade, como alteração comportamental, morte, depleção na fecundidade e na fertilidade (TERRA et al., 2001). Constituem uma alternativa interessante na determinação da fração biodisponível de contaminantes e de níveis de toxicidade ambiental por meio do monitoramento de efeitos letais, morfológicos, comportamentais, fisiológicos, citogenéticos e bioquímicos nos organismos expostos aos poluentes (NEUHAUSER et al., 1985).

Para a avaliação da contaminação do solo, diversos organismos invertebrados componentes da pedofauna podem ser utilizados. Entre os organismos do solo, as minhocas são frequentemente utilizadas devido à grande quantidade de solo que ingerem, demonstrando capacidade de acumulação de poluentes presentes neste compartimento (RAMOS et al., 2007). Ainda, apresentam-se como uma alternativa viável para a realização de testes como bioindicadores por serem organismos simples de serem estudados e pela disponibilidade de indivíduos que compõem a macrofauna dos solos brasileiros.

As minhocas compreendem de 40% a 90% da biomassa da macrofauna da maioria dos ecossistemas tropicais (FRAGOSO et al., 1999). Sua importância é imensa visto que têm papel destacado na formação do solo (RIGHI, 1997), na decomposição de resíduos de plantas e ciclagem de nutrientes da matéria orgânica, na formação do húmus e de agregados de solo, onde a atividade biológica é mais intensa, no melhoramento da estrutura, fertilidade, porosidade e capacidade de infiltração, drenagem e retenção de água, ar e também no transporte de microrganismos e nutrientes do solo por meio dos canais formados por sua escavação e seus deslocamentos no solo (INGHAM, 2006). Também atuam no controle de patógenos, que podem ser inibidos por produtos de seu metabolismo ou servir de alimento, e na degradação de poluentes (INGHAM, 2006).

No Brasil, o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Desenvolvimento dos Recursos Naturais Renováveis) solicita apenas o teste de toxicidade aguda (ABNT, 2007) e aceita resultados obtidos por meio das metodologias dos testes das organizações internacionais como a OECD (Organização Européia de Cooperação e Desenvolvimento Econômico), a ISO (Organização Internacional para Padronização) e a EPA (Agência Americana de Proteção do Ambiente).

O ensaio padronizado da Norma ISO 17512-1: Soil quality - Avoidance test for testing the quality of soils and effects of chemical on behavior. Part1: Test with earthworms (*Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*) ainda é pouco explorado no Brasil. No início do ano de 2011 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) lançou uma tradução desta norma para a língua portuguesa, chamada NBR ISO 17512-1: Qualidade do Solo - Ensaio de fuga para avaliar a qualidade de solos e efeitos de substâncias químicas no comportamento. Parte 1: Ensaio com

minhocas (*Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*). O ensaio de comportamento do tipo 'Avoidance', caracterizado como um método rápido e de procedimento simples, proporciona determinar a biodisponibilidade de substâncias químicas ou de contaminantes no solo, onde os organismos manifestam um comportamento de fuga (EMBRAPA, 2010).

Neste trabalho tem-se como objetivo avaliar preliminarmente uma área potencialmente contaminada por despejo de efluente sanitário no solo a partir de um bioindicador (*Eisenia andrei*), e utilizar os resultados como ferramenta integrante no diagnóstico ambiental da área.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no município de Santa Maria-RS e possui aproximadamente 17.014 m². O local recebe lançamento contínuo de efluente sanitário. Devido à geologia local e a ações antrópicas, o solo encontra-se saturado (área úmida) com algumas variações periféricas no teor de umidade, fator este, determinado pela variação do volume de efluente gerado nos meses de maior demanda hídrica e da variação pluviométrica.

O solo teste foi coletado no dia 31 de maio de 2011 em quatro pontos diferentes. O primeiro ponto amostrado localiza-se próximo as fontes pontuais de lançamento de efluente líquido, a uma distância de 64,86 m. O segundo ponto encontra-se na porção central da área a 85,58 m das fontes e o terceiro distante 95,85 m. Uma quarta amostra foi retirada a 121,89 m das fontes pontuais, em um local onde toda a drenagem converge formando um fio d'água afluente a um córrego. Os pontos de amostragem foram espacializados conforme mostrado na Figura 1.

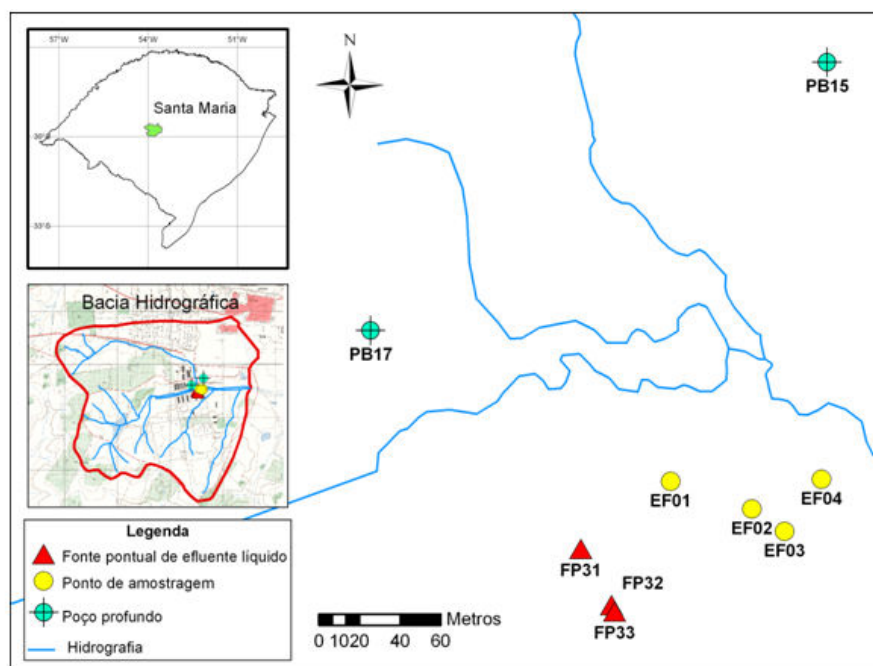


Figura 1: Localização da área de estudo e pontos de amostragem.

Foi aplicado teste comportamental com minhocas da espécie *Eisenia andrei*, segundo a norma ISO 17512-1 - Avoidance test for determining the quality of soils and the effects of chemicals on behaviour - Part 1: Test with earthworms (*Eisenia fetida* and *Eisenia andrei*) (2008). O princípio deste ensaio foi a exposição das minhocas simultaneamente às amostras de solo não contaminado (controle) e contaminado (teste). As duas amostras foram colocadas no mesmo recipiente, em seções distintas, separadas por uma divisória, formando dois compartimentos. Após a introdução das amostras em cada lado da divisória, a mesma foi retirada, formando uma linha. Foram utilizados 600g de solo teste por amostra coletada em campo. O solo controle foi preparado artificialmente segundo a ISO 11268-2/1998, na proporção de 70% de areia, 20% de caulim em pó e 10% de *Sphagnum* (briófito) moído (Figura 2). A umidade e o pH do solo foram mantidos para 45% e 7,0, respectivamente.

O teste foi conduzido utilizando-se um lote de organismos da espécie *Eisenia andrei*, fornecido pelo Laboratório de Microbiologia do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria. Os espécimes foram divididos em lotes com 10 indivíduos adultos (clitelo desenvolvido) e colocadas na linha divisória entre os dois tipos de solo (Figura 3 e Figura 4). Durante os dois dias de condução do ensaio, as minhocas foram mantidas sem alimentação e sob as mesmas condições de cultivo (iluminação constante e temperatura ambiente de 22°C ±

2°C). Ao final de 48 horas, os recipientes foram desmontados e o número de organismos foi determinado em cada seção do recipiente-teste.

O experimento foi realizado no formato ensaio-limite, com controle versus um tratamento, onde o delineamento experimental foi efetuado em triplicatas, comparando as amostras de solo teste com o solo controle. Segundo recomendação da ISO 17512-1/2008, os resultados foram analisados usando o teste t-Student (duas amostras em par para médias) para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre o número de minhocas no solo controle e o número de minhocas no solo teste. Devido os dados de contagem de valores serem menores do que 30 (população (n) = 10 indivíduos), que costumam seguir a distribuição de Poisson, foi usada a transformação $y' = \text{raiz cúbica}(y+0,5)$.



Figura 2: Preparação do ensaio: Solo controle - 70% de areia, 20% de caulim e 10% de *Sphagnum*.



Figura 3: Preparação dos recipientes com solo controle.



Figura 4: Recipientes com solo teste e solo controle.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão os resultados de contagem do ensaio de comportamento conduzido com minhocas *Eisenia andrei*.

Tabela 1: Resultados do Ensaio Comportamental de Fuga com minhocas *Eisenia andrei* em 48 horas.

AMOSTRA	CONTROLE	TESTE	y' CONTROLE	y' TESTE	MÉDIA CONTROLE	MÉDIA TESTE	% CONTROLE
EF01A	7	3	1.96	1.52			
EF01B	10	0	2.19	1.52	7.7	2.3	54
EF01C	6	4	1.87	1.65			
EF02A	7	3	1.96	1.52			
EF02B	9	1	2.12	1.14	7.3	2.7	46
EF02C	6	4	1.87	1.65			
EF03A	1	9	1.14	2.12			
EF03B	1	8	1.14	2.04	1.7	7.3	-56
EF03C	3	5	1.52	1.77			
EF04A	1	9	1.14	2.12			
EF04B	2	8	1.36	2.04	2.0	8.0	-60
EF04C	3	7	1.52	1.96			

As amostras dos pontos estudados não foram consideradas tóxicas, ou seja, não apresentam função de habitat do solo limitada (ISO 17512-1, 2008), pois não foram encontrados mais de 80% do total de organismos expostos na amostra do solo controle, o valor máximo encontrado foi 76,7% para o ponto EF-01 (Tabela 1).

Pelo resultado do teste t-Student, conforme recomendação da ISO 17512/2008, não é possível afirmar que há preferência das minhocas entre um solo e outro, pois a margem de erro encontrada, igual a 82%, é muito grande em comparação com $\alpha = 0,05$. Assim, a hipótese H0 de que as duas médias são iguais não é rejeitada.

Como a seleção dos pontos de amostragem e os critérios utilizados nesta pesquisa objetivaram identificar as alterações na qualidade do solo, em função da distância do ponto de lançamento de efluentes sanitários, a variação de comportamento das minhocas não pode ser detectada pelo teste estatístico t-Student. Isso acontece porque ao considerar a média de todos os pontos, o resultado altera a tendência de comportamento a partir de determinada distância das fontes pontuais de emissão e, devido à inversão dos valores entre os dois primeiros

pontos (EF-01 e EF-02) e os dois últimos (EF-03 e EF-04) ocorre a compensação das médias. Esta interpretação pode ser verificada pela análise dos dados mostrados na Tabela 1.

Uma vez que o resultado para o teste t-Student não foi satisfatório para os objetivos de identificação da variabilidade espacial para essa área deste estudo, optou-se por realizar uma nova análise estatística por regressão linear. Esta avaliação considerou cada amostra sob o âmbito pontual relacionada à variação de distância da mesma com as fontes pontuais de emissão. A primeira variável utilizada para isso foi a média de indivíduos por ponto amostrado (triplicatas) e a segunda a distribuição espacial (distância do ponto de emissão ao local de coleta).

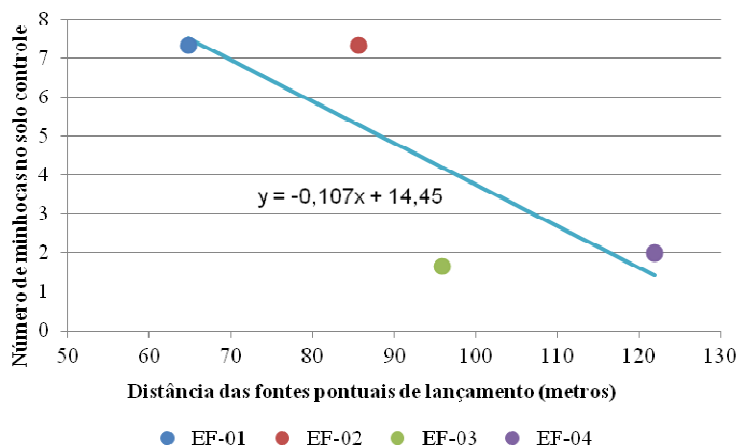


Figura 4: Análise estatística de regressão.

A aplicação da regressão indica haver uma mudança de tendência a partir da distância de 85m, com correlação R^2 de 0,6393 entre a distância da fonte pontual de lançamento de efluente e a quantidade de indivíduos encontrados nos solos testes. Porém, devido ao baixo valor de R^2 , a relação obtida não é adequada para interpolar valores. À medida que se afasta do local de emissão, a concentração de poluentes no meio tende a diminuir devido à preferência dos indivíduos no solo teste. Isto se deve, provavelmente, à quantidade de matéria orgânica presente no solo teste, o que pode justificar a presença de um número considerável de indivíduos nos dois pontos mais distantes.

O ensaio comportamental demonstrou que *E. andrei* é um indicador interessante para análise preliminar em investigação da qualidade do solo, uma vez que foi possível identificar diferenças comportamentais nos diferentes locais amostrados.

Ensaio conduzidos desta forma, para avaliação de solos “naturais” ainda não foram encontrados ou divulgados no Brasil. A espécie *Eisenia andrei* e também a *Eisenia fetida* são amplamente utilizadas para ensaios de determinação de concentrações tóxicas de poluentes.

Sisinno et al. (2006) realizaram ensaios preliminares de comportamento utilizando a espécie *Eisenia fetida*, pela mesma Norma ISO. Foram testadas amostras de áreas contaminadas com diferentes concentrações de hidrocarbonetos provindas de uma garagem de ônibus, um posto de serviços e uma área com derramamento de óleo. Os resultados da amostra originada da garagem de ônibus mostraram que 96% dos organismos fugiram da seção que continha a amostra contaminada para a seção onde estava o solo controle, indicando que a amostra pode ser considerada tóxica, apresentando sua função de habitat limitada.

Andréa (2010) apresentou resultados e questionamentos de vários estudos ecotoxicológicos com minhocas como bioindicadores de contaminação ambiental. As pesquisas mostraram que a bioacumulação de agrotóxicos, metais, derivados do petróleo, antibióticos e compostos de uso veterinário em minhocas varia conforme a espécie, o composto, a concentração, o tempo de contato e as características do solo. Ainda, outras respostas das minhocas em reação a poluentes foram observadas, tais como: variações na produção e no peso de casulos; alterações fisiológicas e deformações, e reações comportamentais de espiralamento, mudanças na capacidade de escavação, agitação e rejeição ao solo contaminado (ANDRÉA, 2010).

Em outro ensaio conduzido com minhocas, Ramos et al. (2007) avaliaram a bioconcentração de mercúrio durante 14 dias de exposição ao solo contaminado. Amostras de solo foram coletadas em quatro diferentes pontos, três em área contaminada e um em área de referência. A metodologia do teste de toxicidade utilizado foi a da Norma American Society for Testing and Materials (ASTM E 1676-1995). No teste de ecotoxicidade, realizado para avaliar os efeitos letais dos solos testados, não houve mortalidade. Porém, em todas as concentrações testadas, foi observada visualmente uma mudança de coloração das minhocas, o que indica um possível efeito sub-letal causado pela presença de mercúrio no solo. Os resultados dos testes de mercúrio encontrados nas minhocas indicam que as minhocas podem bioconcentrar mercúrio no solo, podendo ser

utilizadas como organismos bioindicadores de contaminação de ecossistemas terrestres por metais, apresentando um potencial bioconcentrador.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento e a utilização de biocritérios permitem uma avaliação rápida e que pode integrar o levantamento de dados de uma área sob suspeita de contaminação e melhorar o gerenciamento da mesma. O uso do bioindicador *Eisenia andrei* demonstrou ser útil no diagnóstico de solos contaminados por lançamento de efluente de origem doméstica. Como fase inicial da avaliação, o teste com minhocas, remete a uma limitação espacial quanto à concentração de substâncias indesejáveis no substrato. Ou seja, pode-se considerar que a partir de 85 metros das fontes pontuais de emissão a pluma de poluentes presentes no solo tende a diminuir a concentração. A área antecessora a esta distância carece de avaliações analíticas para discriminação dos possíveis compostos e suas concentrações presentes no meio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRÉA, M. M. O uso de minhocas como bioindicadores de contaminação de solos. Acta Zoológica Mexicana (nueva serie), Número Especial 2, 2010, pp. 95-107. Disponível em: < <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57515556007> >. Acesso em: 15 de abril de 2012.
2. BOLLMANN H. A., MARQUES D. M. L. da M. Critérios Biológicos de Qualidade de Água. In TUCCI C. E. M., MARQUES D. M. L. da M., Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Ed. ABRH, 2001.
3. CESAR, R. G.; EGLER, S. G.; ALAMINO, R. C. J.; POLIVANOV, H.; SILVA, R. C.; CASTILHOS, Z. C.; ARAÚJO, P. Avaliação do potencial tóxico de latossolos e chernossolos acrescidos de lodo de esgoto utilizando bioensaios com oligoquetas da espécie *Eisenia andrei*. Anuário do Instituto de Geociências, v.31 (2), p. 53-60, 2008.
4. FIUZA, A. M. A. Requalificação e descontaminação dos solos. Considerações sobre tecnologias de reabilitação de solos contaminados. Rev. Indústria e ambiente 54 - Janeiro e Fevereiro. 2009. p.14-17.
5. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 17512-1: Avoidance test for testing the quality of soils and the toxicity of chemicals – Part 1: test with earthworms (*Eisenia foetida* and *eisenia andrei*). Geneva, 2008.
6. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 11268-2: Soil quality – Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia foetida*) – Part 2: Determination of effects on reproduction. Geneva, 1998.
7. KUPERMAN, R. G.; CHECKAI, R. T.; GARCIA, M. V. B.; RÖMBKE, J.; STEPHENSON, G. L.; SOUSA, J. P. State of the science and the way forward for the ecotoxicological assessment of contaminated land. Pesq. agropec. bras., vol.44, n.8, 2009, pp. 811-824. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2009000800004 >. Acesso em: 10 de abril de 2012.
8. LEMOS, C. T.; PACHECO, R. A., IRANÇO, F. A., OLIVEIRA, N. D'A. Análise Citogenética como Ferramenta de Avaliação Ambiental. In: TUCCI C. E. M.; MARQUES D. M. L. M. Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Ed. ABRH, 2001.
9. NEUHAUSER, E. F.; LOEHR, R. C.; MILLIGAN, D. L.; MALECKI, M. R. Toxicity of metals to the earthworms *Eisenia foetida*. Biology and Fertility of Soils, v. 1, p. 149-152, 1985.
10. RAMOS, A.; EGLER, S.; CÉSAR, R.; RODRIGUES, A. P.; CARDOSO, J. L.; CASTILHOS, Z. C. Testes de ecotoxicidade utilizando minhocas da espécie *Eisenia foetida* para avaliação da contaminação mercurial em solos. CT2007-121-00 - Participação do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) no XI Congresso Brasileiro de Geoquímica, Rio de Janeiro, Dezembro 2007. Disponível em: < <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2007-121-00.pdf> >. Acesso em: 16 de abril de 2012.
11. SELIVANOVSKAYA, S. Y.; LATYPOVA, V. Z. The use of bioassays for evaluating the toxicity of sewage sludge and sewage sludge-amended soil. Journal of Soils & Sediments, v.3 (2), p. 85-92, 2003.
12. SILVA, M. B. DA; EGLER, S. G.; CESAR, R. G. Biodisponibilidade de Contaminantes em Solos Tropicais Acrescidos de Lodo de Esgoto Utilizando Bioensaios com Oligoquetas, XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEMUFRJ, 2009.
13. SISINNO, C. L. S.; BULUS, M. R. M.; RIZZO, A. C.; MOREIRA, J. C. Ensaio de Comportamento com Minhocas (*Eisenia foetida*) para Avaliação de Áreas Contaminadas: Resultados Preliminares para Contaminação por Hidrocarbonetos. J. Braz. Soc. Ecotoxicol., v. 1, n. 2, 2006, 1-4. Disponível em: < <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2006-047-00.pdf> >. Acesso em: 10 de março de 2012.
14. TERRA, N. R.; LEMOS, C. T.; FEIDEN, I. R.; CORREA, L. M. Ensaio Biológico na Avaliação da Qualidade Ambiental. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES D. M. L. M. Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Ed. ABRH, 2001.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo de caso, envolvendo uma área degradada do *Campus* da Universidade Federal de Santa Maria, integraram-se diferentes informações a fim de subsidiar um modelo para diagnosticar as principais perturbações ocorridas no ambiente por meio de uma prática comumente encontrada nas cidades brasileiras: a emissão de efluente sanitário em solo.

A definição de critérios de avaliação e monitoramento teve como condição de contorno fatores limitantes tais como disponibilidade de recursos financeiros (limitadora do número de análises e perfurações), disponibilidade de equipamentos, dificuldade de acesso a área devido as condições do terreno, tempo para um período maior de monitoramento e de um número mínimo de pessoas para realizar as coletas.

Tendo em vista essas limitações, os critérios de avaliação e monitoramento da área foram definidos considerando a qualidade (i) das matrizes ambientais (água superficial e subterrânea) e (ii) das fontes pontuais de efluente e a investigação do subsolo. Os critérios para as matrizes ambientais e para as fontes pontuais foram definidos pela frequência de amostragem e pelas variáveis físicas (temperatura, turbidez, sólidos, condutividade elétrica), químicas (pH, OD, alcalinidade, DBO) e biológicas (coliformes totais e termotolerantes e *Eisenia andrei*). Os critérios para a investigação subterrânea foram constituídos por sondagens manuais, perfurações mecânicas, análises do solo e instalação de poços de monitoramento a fim de identificar o meio de transporte da contaminação e a interligação das três entidades propostas pelo modelo.

Esses critérios permitiram de maneira ampla diagnosticar a área e definir as zonas sob influência da emissão de efluente, assegurando uma avaliação holística, integradora e seletiva. Observou-se também pelos resultados que a origem sanitária das fontes não é exclusiva pois, foram monitorados valores acima do esperado para fontes desta natureza e que também indicam que o sistema de tratamento está ineficiente.

As variáveis indicadoras de contaminação foram definidas conforme o local ou seção investigada. Para as fontes pontuais foram identificadas duas variáveis

indicadoras: DBO e coliformes termotolerantes; para os poços rasos não há padrão de referência, no entanto se a seção for considerada como aquífero a mesma apresenta como variável indicadora de contaminação a DBO e a alta contagem de bactérias do grupo coliformes; para a seção do aquífero intermediário as variáveis indicadoras de contaminação foram DBO e coliformes totais; para o aquífero profundo as variáveis indicadoras foram coliformes totais e coliformes termotolerantes. O solo que recebe o efluente não apresentou, de acordo com o bioensaio, função de habitat limitado.

A integração das variáveis indicadoras de contaminação, o resultado da análise estatística e as investigações do subsolo possibilitaram a construção do Modelo Conceitual de Contaminação por emissão de efluente no solo, o qual confirmou a hipótese de conexão entre as entidades fonte-trajeto-alvo e a existência de risco à população e ao meio ambiente.

A localização estratégica e a construção racional dos poços de monitoramento, aliadas a métodos eficientes de coleta, acondicionamento e análise das amostras, permitiram resultados bastante precisos sobre a influência da emissão do efluente na qualidade das águas no *Campus*. A frequência de amostragem possibilitou verificar a dinâmica do fluxo superficial, no qual percebe-se que a variação da descarga contaminante tem reflexo rápido em toda extensão dos poços rasos. O monitoramento de nível estático dos poços juntamente com a descrição geológica do perfil do solo possibilitou a elaboração das seções hidroestratigráficas existentes e as amostragens confirmaram a conexão entre os aquíferos.

A avaliação dos perigos de contaminação do aquífero foi necessária para definir, a partir dos resultados, as ações futuras para proteger a qualidade da água subterrânea de possíveis danos irreversíveis, decorrentes dos vários anos de generalizada negligência por parte das políticas públicas.

8 RECOMENDAÇÕES

A partir da metodologia empregada e dos dados obtidos no desenvolvimento desta pesquisa foi possível identificar algumas carências e incertezas e assim sugerir algumas recomendações:

Com o intuito de prosseguir com o processo de investigação/amostragem e adaptar a metodologia empregada sugere-se o levantamento de novos dados, recomenda-se a instalação de poços adicionais e novas amostragens nas zonas de maior incerteza (PB-15) como ferramentas para maior detalhamento da região de interesse. Entretanto, certificar-se previamente das condições de contorno relevantes a custos e equipamentos, a fim de que não ocorra durante as investigações situações limitantes.

Para proporcionar sinais de alerta para as plumas de contaminação que ameaçam poços e nascentes individuais de água potável, sugere-se um monitoramento defensivo das fontes de abastecimento de água subterrânea, por meio da instalação de uma rede de monitoramento a montante, capaz de detectar a aproximação de água contaminada em tempo de se adotarem ações de investigação e remediação.

A partir do banco de dados gerados para diferentes informações que poderão ser interligados pode-se produzir mapas através de computação gráfica - SIG – Sistema de Informações Geográficas e organogramas com o transporte dos contaminantes, que podem auxiliar na tomada de decisão e na execução de projetos de engenharia para possível remediação da área.

Novas avaliações de risco ou efeito toxicológico com amostras de água superficial dos pontos CDB e da sanga em pontos estratégicos podem ser realizados, bem como, a repetição do teste com biomarcador em amostras de solo da área.

Recomenda-se também que sejam efetuadas análises de outras substâncias, como metais, fármacos, pesticidas e íons (nitrato, nitrito, cloretos, etc.) que podem estar dissolvidas na água.

A respeito da área alagada sugere-se que seja realizado um acompanhamento detalhado da área com catalogação das espécies vegetais, construção de parcelas testes com poda da vegetação, retirada da biomassa e o monitoramento da qualidade da água. Essa consideração integra a composição de

cenários à reabilitação da área e de ações como apoio técnico às formas de intervenção mais adequadas, considerando os diferentes indicadores ambientais.

Investigações mais apuradas são necessárias, visto a evidência da pluma de contaminação estar alcançando o aquífero que abastece a Universidade.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6502**. Rochas e solos – Terminologia. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 7229**. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 13969**. Tanques sépticos – unidades de tratamento complementares disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 15495-1**. Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e construção. Rio de Janeiro, 2007.

APHA; AWWA; WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19. ed. Washington D.C., 1995.

ANDRADE M. et al.. **Seleção dos Indicadores de Qualidade das Águas Superficiais pelo emprego da Análise Multivariada**. Rev. Eng. Agrícola, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 683-690, 2007.

ANGNES, F. B. **Prospecção de instrumentos hidrológicos para apoio à gestão em ambientes urbanos**. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2004.

BAUMGARTEN, M. G. Z.; POZZA, S. A. **Qualidade de Águas**: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental. Rio Grande: Ed. FURG/RS, 2001. 166p.

BEDA, J. N. **Determinação do coeficiente de decaimento bacteriano em wetland (alagado construído)**. 2011. 50f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

BELTRÁN, J. M. B. **Drenaje Agrícola**: manual técnico num. 5. v. 1. Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentacion. Instituto Nacional de Reforma Y Desarrollo Agrario. 1986. 239p.

BENETTI, A.; BIDONE, F. **O meio ambiente e os recursos hídricos**. Cap. 22, 2008. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, UFRGS/ABRH, 2004.

BITTENCOURT, E. **Agrotóxicos**: fontes de contaminação. Rede de Agricultura Sustentável (RAS). Disponível em: <<http://www.agrisustentavel.com/tóxicos/residuorh.htm>>. Acessado em: 28 jun. 2011.

BRASIL. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. 1981.

_____. **Portaria nº 2.914**, de 14 de dezembro de 2011, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

_____. **Resolução CONAMA nº 033**, de 07 de dezembro de 1994 - Define estágios sucessionais das formações vegetais que ocorrem na região de Mata Atlântica no Estado do Rio Grande do Sul, visando viabilizar critérios, normas e procedimentos para o manejo, utilização racional e conservação da vegetação natural.

_____. **Resolução CONAMA nº 357**, de 03 de abril de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

_____. **Resolução CONAMA nº 396**, de 03 de abril de 2008, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.. Brasília, 2008.

_____. **Resolução CONAMA 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, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, 2011.

BOSCOV, M. E. G. **Contribuição ao Projeto de Sistemas de Contenção de Resíduos Perigosos Utilizando Solos Lateríticos**. 1997. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BREMNER, J. M.; EDWARDS, A. P. **Microaggregates in soils**. Journal of Soil Science, 1967. 18: 64–73. doi: 10.1111/j.1365-2389.1967.tb01488.x

BRITO M. G. et. al. **Prioritização da investigação de locais contaminados por aplicação de análise factorial de correspondências**. Ciências da Terra (UNL), Lisboa, nº esp. V, CD-ROM, pp. H23-H26, 2003.

BRITO M. G. et. al. **Aplicação de uma metodologia SIG na definição de um plano estratégico para avaliação da contaminação de solos em ambiente urbano-industrial**. Rev. Finisterra, vol. XXXVIII, n. 75, Lisboa. 2003, p. 101-114.

BRUN, F. G. K. et. al. **Impactos ambientais no entorno da sanga “Lagoão do Ouro” – bairro Camobi, Santa Maria (RS)**. Ambiência Guarapuava (PR) v.7 n.3 p. 551-573 set/dez 2011 ISSN 1808 - 0251. DOI:10.5777/ambiência. 2011.03.11

BUNNEY, S. **Prehistoric farming caused devastating soil erosion**. New Scientist 125 (1705): 20, 1990.

CALIJURI, M. L., et al. **Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes**. Eng Sanit Ambient. v. 14. n. 3. jul/set 2009. 421-430.

COCKE, T. ONU. **Água poluída mata mais que violência no mundo**. O Globo. Rio de Janeiro, 22 mar. 2010. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/mundo/mat/2010/03/22/onu-agua-poluida-mata-mais-que-violencia-no-mundo916134995.asp>>. Acesso em: 24 de mar 2011.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS/CPRM. **Mapa hidrogeológico da folha SH.22-V-C-IV (MI2965)**. Escala 1:100.000, 1994.

COSTA. C. N. **Disciplina de Fundamentos de Geotecnia. Solos e águas contaminadas**. (Apostila). Faculdade de Ciência e Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Nova de Lisboa. Portugal, 2006/2007.

COSTA, L. L.; CEBALLOS, B. S. O.; MEIRA, C. M. B. S.; CAVALCANTI M. L. F.; **Eficiência de Wetlands construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colifagos e bacteriófagos** Revista de Biologia e Ciência da Terra. v. 3, n. 1, 2003.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. Disponibilidade Hídrica para Outorga (I): avaliação por seção hidrológica de referência. **Revista REGA**. v. 4, n. 2, p. 39-50, jul/dez 2007.

D'AVILA, R. F. **Ensaio metodológico de avaliação de impacto antrópico na bacia hidrográfica da Universidade Federal de Santa Maria**. 2007. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.

DACAH, N. G. **Saneamento Básico**. 3. ed. Ed. Didática e Científica: Rio de Janeiro, 1990.

DEFENSORIA DA ÁGUA. **Relatório “O estado real das águas no Brasil 2003-2004”**. Conselho deliberativo (representantes): Ministério Público Federal, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Conferência Nacional dos Bispos do Brasil, Cáritas Brasileiras, Instituto Ambiental 21, Comissão Pastoral da Terra, ONG Terra de Direitos. 16 mar 2004.

DONAGEMA, G. K. et al.. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2. ed. 2011. 230p. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/>>. Acesso em: 05 jun 2011.

DORAN, J. W. Soil Quality and Sustainability. In: XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Rio de Janeiro, 1997. **Palestras...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

DYMINSKI, A. S. **Contaminação dos solos e águas subterrâneas**. (Apostila de aula). UFPR TC-019. 2006. Disponível em: <http://www.cesec.ufpr.br/docente/andrea/TC019_Contaminacao_de_solos.pdf>. Acesso em: 23 jun 2011.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Embrapa Solos Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Revista. Rio de Janeiro, 2011.

EPA. The Love Canal Tragedy. **EPA Journal**, January, 1979. Disponível em: <<http://www.epa.gov/aboutepa/history/topics/lovecanal/01.html>>. Acesso em: 23 mar. 2011.

FEITOSA, F.A.C. et al. 2008. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM, LABHID, 2008. 812p.

FERREIRA, M. M. **Caracterização física do solo**. In: LIER, Q. J. Física do Solo. SBSC, Viçosa-MG, 2010, 298p.

FETTER, C. W. **Contaminant hydrogeology**. MacMillan Publishing Company: New York, 1993. p. 15-43.

FIORI, J. P. O.; CAMPOS J. E. G; ALMEIDA, L.. **Variabilidade da condutividade hidráulica das principais classes de solos do estado de Goiás**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 29, n. 2, p. 229-235, 2010.

FIUZA, A. M. A. **Requalificação e descontaminação dos solos**. Considerações sobre tecnologias de reabilitação de solos contaminados. Rev. Indústria e Ambiente 54. Janeiro e Fevereiro, 2009. p. 14-17.

FONSECA, M. C. C. **Isolamento e caracterização morfológica de pseudomonas spp.** Fluorescentes nativas em sistemas de produção agrícola. Comunicado Técnico n.º 43. Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia, 2000. p. 1-4.

FOSTER S. et. al. **Groundwater quality protection: A Guide for Water Service Companies, Municipal Authorities and Environment Agencies**. Copyright © 2002 The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais Copyright © 2006. Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento/Banco Mundial.

FRIGHETTO, R. T. S. Solo: depósito de poluentes ou sistema de filtro. In: XXVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Brasília. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Brasília, maio de 1999. 1 CD-ROM.

GIARDIN, A.; FACCIN, U. **Complexidade hidroestratigráfica e estrutural do Sistema Aquífero Guarani**: abordagem metodológica aplicada ao exemplo da área de Santa Maria-RS, Brasil. Revista Águas Subterrâneas. nº18 ABAS. 01/2004 p.39-53.

GOPAL, B. Wetland (mis) management by keeping people out: two examples from India. **Landscape and urban planning**, 20, 1991, p. 53-59.

HEATH, R, C. **Hidrologia básica de águas subterrâneas**. Denver: 1983. 86 p. USGS Paper n. 20. Wrege, M. e Potter, P. (Trad.) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS.

HIRATA, R.; BASTOS, C.; ROCHA, G. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. Secretaria do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto Geológico, CETESB, DAEE, 1997. 2 volumes, 128p.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgoto doméstico**. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 720 p.

KADLEC, R. et al. **Constructed wetlands for pollution control**. Processes, performance, design and operation. London: IWA Publishing. Scientific and Technical Report Series, 8, 2000.

KHATIWAD, N.R.; POLPRASERT, C. **Kinetics of fecal coliform removal in constructed wetlands**. Water Science and Technology. v. 40, n. 3, p. 109-115, 1999.

KARIM, M.R. et al. **The persistence and removal of enteric pathogens in constructed wetlands**. Water Research. v. 38. n. 7. p. 1831-1837, 2004.

KIVAISI, A. K. **The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review**. Ecological Engineering, 2001, p. 545-560.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Editora Átomo, 3. ed. Campinas, São Paulo, 2010.

LOURES, A. P. S. et al. **Remoção de fósforo em sistema de tratamento de esgoto doméstico, por escoamento superficial**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.10, n.3, p.706–714, 2006.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta geotécnica de Santa Maria**. Escala 1: 25.000, Santa Maria, 1988.

_____. **Carta geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria: Imprensa Universitária UFSM, 1990.

_____. **Carta geotécnica de Santa Maria**. Escala 1: 25.000, Santa Maria, 1988.

_____. **Introdução à geologia de engenharia**. 2. ed. Santa Maria: Editora da UFSM. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1997.

_____. **Mapa geológico da Folha de Camobi – RS.** Convênio: FINEP – UFSM, Escala 1:50.000, Santa Maria, 1988.

MAGALHÃES, J. S. B. **Avaliação da gestão de sítios contaminados por resíduos perigosos nos EUA, Canadá, Países Europeus e Brasil, e exemplo de um Manual simplificado de avaliação de saúde ambiental destes sítios para o Brasil.** 2000. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, Área de Saúde Pública) - Fundação Oswaldo Cruz/ENSP, Rio de Janeiro, 2000.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 34. n.3, p. 963-969, mai/jun, 2004, ISSN 0103-8478.

METCALF L.; EDDY H. P., Inc. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** Revised by George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel, 4th ed. New York: McGraw-Hill Publishing Company, 2003. 1819p.

MOREIRA, C. M. D. **Aspectos qualitativos da água subterrânea no Campus da UFSM.** 2005. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

OLIVEIRA, W. E. **Técnica de abastecimento e tratamento de água.** 2. ed. São Paulo, v.1, p.549, 1976.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** Editora ABRH. Porto Alegre, 2001.

PAGANINI W. S. Disposição de esgotos no solo - 12 anos de monitoramento. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Foz do Iguaçu. 1997.

PEREIRA, J. C. R. **Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais.** 3 ed. 1 reimp. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

PETTS, J.; CAIRNEY, T.; SMITH, M. **Risk-Based Contaminated Land Investigation and Assessment.** John Wiley & Sons, New York, 1997. 334p.

REBOUÇAS A.C. **Importância da Água Subterrânea.** Cap. 2, 2008 In: FEITOSA et al Hidrogeologia. Concenitos e aplicações, 3. ed. rev. e ampl. 2008.

REETZ, E. F. **Avaliação quali-quantitativa dos recursos hídricos superficiais na bacia hidrográfica do Campus da Universidade Federal de Santa Maria.** 2002. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

RIBAS, T. B. C.; FORTES NETO, P. **Disposição no solo de efluentes de esgoto tratado visando à redução de coliformes termotolerantes.** Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 3, n. 3, 2008.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei nº 11.520 do Rio Grande do Sul**, de 03 de agosto de 1994. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Porto Alegre, 1994.

_____. **Resolução CONSEMA nº 128 do Rio Grande do Sul**, de 24 de novembro de 2006. Dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

RIVERA, F. et al. **Removal of pathogens from wastewaters by the root zone method (RZM).** Water Science and Technology. v. 32, n. 3, p. 211-218, 1995.

RODRIGUES, N. R. **Agrotóxicos: análises de resíduos e monitoramento; construindo a história dos produtos naturais.** Multiciência, n. 7, p. 1 -7, 2006.

ROWEL JUNIOR, E. **Diagnóstico ambiental da área de aterro sanitário do Município de Cascavel.** 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

RUHOFF, A. L. et. al. **Análise multivariada do processo de evapotranspiração em áreas de cerrado e cana de açúcar.** Rev. RBRH. v. 14, n. 4, p. 137-146, 2009.

SÁNCHEZ, L. E. **A desativação de empreendimentos industriais: um estudo sobre o passivo ambiental.** 1998. 178 f. Tese (Livre-Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** São Paulo: Oficina de textos, 2006.

SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. F. C. **Indicadores de qualidade do solo**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 1999, Brasília. CD-ROM. Planaltina: EMBRAPA-CPAC/SBCS, 1999.

SANTOS I. et al. **Hidrometria aplicada**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba, 2001. 372p.

SANTOS, A.C. **Noções de hidrogeoquímica**. Cap. 5, 2008. In: FEITOSA, A.C.F A. et al. Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações; CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM, LABHID, 2008.

SÃO PAULO. **Decisão de diretoria nº 103/2007/C/E**, de 22 de junho de 2007, dispõe sobre procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, 2007.

_____. **O gerenciamento de áreas contaminadas 1100**. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, 1999.

_____. **Amostragem de solo 6300**. CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, 1999.

_____. **Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas 6410**. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, 1999.

_____. **Conceituação 1000**. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, 2001.

SCORZA JUNIOR, R. P. **Contaminação de recursos hídricos por pesticidas: uma ameaça à agricultura moderna**. Disponível em: <<http://www.fazendeiro.com.br/Cietec/artigos/ArtigosTexto.asp?Codigo=916>>. Acesso em: 28 jun. 2011.

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (*constructed wetlands*) no pós tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. Tese de Doutorado em Engenharia Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. 171p.

SILVEIRA, G. L. *et al.* **Balanço de cargas poluidoras pelo monitoramento qualitativo dos recursos hídricos em pequena bacia hidrográfica.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 8, n. 1, jan/mar, 2003. p. 5-11.

SOARES, J. M. D.; PINHEIRO, R. J. B.; TAVARES, I. S. **Notas de aula.** Mecânica dos solos. Departamento de Transportes. Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2006.

SPSS Statistics 17.0. **Statistical Package for the Social Sciences.** Software. Sistema operacional Windows.

STUMM, W.; MORGAN, J. J. **Aquatic chemistry.** Na introduction emphasizing chemical equilibria in natural water. John Wiley & Sons. Canadá. 1981. 788p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia:** ciência e aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, 1995.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, USEPA. **Design manual:** constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment. Cincinnati, Ohio: Usepa, Office of Research and Development, 1988 (EPA/625/1-88/022). Disponível em: <<http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/design.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2012.

VICINI, L.; **Análise multivariada da teoria à prática.** Santa Maria: UFSM, CCNE, 2005. 215p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e o tratamento de esgotos.** v. 1, 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Design of municipal wastewater treatment plants.** Alexandria. VA: New York: American Society of Civil Engineers, 1992. (WEF manual of practice, n. 8). (ASCE manual and report on engineering practice, n. 76).

WICANDER R.; MONROE, J. S. **Fundamentos de geologia.** Tradução: Harue Ohara Avritcher. Revisão técnica Maurício Antônio Carneiro. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 508p.

ZAMBERLAN, J. F.; **Caracterização de Águas de Reservatórios Superficiais para Uso em Microirrigação** – Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solo Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2007.

Apêndice A - Amostra branco de equipamento realizadas para controle de qualidade dos equipamentos e da água deionizada para os procedimentos de campo e laboratório

DATA	CAMPANHA	T (°C)	OD mg/L	pH	Conduct. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Colif.Totais NMP/100ml	Colif.Termo NMP/100ml	DBO mg/L	Sól. Susp. mg/L	Sól. Tot. mg/L	Sól. Diss. mg/L	Alcalin. mg/L
15/02/2012	I	29,3	6,9	5,6	1,0	0	0	0	0,8	0	12,5	12,5	0,5
16/03/2012	III	31,0	5,1	5,1	1,8	0,0	<1	<1	1,9	3,60	24,00	20,40	0,52
26/03/2012	IV	27,0	7,1	5,0	3,8	1,0	30,5	<1	3,0	2,20	23,00	20,80	11,5
30/05/2012	VIII	24,0	3,8	5,6	1,1	1	<1	<1	1,6	2,20	24,00	21,80	12,6

Apêndice B - Matriz de correlação das variáveis para os valores médios entre as fontes pontuais - FP's

	Vazão	Temp.	OD	pH	Cond.	Turbidez	Colif. Totais	Colif. Termo	DBO	Sól. Susp.	Sól. Totais	Sól. Dissol.	Alcalin.
Vazão	1,000												
Temp.	-,234	1,000											
OD	-,066	-,061	1,000										
pH	-,940	,029	,116	1,000									
Condut.	-,294	-,254	-,093	,423	1,000								
Turbidez	,930	-,443	,116	-,792	-,300	1,000							
Colif. Totais	,657	-,047	-,095	-,812	-,267	,429	1,000						
Colif. Termo	,469	,255	-,134	-,707	-,347	,184	,941	1,000					
DBO	,720	-,508	,212	-,556	-,249	,806	,391	,120	1,000				
Sól. Susp.	,839	-,131	,201	-,725	-,027	,839	,360	,169	,663	1,000			
Sól. Totais	,157	-,078	,087	-,079	,726	,130	-,030	-,106	-,167	,469	1,000		
Sól. Dissol	-,312	-,012	-,019	,334	,837	-,342	-,244	-,218	-,575	-,052	,857	1,000	
Alcalinidade	,334	-,295	,423	-,351	,202	,358	,438	,265	,451	,563	,410	,135	1,000

Apêndice C - Componentes principais da matriz rotacionada para as fontes pontuais

	VR1	VR2	VR3	VR4
Vazão	,928	-,210	-,199	-,058
Temperatura	-,118	-,107	,880	-,024
OD	-,094	-,104	-,030	,950
pH	-,951	,249	-,095	,078
Condutividade	-,150	,919	-,249	-,016
Colif. Termotolerantes	,649	-,161	,551	-,087
DBO	,593	-,403	-,601	,243
Sólidos Suspensos	,820	,057	-,217	,290
Sólidos Dissolvidos	-,140	,958	,111	,022
Alcalinidade	,540	,293	-,138	,635
Autovalor	3,56	2,16	1,62	1,46
% variância explicada	35,67	21,62	16,29	14,66
% variância acumulada	35,67	57,36	73,65	88,32

Nota: VR - vetor principal da matriz rotacional.

Apêndice D - Matriz de correlação das variáveis para os valores médios entre os poços rasos - PMR's

	Temp.	OD	pH	Condut.	Turbidez	Colif. Totais	Colif. Termo	DBO	Sól. Susp.	Sól. Totais	Sól. Dissol.	Alcalin.
Temp.	1,000											
OD	,183	1,000										
pH	-,820	,316	1,000									
Condut.	-,263	-,354	,055	1,000								
Turbidez	,772	-,086	-,744	-,167	1,000							
Colif. Totais	,539	-,157	-,732	-,129	,758	1,000						
Colif. Termo	,316	-,217	-,182	,140	,329	-,234	1,000					
DBO	,028	-,668	-,444	,173	,400	,315	,245	1,000				
Sól. Susp.	,523	-,265	-,649	-,096	,821	,913	,021	,246	1,000			
Sól. Totais	,590	,125	-,340	-,107	,783	,212	,682	,289	,370	1,000		
Sól. Dissol.	,498	,199	-,201	-,090	,629	-,002	,722	,247	,145	,973	1,000	
Alcalinidade	-,181	-,420	,077	,051	-,278	-,317	-,121	-,071	-,203	-,295	-,263	1,000

Apêndice E - Componentes principais da matriz não rotacional para os poços rasos

	VP1	VP2	VP3	VP4
Temperatura	,806	,360	,020	-,310
OD	-,194	,936	-,139	,113
pH	-,871	,183	,117	,194
Condutividade	-,138	-,520	,285	,428
Turbidez	,966	,103	,058	-,012
Colif. Totais	,814	-,102	-,539	,177
Colif. Termotolerantes	,320	,043	,878	-,073
DBO	,464	-,613	,283	,218
Sólidos Suspensos	,833	-,124	-,347	,070
Sólidos Dissolvidos	,499	,390	,709	-,012
Alcalinidade	-,304	-,464	-,010	-,782
Autovalor	4,41	2,90	1,88	1,03
% variância explicada	40,12	19,03	17,12	9,38
% variância acumulada	40,12	59,13	76,25	85,63

Nota: VP - vetor principal de matriz não rotacional.

Apêndice F - Matriz de correlação das variáveis no ponto CDB

	Vazão	Temp.	OD	pH	Condut.	Turbidez	Colif.Totais	Colif.Termo	DBO	Sól. Susp.	Sól. Tot.	Sól. Diss.	Alcalin.
Vazão	1,000												
Temp.	-,377	1,000											
OD	-,091	,428	1,000										
pH	,343	-,822	-,416	1,000									
Condut.	-,414	-,372	-,367	,358	1,000								
Turbidez	,640	-,286	-,123	,530	-,320	1,000							
Colif.Totais	,135	,512	,573	-,377	-,500	-,189	1,000						
Colif.Termo	-,061	,294	,031	-,213	,335	,107	-,369	1,000					
DBO	-,594	,489	-,003	-,670	,276	-,517	-,352	,633	1,000				
Sól. Susp.	,677	-,606	-,485	,693	,244	,689	-,479	,349	-,326	1,000			
Sól. Tot.	-,237	,067	-,465	-,194	,672	-,361	-,441	,667	,691	,227	1,000		
Sól. Diss.	-,320	,126	-,432	-,277	,656	-,473	-,387	,611	,735	,104	,991	1,000	
Alcalinidade	,535	-,915	-,218	,816	,236	,524	-,505	-,058	-,494	,748	-,150	-,240	1,000

Apêndice G - Componentes principais da matriz de rotação para o ponto CDB

	VR1	VR2	VR3
Vazão	,861	-,130	-,158
OD	-,115	-,787	,019
pH	,487	,648	-,507
Condutividade	-,308	,803	,217
Turbidez	,912	,022	-,115
Colif.Totais	-,137	-,748	-,336
Colif. Termotolerantes	,205	,117	,924
DBO	-,500	,034	,835
Sólidos Suspensos	,822	,530	,117
Sólidos Dissolvidos	-,337	,478	,715
Autovalor	3,01	2,78	2,53
% variância explicada	30,18	27,84	25,35
% da variância acumulada	30,18	58,02	83,35

Nota: VR - vetor principal da matriz rotacional.